

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL  
DES  
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 77<sup>e</sup> session  
Report of the 77th Meeting  
1988

TOME 56

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

ISBN 92-822-2104-0

---

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

---

### Signes des laboratoires, commissions et conférences

AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne (Autriche).
ARL	Australian Research Laboratory, Yallambie (Australie).
ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. dém. allemande).
BCMN	Bureau central de mesures nucléaires, EURATOM, Geel (Belgique).
BFMMP	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade (Yougoslavie).
BIH	Bureau international de l'heure, Paris (France).
BIPM	Bureau international des poids et mesures, Sèvres (France).
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France).
CCDM	Comité consultatif pour la définition du mètre.
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde.
CCE	Comité consultatif d'électricité.
CCE	Commission des communautés européennes de la CEE, Bruxelles (Belgique).
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants.
CCIR	Comité consultatif international des radiocommunications, Genève (Suisse).
CCITT	Comité consultatif international télégraphique et téléphonique.
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées.
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie.
CCT	Comité consultatif de thermométrie.
CCU	Comité consultatif des unités.
CEB-III	Centre d'études de Bruyères-le-Châtel (France).
CEI	Commission électrotechnique internationale, Genève (Suisse).
CEN	Centre d'études nucléaires (France).
CIPM	Comité international des poids et mesures.
CODATA	Committee on Data for Science and Technology.

CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements.
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon).
CSAV	Československa Akademie Ved, Brno (Tchécoslovaquie).
CSIRO	CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie).
CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Tchécoslovaquie).
ELICAP	Eleventh International Conference on Atomic Physics.
ENS	École normale supérieure, Paris (France).
EOLAS/ex-IIRS	Irish Science and Technology Agency, Dublin (Irlande).
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France).
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon).
EURONET	European Network for Scientific and Technical Information.
FTZ	Fernmelde Technische Zentral Amt, Darmstad (Rép. féd. d'Allemagne).
GEC	General Electric Company.
GSI	Geographical Survey Institute, Tsukuba (Japon).
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.
IAEA	voir AIEA.
IAEB	Institute of Atomic Energy, Beijing (Rép. pop. de Chine).
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements.
IDCNS	Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards of IUPAC.
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie).
IGC	International Gravity Commission.
IGSN	International Gravity Standardization Network.
IIRS	voir EOLAS.
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie).
IMM/VNIIM	Institut de métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad (URSS).
INM	Institut national de métrologie, Paris (France).
INPL	National Physical Laboratory of Israël, Jerusalem (Israël).
INSERM	Institut national de la santé et de la recherche médicale, Paris (France).
INSYMET	Medzinarodne symposium metrologie, Bratislava (Tchécoslovaquie).
IUPAC/UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée, Oxford (Royaume-Uni).
IUPAP	voir UIPPA.
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique).

LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France).
LEP	Laboratoire d'électronique et de physique appliquée, Limeil-Brévannes (France).
LHA	Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay (France).
LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France).
LNETI	Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal).
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France).
NBS *	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique).
NEL	Nuclear Enterprises Ltd.
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Rép. pop. de Chine).
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique).
NJV	Det norske Justervesen, Oslo (Norvège).
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni).
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada).
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon).
OFMET	Office fédéral de métrologie, Wabern (Suisse).
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie).
ONERA	Office national d'études et de recherche aérospatiales, Châtillon (France).
OP	Observatoire de Paris (France).
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Rép. féd. d'Allemagne).
PTR	Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting.
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven (Pays-Bas).
SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France).
SUN-AMCO	Symbols, Units and Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP Commission.
TNO	Radiobiological Institute, Rijswijk (Pays-Bas).
TUG	Technical University of Graz (Autriche).
UAI	Union astronomique internationale.

---

\* Depuis le 23 août 1988, ce laboratoire est devenu le National Institute of Standards and Technology [NIST].

UGGI	Union géodésique et géophysique internationale, Bruxelles (Belgique).
UIPPA/IUPAP	Union internationale de physique pure et appliquée.
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington (É.-U. d'Amérique).
VNIIM	voir IMM.
VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas).
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Helsinki (Finlande).
WEMC	Western European Metrology Club.

### **Sigles des termes scientifiques**

CCC	Comparteur cryogénique de courants continus.
EIPT-68	Échelle internationale pratique de température de 1968.
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990.
GPS	Global Positioning System.
IPTS-68	International Practical Temperature Scale of 1968.
ITS-90	International Temperature Scale of 1990.
LASSO	Laser Synchronisation from Stationary Orbit.
MJD	Modified Julian day.
MOS	Métal-oxyde-semiconducteur.
SIR	Système international de référence pour la mesure d'émetteurs de rayons $\gamma$ .
SMOW	Standard Mean Ocean Water.
SQUID	Superconducting Quantum Interference Device.
TAI	Temps atomique international.
UTC	Temps universel coordonné.

---

---

## LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE

---

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

Le Bureau international a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre (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 1988, 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 17 000 000 francs-or (en 1988), soit environ 31 000 000 de francs français.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau international, le Comité international a institué depuis 1927, sous le nom de comités consultatifs, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces comités consultatifs, qui peuvent créer des groupes de travail temporaires ou permanents pour l'étude de sujets particuliers, sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer des recommandations concernant les unités, en vue des décisions que le Comité international est amené à prendre directement ou à soumettre à la sanction de la Conférence générale pour assurer l'unification mondiale des unités de mesure.

Les comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 31, 1963, p. 97). Chaque comité consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité international, est composé de délégués de chacun des grands laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité international, de membres individuels désignés également par le Comité international et d'un représentant du Bureau international. Ces comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers ; ils sont actuellement au nombre de huit :

1. Le Comité consultatif d'électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , 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 4 octobre 1988

---

*Président*

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

*Secrétaire*

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

*Membres*

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

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

*Membres honoraires*

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

---

PERSONNEL  
DU  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
au 1<sup>er</sup> janvier 1989

---

Directeur : Dr T.J. Quinn

*Longueurs* : Mr J.-M. Chartier

Mr R. Felder, Dr S. Picard <sup>(1)</sup>, Dr L. Robertsson  
Mme A. Chartier, Mr A. Zarka

*Masse et grandeurs apparentées* : Mr G. Girard, Mr A. Sakuma

Mr A. Picard, Dr C.C. Speake  
Mme J. Coarasa, Mr J. Hostache

*Échelles de temps* : Dr B. Guinot <sup>(1)</sup>

Mr J. Azoubib, Dr W. Lewandowski, Dr C. Thomas  
Mlle H. Konaté, Mme M. Thomas

*Électricité* : Dr T. J. Witt

Mr F. Delahaye, Dr D. Reymann  
Mr D. Avrons, Mr D. Bournaud  
Mr P. Benoit

*Radiométrie et photométrie* : Mr J. Bonhoure

Dr R. Köhler  
Mr C. Garreau, Mr F. Lesueur, Mr R. Pello, Mr F. Perez  
Mr J. Dias

*Rayonnements ionisants* : Dr J. W. Müller, (Prof. A. Allisy) <sup>(2)</sup>

Mme M. Boutillon, Mr P. Bréonce, Dr V. D. Huynh, Dr G. Ratel  
Mr D. Carnet, Mr C. Colas, Mr L. Lafaye, Mr C. Veyradier

*Secrétariat* : Mlle J. Monprofit

Mme D. Le Coz, Mme D. Müller <sup>(2)</sup>  
Mme L. Delfour, Mme M. Petit

*Metrologia* : Dr R. P. Hudson

---

<sup>(1)</sup> Chercheur associé

<sup>(2)</sup> Jusqu'au 31 mars 1989

<sup>(3)</sup> Détachée à la Section des Rayonnements ionisants

*Finance, administration* : Mlle B. Perent, (Mr J. Gaillard) <sup>(4)</sup>

Mme M.-J. Martin

*Gardiens* : Mr et Mme Dominguez, Mr et Mme Neves

*Femmes de ménage* : Mme A. Perez, Mme P. Prieto, Mme R. Vara

*Jardiniers* : Mr C. Angot, Mr B. Picaud

*Atelier de mécanique* : Mr J. Sanjaime

Mr B. Bodson, Mr M. de Carvalho, Mr J.-B. Caucheteux, Mr J.-P. Dewa,  
Mr A. Gama, Mr J. Leroux, Mr A. Montbrun, Mr D. Rotrou,  
Mr E. Dominguez <sup>(5)</sup>, Mr C. Neves <sup>(5)</sup>

*Directeurs honoraires* : Mr Ch. Volet, Dr J. Terrien, Prof. P. Giacomo

*Métrologiste principal honoraire* : Mr G. Leclerc

*Métrologiste honoraire* : Mr H. Moreau

---

<sup>(4)</sup> Jusqu'au 31 janvier 1989

<sup>(5)</sup> Également gardiens



## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

---

1. Ouverture de la session, quorum, approbation de l'ordre du jour.
  2. Rapport du secrétaire.
  3. Rapport sur l'activité du bureau du CIPM.
  4. Comités consultatifs :
    - rapport du CCEMRI
      - section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons),
      - section III (Mesures neutroniques);
    - rapport du CCM ;
    - rapport du CCE ;
    - rapport sur l'état d'avancement de l'EIT-90 ;
    - révision de la composition des comités consultatifs ;
    - réunions futures.
  5. Travaux du BIPM : rapport du directeur.
  6. Questions administratives et financières :
    - rapport aux Gouvernements pour 1987 ;
    - quitus pour 1987 ;
    - exercice 1988 en cours ;
    - projet de budget pour 1989.
  7. Nouveau Pavillon.
  8. Questions diverses.
-

# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

77<sup>e</sup> session (octobre 1988)

---

## PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

### TENUES À SÈVRES

Présidence de Mr D. Kind

---

Le Comité international des poids et mesures s'est réuni au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres, pour sa 77<sup>e</sup> session, le mardi 4, le mercredi 5 et le jeudi 6 octobre 1988. Il a tenu quatre séances.

Étaient présents : MM. AMBLER, BLEVIN, DE BOER, DEAN, IZUKA, JENSEN, KIND, KOVALEVSKY, MEKHANNIKOV (absent le matin du 4 octobre), PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SIEGBAHN (absent le matin du 4 octobre), SKÁKALA, WANG, QUINN (directeur du BIPM).

Assistaient aussi aux séances : Mr GIACOMO (directeur honoraire du BIPM) ; interprètes : Mr OBOUKHOV, Mlle MONPROFIT ; secrétaire : Mme LE COZ.

Excusés : MM. BRAY, SALA et STEINBERG.

Absent : Mr MITRA.

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

Le président ouvre la 77<sup>e</sup> session du CIPM et accueille les membres. Aucun changement n'est intervenu depuis l'année dernière dans la composition du Comité. MM. Mekhannikov et Siegbahn ont fait savoir au président qu'ils arriveraient avec retard. MM. Bray, Sala et Steinberg ont prié le Comité de les excuser de ne pouvoir assister à cette session.

Le président constate que le quorum est atteint, conformément à l'article 12 de la Convention du Mètre.

C'est la première session à laquelle Mr Quinn assiste en tant que directeur du BIPM. Le président présente donc ses meilleurs vœux au BIPM et à son nouveau directeur. Ce changement de direction coïncide avec l'achèvement du Nouveau Pavillon, dont l'inauguration est prévue pour le mercredi 5 octobre 1988, à 17 heures. Cette inauguration sera l'occasion d'une conférence que prononcera le Professeur Siegbahn. Le président propose de nommer directeur honoraire Mr Giacomo, qui a pris sa retraite le 1<sup>er</sup> août 1988. Cette proposition est acceptée à l'unanimité des membres présents.

Mr Giacomo remercie le président et les membres du CIPM.

À une demande du président sollicitant des commentaires éventuels sur le projet d'ordre du jour, Mr Blevin indique qu'une réunion conjointe du Comité consultatif de photométrie et radiométrie et du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du Comité consultatif d'électricité s'est tenue le 30 septembre 1988. Il a l'intention d'en présenter le compte rendu au CIPM à la suite du rapport qui sera fait sur la dernière session du CCE.

L'ordre du jour est adopté avec cette légère modification.

Après avoir fait quelques suggestions sur le déroulement de la présente session, le président demande au secrétaire du CIPM, Mr de Boer, de présenter son rapport.

## **2. Rapport du secrétaire du CIPM**

(octobre 1987 — octobre 1988)

Dans son rapport, le secrétaire attire l'attention sur la situation financière du BIPM, tout particulièrement sur les dépenses engagées pour le nouveau bâtiment et sur la caisse de retraites. Il souligne que des sommes importantes ont été versées à la caisse de retraites au titre des quatre dernières années afin de faire face à l'accroissement des versements effectués par cette caisse, accroissement dû aux nombreux départs en retraite qui ont eu lieu récemment. Les fonds de cette caisse sont maintenant suffisants pour faire face à ses obligations et dès 1989 le versement annuel à partir du budget général devrait se situer à environ 16 % des salaires versés, niveau auquel il a été décidé de se maintenir il y a quelques années.

1. États membres de la Convention du Mètre. — La liste des États membres de la Convention du Mètre est restée inchangée et comporte toujours 47 États.



2. Membres du CIPM. — Aucun changement n'est intervenu dans la composition du Comité international au cours de l'année écoulée. Tous les sièges du Comité sont pourvus.

3. Directeur du BIPM. — Au 1<sup>er</sup> août 1988, Mr T. J. Quinn a pris la direction du BIPM à la suite du départ en retraite de Mr P. Giacomo.

#### 4. Réunions des comités consultatifs et des groupes de travail

— Le CCM a tenu sa 3<sup>e</sup> session le 26 et le 27 mai 1988 sous la présidence de Mr Giacomo, en l'absence de Mr Bray, souffrant. Sept des neuf groupes de travail du CCM, à savoir deux des quatre Groupes de travail sur les masses, le Groupe de travail sur les forces et les quatre Groupes de travail sur les pressions, se sont réunis l'un à Berlin au début du mois de mai, les autres à Paris ou au Pavillon de Breteuil dans les jours qui ont précédé la session du CCM.

— La Section I du CCEMRI (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) s'est réunie du 11 au 13 avril 1988.

— La Section III du CCEMRI (Mesures neutroniques) s'est réunie du 18 au 20 avril 1988.

— Le CCE a tenu sa 18<sup>e</sup> session du 27 au 29 septembre 1988. Un groupe de travail *ad hoc*, commun au CCE et au CCPR, a tenu une réunion d'information sur les fibres optiques le 30 septembre 1988. Le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences s'est réuni le 13 et le 14 juin 1988 à Tsukuba (Japon), à l'occasion de la Conférence on Precision Electromagnetic Measurements de 1988.

Sauf exception mentionnée, toutes ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

#### 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	1985	1986	1987	1988
I. — Fonds ordinaires .....	16 227 665,79	15 439 533,68	15 550 507,07	13 743 538,35
II. — Caisse de retraites .....	9 214 761,18	10 043 819,07	11 843 142,42	13 160 434,56
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du ma- tériel scientifique .....	936 410,39	573 810,31	523 857,79	214 847,73
IV. — Caisse de prêts sociaux.	185 090,87	187 788,99	204 771,34	230 719,45
V. — Réserve pour les bâti- ments .....	141 352,65	821 291,74	1 816 600,45	1 359 042,99
Totaux .....	26 705 280,88	27 066 243,79	29 938 879,07	28 708 583,08

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

Le secrétaire présente ensuite un rapport sur l'activité du bureau du CIPM qui est suivi d'une discussion sur le Rapport annuel aux Gouvernements.

Le bureau du Comité s'est réuni un certain nombre de fois depuis la dernière session du CIPM en octobre 1987. Une de ces réunions s'est tenue à Prague. De plus, divers problèmes ont été traités par correspondance et par téléphone. Les principales questions abordées par le bureau au cours de l'année ont concerné :

— le Rapport annuel aux Gouvernements pour l'année 1987 et les retards apportés par les États membres dans le paiement des contributions pour cette même année,

— l'état d'avancement de la construction du Nouveau Pavillon et les questions financières s'y rapportant,

— divers problèmes concernant le personnel du BIPM et autres sujets.

#### *Rapport annuel aux Gouvernements*

En plus de l'examen habituel de la rédaction du Rapport annuel aux Gouvernements, le bureau a porté son attention sur les retards anormalement longs dans le paiement des contributions pour l'année 1987 ; les arriérés correspondaient à 16 % de la contribution pour l'année. Ces arriérés étaient, toutefois, partiellement compensés par divers versements, effectués en 1987, de sommes restant dues pour les années antérieures. Il s'ensuit que le retard global pour 1987 s'élevait à 11 %. Un certain nombre de contributions sont régulièrement réglées dans leur totalité au cours du premier trimestre de l'année ; le bureau du Comité est particulièrement reconnaissant aux Gouvernements des États membres concernés. Il n'en demeure pas moins que, pour 1987, 33 % du total des contributions n'ont été payés qu'après le 15 novembre. Toutefois, en 1988, la situation se présente de façon beaucoup plus satisfaisante. Au 31 juillet 1988, le BIPM avait reçu 80 % des contributions dues pour l'année, plus l'équivalent de 10 % supplémentaires correspondant à des contributions arriérées. Le bureau a été d'accord pour que chaque membre du CIPM soit informé, en septembre de chaque année, de la situation de son Gouvernement à l'égard de la contribution de son Pays au BIPM.

Mr Dean demande ce qu'il conviendrait de faire pour les pays qui n'ont pas de ressortissant qui siège au CIPM. Mr Quinn fait remarquer que, lorsque cela est nécessaire, le BIPM envoie des lettres de rappel aux ambassades à Paris.

### *Nouveau Pavillon*

La construction du Nouveau Pavillon s'est déroulée sans que survienne aucun problème important. Au tout début, l'achèvement était prévu pour le mois de juillet 1988, mais divers retards mineurs se sont accumulés et on peut estimer maintenant que le bâtiment sera achevé vers la fin du mois de septembre. Il ne faut pas oublier que les travaux de bâtiment sont pratiquement arrêtés pendant le mois d'août.

Le transfert des bureaux du directeur et du secrétariat dans le Nouveau Pavillon n'aura lieu qu'après la session du CIPM. Toutefois, on commencera à installer la bibliothèque dès que le bâtiment sera prêt. Il est prévu que le transfert complet de la bibliothèque prendra au moins six mois. Les bureaux destinés aux physiciens seront occupés après la session du CIPM.

Quelques questions relatives au nouveau bâtiment et à l'utilisation des bureaux laissés libres dans le Grand Pavillon ou ailleurs sont posées par Mr Ambler. Mr Quinn répond qu'il ne sera apporté aucun changement à la « Grande Salle » dans le Grand Pavillon. Le Nouveau Pavillon comprend une salle supplémentaire pour des réunions comportant un nombre limité de participants, divers bureaux, pour le directeur, l'administration et quelques physiciens, ainsi qu'une bibliothèque. Les bureaux laissés vacants dans le Grand Pavillon seront occupés par des physiciens et l'ancienne salle de lecture sera partiellement utilisée pour agrandir la cantine et pour stocker du matériel.

Mr Blevin soulève le problème de l'acoustique médiocre de la Grande Salle. Mr Quinn suggère de faire, à l'occasion de la prochaine session, l'essai d'une installation simple de microphones et de haut-parleurs, mais aucun changement ne sera apporté à la pièce elle-même.

On estime maintenant que la construction du Nouveau Pavillon revient à 4,6 millions de francs-or au lieu des 4,1 millions de francs-or prévus à l'époque de la signature des contrats au mois de mars 1987. Compte tenu des conditions particulières des travaux de construction qui ont été effectués si près du bâtiment historique du Pavillon de Breteuil, nous considérons la situation comme très satisfaisante. Néanmoins, les dépenses supplémentaires en 1988 pour le Nouveau Pavillon ont été telles que la somme prévue dans le budget de 1988 pour les autres travaux de bâtiments ne concernant pas le Nouveau Pavillon serait insuffisante pour faire face aux besoins. Le bureau propose, en conséquence, que soit avancée la somme de 500 000 FO, à prendre sur le budget de 1989, afin de couvrir certaines dépenses liées au Nouveau Pavillon. Le report de ces dépenses a été prévu dans le document « Programme de travail et budget » présenté à la 18<sup>e</sup> CGPM.

### *Autres questions*

Le premier tirage de 5 000 exemplaires de la brochure sur le BIPM a été épuisé à la fin du premier semestre de cette année. Il a été procédé à un nouveau tirage de 4 000 exemplaires. Les membres du CIPM ne doivent donc pas hésiter à en demander d'autres exemplaires s'ils en ont besoin.

Le bureau du CIPM a été tenu informé de trois engagements importants : Mlle B. Perent, de nationalité française, remplacera Mr Gaillard comme responsable financier et administratif lorsque celui-ci partira en retraite à la fin de l'année 1988 ; Mlle Perent est actuellement directeur financier d'une petite société française. Mr R. Köhler, de nationalité allemande, et Mr L. Robertsson, de nationalité suédoise, occupent les postes laissés vacants par le départ en retraite de Mr Carré et la démission de Mr Gläser. Mr Köhler a commencé le nouveau travail de radiométrie et Mr Robertsson a été affecté à la section des longueurs. De plus, Mme S. Picard, de nationalité suédoise, a été engagée comme chercheur associé pour une période de deux ans dans la section des longueurs.

*Metrologia* a fait l'objet de discussions lors d'une réunion du bureau, en présence du rédacteur en chef, Mr Hudson, en vue du départ en retraite de celui-ci, départ prévu pour la fin de l'année 1989.

## **4. Comités consultatifs**

Depuis la dernière session du CIPM, les Sections I et III du CCEMRI se sont réunies, ainsi que le CCM et CCE.

### **4.1. Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants**

Mr Dean, président du CCEMRI, présente le rapport des réunions des Sections I et III du CCEMRI qui ont eu lieu en avril 1988 ; le texte de ces rapports a été communiqué aux membres du CIPM. Mr Siegbahn avait rendu compte lors de la 76<sup>e</sup> session du CIPM de la réunion de la Section II qui avait eu lieu en 1987.

La Section I a tenu sa 9<sup>e</sup> réunion du 8 au 11 avril 1988. Le rapport rend compte des récents travaux du BIPM et présente une discussion des résultats de comparaisons d'étalons nationaux. Il souligne le besoin de comparaisons d'étalons de dose absorbée pour des photons d'énergie supérieure à 1 MeV et donne le texte des deux recommandations adoptées. Celles-ci n'ont été présentées au CIPM que pour information car elles n'ont pas encore été soumises au CCEMRI.

La Section III a tenu sa 8<sup>e</sup> réunion du 18 au 20 avril 1988. Le rapport rend compte des travaux récents effectués au BIPM dans le

domaine des mesures neutroniques. Il présente aussi une discussion des résultats publiés pour les comparaisons de mesures de taux d'émission et de débit de fluence de neutrons qui sont achevées, ainsi que les résultats de la comparaison de dosimétrie neutronique faite au NPL et le rapport préliminaire de la comparaison de dosimétrie neutronique faite au BIPM. La Section III a discuté de ses activités ultérieures et du programme de mesures neutroniques à effectuer au BIPM mais n'a fait aucune recommandation.

Il s'ensuit une discussion sur le fait que les sections du CCEMRI présentent leur rapport directement au CIPM. Mr Dean fait part de son intention de synchroniser les réunions du CCEMRI et de ses trois sections afin que celles-ci puissent soumettre leur rapport au CCEMRI dans des délais assez brefs après leur réunion. Compte tenu des dispositions déjà prises cela ne pourra pas être fait maintenant avant 1991. Au sujet de la composition du CCEMRI, il est suggéré que le nombre des membres de ce comité soit augmenté ; toutefois, aucune décision formelle n'est prise et il est convenu que Mr Dean abordera le problème avec les présidents des sections.

#### **4.2. Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées**

En l'absence de Mr Bray, président du CCM, empêché pour raison de santé, Mr Giacomo a assuré la présidence de la réunion de ce comité. Le CCM n'a présenté aucune proposition ni recommandation officielle au CIPM. Mr Giacomo fait un bref compte rendu des rapports des neuf groupes de travail du CCM. Le nombre de ces groupes est trop élevé. Il a été proposé que le nombre des groupes de travail chargés des masses passe de quatre à deux et que les quatre groupes de travail qui se partagent le domaine des pressions soient ultérieurement fusionnés. La répartition des sujets d'étude de ces groupes de travail est telle que le CCM a tendance à discuter de questions qui concernent les pressions ou les forces plutôt que de questions concernant les masses. Toutefois, l'attention du CCM a été attirée sur la troisième vérification des kilogrammes prototypes nationaux. Mr Girard a déjà entrepris son travail préliminaire de comparaison des étalons du BIPM. Chaque État ne devra envoyer qu'un seul prototype au BIPM pour prendre part à cette comparaison. Dans certains cas, un second prototype pourra être étalonné ultérieurement au BIPM après la comparaison principale. Il a été rendu compte de l'avancement des travaux sur la balance à suspensions flexibles du BIPM. Le CCM a prévu de tenir sa prochaine session dans trois ans.

Mr Blevin pense, comme Mr Giacomo, que la tâche première du CCM est de s'occuper des étalons de masse, mais que ce comité doit aussi s'intéresser aux grandeurs apparentées, telles que la force, la masse volumique, etc.

Un échange de vues a lieu ensuite entre Mr Ambler et Mr Quinn sur le nombre de pays susceptibles de participer à cette troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme, sur la possibilité d'établir un protocole uniforme utilisable par tous les pays en vue de cette vérification des prototypes avant leur envoi au BIPM et sur le nombre, vraiment trop grand actuellement, des groupes de travail du CCM.

Mr Plebanski demande s'il serait possible d'avoir une définition plus précise du type d'acier inoxydable à utiliser pour fabriquer des étalons de masse. Par ailleurs, il a des doutes sur le bien-fondé de l'utilisation de l'eau comme étalon de masse volumique de haut niveau. À son avis, l'eau devrait être plutôt utilisée comme étalon pratique que comme étalon de référence : il existe d'autres matériaux, tels que le silicium, avec lesquels on obtient une reproductibilité meilleure que celle obtenue avec l'eau. Mr Ambler est d'accord pour dire que l'eau n'est pas un liquide très simple, et que le silicium constitue un étalon de masse volumique bien meilleur. Mr Quinn fait remarquer que l'eau présente l'avantage énorme d'avoir une masse volumique maximale à 4 °C. Il est évident que les océanographes ont une exigence qui prime tout, celle d'avoir un étalon de masse volumique de l'eau très exact, tel que le SMOW (Standard Mean Ocean Water). En ce qui concerne la masse volumique de l'eau, Mr Iizuka indique que les meilleurs résultats obtenus au NRLM sont en accord avec ceux du CSIRO à  $1 \times 10^{-6}$  près. Le CCM a constitué un petit groupe de travail chargé de publier une nouvelle table pour la masse volumique de l'eau.

#### 4.3. Comité consultatif d'électricité

Mr Ambler, président du CCE, présente le rapport provisoire de ce comité, qui a tenu sa réunion la semaine précédente, le 27 et le 28 septembre 1988. L'objet principal de cette réunion était de se mettre d'accord sur les valeurs numériques à recommander pour les constantes de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique, valeurs à utiliser par les laboratoires nationaux pour établir leurs nouveaux étalons de référence de force électromotrice et de résistance. L'accord sur ces valeurs a été obtenu aisément, grâce surtout à l'important travail préparatoire effectué par les groupes de travail sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique. Le CCE a pleinement apprécié les gros efforts déployés par les membres de ces groupes, en particulier Mr B. N. Taylor du NIST et Mr Witt du BIPM, pour aboutir à ces conclusions et rédiger leur rapport.

Le CCE a de plus passé en revue les comparaisons organisées par le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.

Le CIPM a le sentiment que, dans une certaine mesure, ces comparaisons aux radiofréquences s'auto-génèrent. Cela conduit à nouveau à discuter du rôle exact des groupes de travail, sans que l'on parvienne à une conclusion formelle.

Le CIPM discute ensuite les trois recommandations qui lui sont proposées par le CCE. Deux de ces recommandations sont adoptées par le CIPM, avec des changements rédactionnels mineurs, Recommandation 1 (CI-1988) : Représentation du volt au moyen de l'effet Josephson [voir p. 19] et Recommandation 2 (CI-1988) : Représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique [voir p. 20]. Le CIPM a pris connaissance de la troisième recommandation du CCE : Réalisation des unités SI en électricité. En ce qui concerne la mise en œuvre des Recommandations 1 et 2 (CI-1988), le CIPM a aussi approuvé les déclarations du CCE qui sont le résultat de discussions, nombreuses et ardues (voir : *BIPM Com. cons. électricité*, 1988 et *News from the BIPM, Metrologia*, 26, 1989, pp. 69-74).

Une discussion s'engage sur le meilleur moyen de porter à la connaissance des utilisateurs les changements qui vont intervenir. Mr Quinn indique qu'il a l'intention de publier les recommandations et déclarations du CCE telles qu'elles ont été adoptées ou approuvées par le CIPM dans les « *News from the BIPM* » qui paraîtront dans le premier numéro de 1989 de *Metrologia*. Le CIPM convient que c'est là une initiative appropriée et que, pour se conformer à la demande de la 18<sup>e</sup> CGPM dans sa Résolution 7, l'article devrait aussi faire mention de la prochaine EIT-90. Mr Quinn s'engage à communiquer aux membres du CIPM, avant la fin de l'année 1988, copie du manuscrit des « *News from the BIPM* ».

#### *Réunion conjointe du CCPR et du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE*

Comme convenu au début de la session, à la suite du rapport du CCE, Mr Blevin présente le rapport de la réunion conjointe du CCPR et du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE qui s'est tenue le 30 septembre 1988. Les participants à cette réunion, dont le CIPM avait demandé la convocation lors de sa 76<sup>e</sup> session en 1987, ont discuté des problèmes métrologiques posés par les techniques liées à l'utilisation des fibres optiques et de la nécessité ou non pour le CIPM de jouer un rôle dans ce domaine. Ils ont pris connaissance des résultats d'une enquête faite auprès des laboratoires nationaux sur le travail effectué, en cours ou envisagé. Il a été rappelé que d'autres organisations internationales sont susceptibles d'avoir une action dans ce domaine, par exemple la Commission électrotechnique internationale ou le Comité consultatif international télégraphique et téléphonique. On a dressé la liste des secteurs dans lesquels le CIPM et ses comités consultatifs pourraient apporter une contribution : puissance de rayonnement, atténuation dans les fibres optiques, mesure de faibles diamètres. Le bon déroulement de deux comparaisons de mesures de puissance optique et de mesures d'atténuation a été mentionné. Le rapport de cette réunion conjointe sera publié en annexe au rapport du CCE.

Une discussion s'ensuit pour savoir si la mesure des dimensions des fibres optiques est ou n'est pas de la compétence des organes de la Convention du Mètre ; si c'est de leur compétence, leur action doit-elle se limiter à l'organisation de comparaisons internationales ? De l'avis de Mr Quinn, le critère décisif devrait être de savoir si les laboratoires nationaux ont besoin de telle ou telle comparaison internationale. Mr Dean fait remarquer que si les comités consultatifs devaient jouer un rôle pour toute nouvelle technique la charge de travail des comités consultatifs deviendrait énorme. Il pense que le CIPM ne doit pas s'impliquer dans les questions de techniques. Le président est d'accord avec Mr Dean ; il dit qu'à son avis les comités consultatifs devraient plutôt limiter leur action aux secteurs dans lesquels le BIPM a une bonne expérience. Mr Quinn fait remarquer que pendant de nombreuses années le Comité consultatif pour la définition de la seconde a travaillé efficacement sans qu'il y ait de section du temps au BIPM. Il conviendrait que les comités consultatifs fassent un inventaire des comparaisons que les laboratoires nationaux estiment nécessaires. Le CCPR et le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences feront un rapport sur l'opportunité d'avoir quelque action en ce qui concerne la mesure du diamètre des fibres optiques, pour laquelle il n'existe pas de principe uniformément admis.

#### 4.4. Rapport d'avancement de l'EIT-90

Mr Preston-Thomas rend compte de l'état d'avancement de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90). Un projet de cette échelle a été élaboré en août 1988 et des copies en ont été diffusées. Pour le moment les différences  $T_{90} - T_{68}$  ne sont disponibles que sous forme d'un graphique. Un projet très avancé de l'échelle sera disponible vers la fin de 1988. Le document final avec les différences  $T_{90} - T_{68}$  sous forme de tableaux sera soumis au CIPM pour approbation et adoption lors de sa session de 1989, une réunion du CCT devant avoir lieu en septembre 1989. Les documents concernant la « Mise en pratique » et les mesures secondaires de température seront disponibles à cette époque. Mr Preston-Thomas a bon espoir que, en dépit de l'énorme travail que cela représente, le CCT sera en mesure de suivre l'échéancier prévu. Une recommandation a été préparée en vue de son adoption par le CIPM sur la « Mise au point de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) ». Cette recommandation comporte un graphique donnant les différences  $T_{90} - T_{68}$ .

Mr Ambler approuve une des remarques de Mr Preston-Thomas constatant que le nombre des experts en thermométrie va en diminuant et qu'en conséquence il est impératif de terminer rapidement ce travail sur l'EIT-90 et sa « Mise en pratique ». Il pense que l'adoption d'une nouvelle échelle sera d'une grande importance pour l'ensemble des métrologistes.



Mr Blevin demande que les renseignements concernant  $T_{90} - T_{68}$  dont on dispose maintenant soient publiés dès que possible. Mr Preston-Thomas indique que le graphique sera publié, avec la recommandation correspondante, dans les « News from the BIPM » qui doivent paraître dans *Metrologia* au début de 1989, et sera envoyé à tous les laboratoires nationaux.

Le président remercie Mr Preston-Thomas pour son rapport et soumet le projet de recommandation au vote du CIPM. La Recommandation 3 (CI-1988) : Mise au point de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) est adoptée à l'unanimité (*voir* p. 21).

#### 4.5. Réunions futures des comités consultatifs

Le président du CIPM rappelle aux présidents des comités consultatifs qu'il convient de fixer les dates des prochaines réunions de ces comités. Le calendrier retenu est le suivant :

CCE	juin 1991
CCPR	septembre 1990
CCT	12-14 septembre 1989
CCDM	aucune date n'est fixée
CCDS	19-20 avril 1989
CCEMRI	1991
CCU	aucune date n'est fixée
CCM	1991 ou ultérieurement.

Comme à chaque session qui suit une Conférence générale, le CIPM a revu la liste des membres des comités consultatifs. Ces nouvelles listes sont données à la page 22.

### 5. Travaux du BIPM : Rapport du directeur

Mr Quinn introduit la présentation des travaux du BIPM faite par les physiciens et les métrologistes.

Selon l'habitude, cette présentation commence par la section des longueurs. Mr Chartier, chef de la section, présente le personnel récemment engagé pour cette section et rend compte des études en cours et des comparaisons internationales de lasers. Le travail courant de la section couvre deux domaines : les étalons à traits ou à bouts d'une part, et les lasers stabilisés d'autre part. Mr Felder rend compte de la comparaison de lasers à He-Ne stabilisés qui a eu lieu entre le NRLM et le BIPM. Mr Robertsson parle des mesures faites sur les étalons à traits et expose les techniques utilisées.

Mr Girard, chef de la section des masses, présente le personnel de sa section. Le travail en cours le plus important actuellement est la

préparation de la troisième vérification internationale des prototypes du kilogramme qui a commencé au mois de juin 1988. Mr Quinn parle de l'état d'avancement des travaux sur la balance à suspensions flexibles et de l'expérience, maintenant achevée, de recherche d'une cinquième force. Il indique qu'aucune preuve n'a été trouvée de l'existence d'une cinquième force liée à l'isospin nucléaire. Au cours de cette expérience on a obtenu avec la balance à suspensions flexibles un écart-type d'environ  $5 \times 10^{-12}$  lors de la comparaison de masses de 2,3 kg. Mr Sakuma donne des indications sur la préparation de la prochaine comparaison internationale de gravimètres et sur les problèmes gravimétriques occasionnés par la construction du nouveau bâtiment.

Mr Guinot, chef de la section du temps, présente les travaux de sa section dans le domaine du temps atomique : dissémination des échelles de temps, recherches sur les algorithmes et comparaisons internationales de temps. Il souligne l'importance de la coopération continue avec les laboratoires nationaux et les unions internationales concernées. Mme Thomas parle de son travail sur les algorithmes utilisés pour élaborer les échelles de temps avec l'objectif d'améliorer la stabilité du TAI ; Mr Lewandowski donne des détails sur les comparaisons de temps et les récepteurs du GPS, y compris un nouveau récepteur conçu et réalisé par Mr Imae, du Communications Research Laboratory (Japon), au cours de son stage au BIPM.

Mr Reymann, de la section d'électricité, présente ensuite la réalisation de l'étalon de référence représentatif du volt tel qu'il est conservé au BIPM depuis 1976 au moyen de l'effet Josephson, et la recherche des erreurs systématiques dans l'installation correspondante. Mr Delahaye parle de l'état d'avancement de la mise en œuvre de l'effet Hall quantique en vue d'établir et de conserver l'ohm, ainsi que des comparateurs de courant cryogéniques. Mr Witt, chef de la section, présente les travaux effectués par Mr Satrapinsky, chercheur associé, sur les mesures de l'effet Hall quantique, et rend compte de la comparaison internationale d'étalons de résistance de 1 ohm. Il donne des détails sur le travail qui a conduit à une mesure de  $2e/h$  pour laquelle il a utilisé un supraconducteur à haute température.

Mr Köhler, de la section de radiométrie, présente des travaux qui sont effectués pour la première fois au BIPM dans le domaine de la spectroradiométrie. Il donne des informations sur les premières installations expérimentales et sur l'étalonnage des photodiodes.

Mr Allisy, chef de la section des rayonnements ionisants, analyse les résultats de comparaisons effectuées dans le domaine du rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$  et dans celui des rayons X. Mme Boutillon présente les résultats de calculs (type Monte-Carlo) concernant la correction à appliquer à la mesure de la dose absorbée dans le graphite au moyen d'un calorimètre et Mr Huynh expose le principe de la comparaison de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM et les résultats obtenus. Mr Ratel présente les résultats des comparaisons internationales de

mesures d'activité du  $^{109}\text{Cd}$  et du  $^{125}\text{I}$  qui feront l'objet de rapports BIPM. Mr Müller décrit une méthode nouvelle qui permet d'éliminer les effets gênants et mal connus sur le taux de comptage mesuré, dus au détecteur et à la chaîne électronique, en insérant un temps mort approprié de type généralisé. Mr Bréonce donne quelques détails sur l'équipement électronique utilisé pour la mise en œuvre de cette méthode.

En conclusion, Mr Quinn souligne que, bien qu'il soit difficile de présenter en détail les travaux scientifiques du BIPM dans un laps de temps aussi court, il est important d'essayer de donner une vue générale succincte qui permette au CIPM d'évaluer la qualité des travaux réalisés. Le BIPM conserve les étalons de référence, effectue des comparaisons internationales, des vérifications d'étalons et des travaux de recherche, et il se doit de maintenir un haut niveau d'expertise dans de nombreux domaines.

Le président remercie Mr Quinn et félicite les membres du BIPM pour la présentation et la qualité des travaux effectués.

Dans l'après-midi du mercredi 5 octobre 1988 les membres du CIPM ont pu visiter les laboratoires du BIPM et obtenir un complément d'information sur les installations ou travaux particuliers suivants :

— Lasers : nouvelle installation pour déterminer la qualité des cellules à iode ; lasers à He-Ne à  $\lambda = 543 \text{ nm}$ .

— Électricité : fabrication des jonctions Josephson ; jonctions Josephson utilisant des supraconducteurs à haute température.

— Spectro-radiométrie : nouvelle installation pour l'étalonnage automatique des photodiodes.

— Radionucléides : détail des résultats de la comparaison internationale de  $^{125}\text{I}$  ; études sur le temps mort généralisé.

— Atelier : démonstration des possibilités d'une nouvelle fraiseuse à commande numérique.

Il n'y a pas eu de visite du Dépôt des prototypes lors de la session puisque le Prototype international du kilogramme en a été extrait (*BIPM Proc.-verb. com. int. poids et mesures*, 55, 1987, p. 23) le 3 juin 1988 en vue de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux.

## 6. Questions administratives et financières

Le président rappelle qu'au point 3 de l'ordre du jour il a déjà été discuté du « Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures en 1987 » et du problème particulier du recouvrement des contributions ; il présente maintenant le rapport de l'expert comptable pour 1987, en présence de Mr Gaillard, administrateur du BIPM. Ces rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus

est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'exercice 1987.

Le président fait un commentaire sur l'exercice 1988 en cours et présente le projet de budget pour 1989.

À propos de l'exécution du budget de 1988, Mr Quinn précise que la somme qui figure au titre des recettes au chapitre des recettes diverses correspond essentiellement à la vente de deux kilogrammes prototypes en platine iridié. En ce qui concerne les dépenses d'investissement, l'augmentation des dépenses pour l'atelier vient de l'achat d'une nouvelle fraiseuse. Les dépenses d'équipement de laboratoires ont été inhabituellement faibles pour les deux dernières années car l'effort était mis sur les dépenses pour le nouveau bâtiment ; la tendance devrait s'inverser l'an prochain. L'accroissement du poste des frais divers est dû au remplacement de l'installation téléphonique centrale. Dans le projet de budget pour 1989, il convient de prévoir le remplacement de l'installation de traitement de textes.

BUDGET POUR 1989

RECETTES

	francs-or
Recettes budgétaires	
Contributions des États .....	17 960 000
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États ».	0
Intérêts des fonds .....	1 220 000
Taxes de vérification .....	20 000
Total .....	<u>19 200 000</u>

DÉPENSES

A. Dépenses de personnel :		
1. Traitements .....	8 300 000	} 12 158 000
2. Allocations familiales .....	1 446 000	
3. Sécurité sociale .....	920 000	
4. Assurance-accidents .....	92 000	
5. Caisse de retraites .....	1 400 000	
B. Dépenses de fonctionnement :		
1. Mobilier .....	100 000	} 3 180 000
2. Laboratoires et ateliers .....	1 300 000	
3. Chauffage, eau, énergie électrique .....	450 000	
4. Assurances .....	50 000	
5. Impressions et publications .....	240 000	
6. Frais de bureau .....	340 000	
7. Voyages et transports d'appareils .....	340 000	
8. Entretien courant .....	300 000	
9. Bureau du Comité .....	60 000	
C. Dépenses d'investissement :		
1. Laboratoires .....	1 967 000	} 2 262 000
2. Atelier de mécanique .....	85 000	
3. Atelier d'électronique .....	10 000	
4. Bibliothèque .....	200 000	
D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation).	1 400 000	
E. Frais divers et imprévus .....	200 000	
Total .....		<u>19 200 000</u>

Le projet de budget pour 1989 est adopté.

### **Nomination de deux nouveaux physiciens principaux (adjoints)**

Mr Quinn propose au Comité de nommer deux nouveaux physiciens principaux (adjoints) : Mr D. Reymann qui est chargé en particulier des mesures de l'effet Josephson et Mme M. Boutillon, récemment engagée à mi-temps pour la section des rayons X et  $\gamma$  après y avoir fait un stage depuis de nombreuses années.

À la suite d'un vote à bulletin secret, ces deux physiciens sont promus au grade de physicien principal à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1989.

### **7. Nouveau Pavillon**

Le Nouveau Pavillon est inauguré le 5 octobre 1988, à 17 heures, par le Professeur D. Kind, président du CIPM. Dans son allocution inaugurale celui-ci fait part de la satisfaction du CIPM devant ce Nouveau Pavillon, qui va apporter une nette amélioration aux conditions de travail du BIPM. Il rappelle que le CIPM a approuvé le projet en octobre 1986 et, grâce à la coopération précieuse des autorités françaises, la construction a pu commencer dès le printemps de 1987. Le bâtiment a une surface utile d'environ 900 m<sup>2</sup>. Il abritera une bibliothèque et les bureaux du directeur, du secrétariat et de quelques physiciens. C'est la seconde construction nouvelle réalisée au cours des toutes dernières années, le bâtiment des lasers ayant été inauguré en 1984. Ces deux bâtiments ont été construits dans un style traditionnel conforme à l'environnement du BIPM.

Comme cette inauguration coïncide avec le départ en retraite de Mr Giacomo, précédent directeur du BIPM, une cérémonie officielle s'est déroulée en son honneur. Le président rappelle brièvement la carrière de Mr Giacomo et donne la parole au Professeur Siegbahn pour une conférence scientifique intitulée « From X-ray to electron spectroscopy ».

Au terme de cette conférence, Mr Giacomo remercie le président du CIPM et K. Siegbahn pour l'honneur qui lui est fait, ainsi que les diverses personnalités étrangères et ses collègues du BIPM pour la confiance dont ils lui ont fait preuve durant les années où il a été directeur.

Mr Quinn rappelle ensuite ce qu'a été la Commission internationale du Mètre, qui a précédé la création du BIPM. À l'occasion de la dernière réunion de cette Commission en octobre 1872 et pour exprimer la gratitude de la France pour les importants travaux faits par cette Commission, le Gouvernement français avait offert à chacun de ses membres un très beau et très précieux vase de Sèvres. Mr Savreux, arrière-petit-fils de E. Peligot, qui faisait partie de la section française en 1872 et à ce titre avait reçu l'un de ces vases, fait officiellement don de cette œuvre d'art au BIPM. Mr Savreux raconte que ce vase est l'un des deux seuls objets rescapés de la destruction totale de sa demeure par une bombe britannique en 1942 ; il espère que le premier

directeur britannique du BIPM saura, comme son compatriote il y a quarante-cinq ans, préserver cette splendide œuvre d'art. Mr Quinn lui donne la réponse attendue et lui remet une lettre signée par le président Kind exprimant la gratitude du CIPM pour ce don extrêmement généreux.

Cette cérémonie s'achève par une réception dans l'appartement du directeur à l'invitation du président du CIPM et du directeur du BIPM.

## 8. Questions diverses

### 8.1. Utilisation de la langue anglaise

Afin d'assurer une diffusion plus large des travaux du BIPM, Mr Quinn suggère d'étendre encore l'utilisation de la langue anglaise dans les publications du BIPM. Il propose que les recommandations des comités consultatifs et du CIPM ainsi que les résolutions de la CGPM soient toujours préparées en français et en anglais ; les documents de travail et les Comptes rendus de la CGPM seront publiés entièrement en français et en anglais, ainsi que la demande en a été faite au cours de la 18<sup>e</sup> CGPM ; la brochure sur le SI et celle sur le BIPM sont déjà bilingues et continueront de l'être ; les Procès-verbaux du CIPM, qui comportent le rapport de la session du CIPM et le rapport du directeur, seront publiés en version française et en version anglaise ; les documents de travail du CIPM seront rédigés dans les deux langues s'ils sont destinés à être publiés, dans le cas contraire ils ne seront distribués que dans la langue originale de rédaction. Les rapports des comités consultatifs sont déjà publiés dans les deux versions, mais tout document de travail qui sera publié le sera dans la version originale seulement ; les documents de travail soumis aux comités consultatifs seront reliés en volumes et distribués aux membres de ces comités, ils seront considérés comme des annexes au rapport publié. Le rapport annuel de la section du temps, qui comporte essentiellement des tableaux de chiffres, sera publié en anglais comme il l'a toujours été par le BIH ; il y sera ajouté un résumé en français ; les circulaires mensuelles TAI/UTC envoyées par le BIPM continueront de l'être en anglais, mais les notes explicatives annuelles seront données dans les deux langues. La question d'une édition bilingue du Rapport annuel aux Gouvernements et de la Notification des parts contributives sera considérée en 1989. Mr Quinn propose de réduire de moitié la longueur du rapport du directeur ; actuellement ce rapport comprend environ 70 pages imprimées. Le Comité convient que ce rapport est trop détaillé. Sous sa forme actuelle ce rapport est trop long pour n'être qu'un simple résumé des travaux, tout en n'étant en revanche pas assez long pour constituer un compte rendu scientifique complet des travaux. Mr Quinn propose qu'une version abrégée soit publiée en anglais en même temps qu'en français.

Toutes les propositions faites par Mr Quinn au sujet de l'utilisation de l'anglais et du français dans les diverses publications du BIPM sont adoptées par le Comité.

## **8.2. Conservation du prototype international du kilogramme**

Mr Quinn informe les membres du CIPM des conditions très médiocres dans lesquelles est conservé le prototype international du kilogramme : la situation devient grave. On a constaté la présence d'une substance grasse (algues) sur le verre des cloches et les parties métalliques du support étaient corrodées. Il y a des infiltrations d'eau à proximité du Caveau. Il est urgent de trouver une solution à ce problème. Mr Quinn demande que l'autorisation soit donnée au bureau du Comité et au directeur du BIPM d'installer les prototypes dans un autre endroit. Il est également nécessaire de demander au conservateur des Archives de France l'autorisation pour le BIPM de conserver la clef dont il est dépositaire pendant plus longtemps que prévu. Le Comité donne son accord.

## **8.3. Date de la prochaine session du CIPM**

La prochaine session du CIPM se tiendra au Pavillon de Breteuil du 26 au 28 septembre 1989.

L'ordre du jour étant épuisé, le président clôt la 77<sup>e</sup> session du CIPM.



**Recommandations  
adoptées  
par le Comité international des poids et mesures**

Représentation du volt au moyen de l'effet Josephson

RECOMMANDATION 1 (CI-1988)

Le Comité international des poids et mesures,

*agissant* conformément aux instructions données dans la Résolution 6 de la 18<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures concernant l'ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm,

*considérant*

— qu'une étude approfondie des résultats des déterminations les plus récentes conduit à une valeur de 483 597,9 GHz/V pour la constante de Josephson,  $K_J$ , c'est-à-dire pour le quotient de la fréquence par la tension correspondant au palier de rang  $n = 1$  dans l'effet Josephson,

— que l'effet Josephson, avec cette valeur de  $K_J$ , peut être utilisé pour établir un étalon de référence de force électromotrice dont l'incertitude (écart-type), par rapport au volt, est estimée à  $4 \times 10^{-7}$  en valeur relative et dont la reproductibilité est nettement meilleure,

*recommande*

— que l'on adopte, par convention, pour la constante de Josephson,  $K_J$ , la valeur  $K_{J-90} = 483\,597,9$  GHz/V exactement,

— que cette nouvelle valeur soit utilisée à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1990, et non auparavant, pour remplacer les valeurs actuellement en usage,

— que cette nouvelle valeur soit utilisée à partir de cette même date par tous les laboratoires qui fondent sur l'effet Josephson leurs mesures de force électromotrice,

— qu'à partir de cette même date tous les autres laboratoires ajustent la valeur de leurs étalons de référence pour la mettre en accord avec cette nouvelle valeur,

*estime*

— qu'aucun changement de cette valeur recommandée de la constante de Josephson ne sera nécessaire dans un avenir prévisible,

*attire l'attention* des laboratoires sur le fait que la nouvelle valeur est supérieure de 3,9 GHz/V, soit approximativement  $8 \times 10^{-6}$  en valeur relative, à la valeur donnée en 1972 par le Comité consultatif d'électricité dans sa Déclaration E-72.

## Représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique

### RECOMMANDATION 2 (CI-1988)

Le Comité international des poids et mesures,

*agissant* conformément aux instructions données dans la Résolution 6 de la 18<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures concernant l'ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm,

*considérant*

— que la plupart des étalons actuels de référence de résistance électrique présentent au cours du temps des variations significatives,

— qu'un étalon de référence de résistance électrique fondé sur l'effet Hall quantique serait stable et reproductible,

— qu'une étude approfondie des résultats des déterminations les plus récentes conduit à une valeur de  $25\,812,807\ \Omega$  pour la constante de von Klitzing,  $R_K$ , c'est-à-dire pour le quotient de la tension de Hall par le courant correspondant au plateau de rang  $i = 1$  dans l'effet Hall quantique,

— que l'effet Hall quantique, avec cette valeur de  $R_K$ , peut être utilisé pour établir un étalon de référence de résistance dont l'incertitude (écart-type), par rapport à l'ohm, est estimée  $2 \times 10^{-7}$  en valeur relative et dont la reproductibilité est nettement meilleure,

*recommande*

— que l'on adopte par convention, pour la constante de von Klitzing,  $R_K$ , la valeur  $R_{K-90} = 25\,812,807\ \Omega$  exactement,

— que cette valeur soit utilisée à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1990, et non auparavant, par tous les laboratoires qui fondent sur l'effet Hall quantique leurs mesures de résistance électrique,

— qu'à partir de cette même date tous les autres laboratoires ajustent la valeur de leurs étalons de référence pour la mettre en accord avec  $R_{K-90}$ ,

— que, pour établir un étalon de référence de résistance électrique fondé sur l'effet Hall quantique, les laboratoires suivent les conseils pour la mise en œuvre de la résistance de Hall quantifiée élaborés par le Comité consultatif d'électricité et publiés par les soins du Bureau international des poids et mesures, dans leur édition la plus récente,

*et estime*

— qu'aucun changement de cette valeur recommandée de la constante de von Klitzing ne sera nécessaire dans un avenir prévisible.

Mise au point de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90).

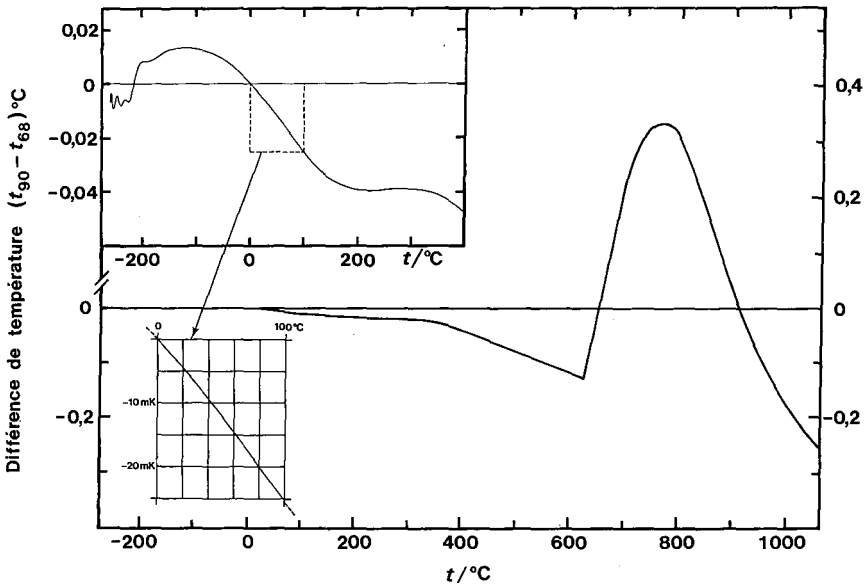
RECOMMANDATION 3 (CI-1988)

Le Comité international des poids et mesures

*agissant* conformément aux instructions données dans la Résolution 7 de la 18<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures concernant la mise au point d'une nouvelle échelle internationale de température,

*annonce* que les écarts entre l'EIT-90 et l'EIPT-68 seront approximativement ceux qui sont indiqués dans le graphique joint à la présente recommandation,

*recommande* que les laboratoires nationaux prennent connaissance de ces écarts approximatifs en vue de la mise en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 1990 de l'EIT-90.



## Composition des comités consultatifs

### Comité consultatif d'électricité (CCE)

*Président* : E. Ambler, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

*Membres* :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin  
Conseil national de recherches, Ottawa  
CSIR, Division of Production Technology, Pretoria  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad  
Institut national de métrologie, Beijing  
Institut national de métrologie, Bucarest  
Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
Office fédéral de métrologie, Wabern  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Van Swinden Laboratorium, Delft  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR)

*Président* : W.R. Blevin, CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

*Membres* :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin  
Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris  
Československý Metrologický Ústav, Bratislava  
Conseil national de recherches, Ottawa  
CSIR, Division of Production Technology, Pretoria  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba  
Institute of Optical and Physical Measurement, VNIIOFI, Moscou  
Institut national de métrologie, Beijing  
Instituto de Optica Daza de Valdès, Madrid  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin  
Korea Standards Research Institute, Taejon  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
Office fédéral de métrologie, Wabern/World Radiation Center, Davos  
Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif de thermométrie (CCT)**

*Président* : H. Preston-Thomas, Conseil national de recherches, Ottawa

*Membres* :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin  
Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris  
Českolovenský Metrologický Ústav, Bratislava  
Conseil national de recherches, Ottawa  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad/Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou  
Institut national de métrologie, Beijing  
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin  
Korea Standards Research Institute, Taejon  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Van Swinden Laboratorium, Delft/Kamerlingh Onnes Laboratorium, Leiden  
C.A. Swenson, Iowa State University  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM)**

*Président* : D. Kind, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

*Membres* :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin  
Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris  
Conseil national de recherches, Ottawa  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad  
Institut national de métrologie, Beijing  
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin  
Korea Standards Research Institute, Taejon  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Union astronomique internationale  
B. Edlén, Lunds Universitets, Lund  
K. Shimoda, Tokyo  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS)**

*Président* : J. Kovalevsky, Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques, Grasse

*Membres :*

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin  
Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire du temps et des fréquences,  
Paris  
Comité consultatif international des radiocommunications [CCIR] de l'Union  
internationale des télécommunications, Genève  
Communications Research Laboratory, Tokyo  
Conseil national de recherches, Ottawa  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou  
Institut national de métrologie, Beijing  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin  
Laboratoire de l'horloge atomique du CNRS, Orsay  
National Institute of Standards and Technology, Boulder  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Physical Laboratory of India, New Delhi  
National Physical Laboratory of Israël, Jérusalem  
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba  
Observatoire royal de Belgique, Bruxelles  
Office fédéral de métrologie, Wabern  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando  
Royal Greenwich Observatory, Hailsham  
Technische Universität Graz, Graz  
Union astronomique internationale  
Union radioscopique internationale  
U.S. Naval Observatory, Washington  
Van Swinden Laboratorium, Delft  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

**Comité consultatif pour les étalons de mesure  
des rayonnements ionisants (CCEMRI)**

*Président :* P. Dean, National Physical Laboratory, Teddington

*Membres :*

J.-P. Simoen (président de la Section I), Laboratoire de métrologie des  
rayonnements ionisants, Saclay  
J.G.V. Taylor, (président de la Section II), Chalk River  
R.S. Caswell (président de la Section III), National Institute of Standards and  
Technology, Gaithersburg  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons)

*Président :* J.-P. Simoen, Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants,  
Saclay

*Membres :*

Australian Radiation Laboratory, Yallambie  
Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien

Bureau national de métrologie : Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay  
Conseil national de recherches, Ottawa  
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad  
Institut national de métrologie, Beijing  
International Commission on Radiation Units and Measurements  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Institute of Radiation Protection, Stockholm  
National Physical Laboratory, Teddington  
Orszagos Mérésügyi Hivatal, Budapest  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie  
Rijks Instituut voor Volksgezondheid, Utrecht  
A. Allisy, Paris  
A. Brosted, Madrid  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

## Section II (Mesures des radionucléides)

*Président* : J.G.V. Taylor, Chalk River, Canada

### *Membres* :

Australian Atomic Energy Commission, Research Establishment, Sutherland  
Bureau national de métrologie : Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay  
Conseil national de recherches, Ottawa  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad  
Institut national de métrologie, Beijing  
National Accelerator Centre, Faure  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
J.J. Gostely, Lausanne  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

## Section III (Mesures neutroniques)

*Président* : R.S. Caswell, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

### *Membres* :

Bureau national de métrologie : Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay  
Conseil national de recherches, Ottawa  
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad  
Institut national de métrologie, Beijing  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

H. Liskien (BCMNI, Geel)  
J.J. Broerse (TNO, Rijswijk)  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

**Comité consultatif des unités (CCU)**

*Président* : J. de Boer

*Membres* :

Comité d'État de l'URSS pour les normes (Gosstandart), Moscou  
Commission électrotechnique internationale  
Commission internationale de l'éclairage  
Conseil national de recherches, Ottawa  
Institut national de métrologie, Beijing  
International Commission on Radiation Units and Measurements  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba  
Organisation internationale de métrologie légale  
Organisation internationale de normalisation (Comité technique 12)  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Union internationale de chimie pure et appliquée (Commission STU)  
Union internationale de physique pure et appliquée (Commission SUN)  
H.H. Jensen, Copenhague  
M.L. McGlashan, Londres  
L. Villena, Madrid  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

**Comité consultatif pour la masse  
et les grandeurs apparentées (CCM)**

*Président* : A. Bray, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

*Membres* :

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris  
Československý Metrologický Ústav, Bratislava  
Conseil national de recherches, Ottawa  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad  
Institut national de métrologie, Beijing  
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba  
Office fédéral de métrologie, Wabern  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Van Swinden Laboratorium, Delft  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

---



# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

77th Meeting (October 1988)

---

## REPORT OF THE MEETING HELD AT SÈVRES \*

Prof. D. Kind presiding

---

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 77th meeting at the Bureau International des Poids et Mesures at Sèvres on Tuesday 4th, Wednesday 5th and Thursday 6th of October 1988. It held four sessions in all.

Present: MM. AMBLER, BLEVIN, DE BOER, DEAN, IIZUKA, JENSEN, KIND, KOVALEVSKY, MEKHANNIKOV (absent on October 4th in the morning), PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SIEGBAHN (absent on October 4th in the morning), SKÁKALA, WANG, QUINN (Director of the BIPM).

Also attending the meeting: Dr. GIACOMO (Director emeritus of the BIPM); interpreters: Mr. OBOUKHOV, Miss MONPROFIT; secretary: Mrs LE COZ.

Apologies for absence were received from: MM. BRAY, SALA and STEINBERG.

Absent: Dr. MITRA.

### 1. Opening of the meeting; quorum; agenda

The President opened the 77th meeting of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) and welcomed the members. No changes have occurred in the membership of the Comité since last year. MM. Mekhannikov and Siegbahn had informed the President that they would arrive later in the morning.

---

\* Following the decision taken at this meeting of the CIPM (see p. 42) an English version of the report is now included.

The President noted that a quorum was present, as is required by Article 12 of the Convention du Mètre.

Since this was the first meeting with Dr. Quinn as Director of the BIPM, the President presented his best wishes to the BIPM and its new director. This change in directorship coincided with the completion of the «Nouveau Pavillon», the inauguration of which was due to take place on Wednesday, 5th October, at 5 p.m. and would include a lecture by Prof. Siegbahn. The President then proposed the nomination of Dr. Giacomo, who retired from the Directorship of the BIPM in August, as «Directeur honoraire». This proposal was unanimously approved by the members present.

Dr. Giacomo thanked the President and the members of the CIPM.

In reply to the President's request for comments on the draft agenda, Dr. Blevin informed the members that there had been a Joint meeting of the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) and of the Radiofrequency Working Group (GT-RF) of the Comité Consultatif d'Électricité (CCE) on September 30th, 1988. He proposed to present an additional report on this meeting at the end of the CCE Report.

The Agenda was adopted, with this minor modification.

The President, after proposing a time schedule for the meeting asked the Secretary of the CIPM, Prof. de Boer, to present his report.

## **2. Report of the Secretary of the CIPM**

(October 1987 — October 1988)

In this report, the Secretary paid special attention to the financial situation of the BIPM, and most particularly to the expenditures in the new building and the pension fund. He pointed out that the pension fund has been significantly increased over the past four years in order to meet the additional expenses resulting from the many retirements that have recently taken place. The size of the pension fund is now sufficient to cover these increases and from 1989 onwards the annual transfer should reduce to the level of 16 % of staff salaries, agreed some years ago.

1. Member States of the Convention du Mètre. — The number of member States of the Convention du Mètre remains unchanged at forty-seven.

2. Membership of the CIPM. — There have been no changes in the composition of the Comité International during the past year. All seats on the Comité are occupied.

3. Director of the BIPM. — On the 1st of August 1988 Dr. T. J. Quinn became Director of the BIPM on the retirement of Dr. P. Giacomo.

4. Meetings of the Comités Consultatifs and Working Groups :

— The CCM held its 3rd meeting on the 26th and 27th May 1988 under the Presidency of Dr. Giacomo, Professor Bray being indisposed. Seven of the nine Working Groups of the CCM, namely, two of the four Working Groups on Mass, the Working Group on Force and the four Working Groups on Pressure, met — one in Berlin in May and the others in Paris or at the Pavillon de Breteuil during the days just before the CCM meeting.

— Section I of CCEMRI (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) met from 11th to 13th of April 1988.

— Section III of CCEMRI (Mesures neutroniques) met from the 18th to 20th of April 1988.

— The CCE held its 18th meeting from the 27th to 29th of September 1988. An *ad-hoc* joint CCE/CCPR Working Group on fibre-optics measurements met on the 30th September, and the CCE Working Group on Radiofrequency Quantities met on the 13th and the 14th of June in Tsukuba, Japan, on the occasion of the Conference on Precision Electromagnetic Measurements of 1988.

Unless otherwise stated, the meetings took place at the Pavillon de Breteuil.

5. Financial Report

The Table below shows the situation of the assets of the BIPM, in francs-or, on the 1st of January of the year given at the head of each column.

Accounts	1985	1986	1987	1988
I. — Ordinary funds . . . . .	16 227 665.79	15 439 533.68	15 550 507.07	13 743 538.35
II. — Pension fund . . . . .	9 214 761.18	10 043 819.07	11 843 142.42	13 160 434.56
III. — Special fund for the improvement of scientific equipment . . . . .	936 410.39	573 810.31	523 857.79	214 847.73
IV. — Staff loan fund . . . . .	185 090.87	187 788.99	204 771.34	230 719.45
V. — Building reserve fund	141 352.65	821 291.74	1 816 600.45	1 359 042.99
Totals . . . . .	26 705 280.88	27 066 243.79	29 938 879.07	28 708 583.08

### 3. Report on the activity of the bureau \* of the CIPM

The Secretary next presented the report on the activity of the bureau of the CIPM, with a discussion on the annual report to Governments.

The bureau of the Comité has met a number of times since the last CIPM meeting in October 1987; one of the meetings took place in Prague. In addition, various matters were dealt with by correspondence and by telephone. The principal questions dealt with by the bureau during the year have been :

- the Annual Report to Governments and the shortfall in contributions from member states for the year 1987,
- progress in the construction of the Nouveau Pavillon and related financial matters,
- various BIPM staff and other matters.

#### *Annual Report to Governments*

In addition to the usual examination of the text of the Annual Report to Governments, the bureau discussed the unusually large shortfall in contributions for the year 1987, amounting to 16 % of the total due for the year. This shortfall was, however, partially compensated for by various payments made during 1987 for amounts remaining unpaid in previous years. The final shortfall for 1987 was thus 11 %. A certain number of contributions are regularly paid in full during the first quarter of the year and for this we are very grateful to those member Governments. There remained in 1987, however, contributions amounting to 33 % of the total that were not paid until after the 15th of November. But in 1988 the situation is much more satisfactory. By the 31st of July we had received 80 % of the contributions due for 1988 plus the equivalent of a further 10 % made up of contributions remaining due for previous years. It was agreed by the bureau that it would be helpful if each member of the CIPM be informed, during the September of each year, of the situation regarding his own Government's contribution to the BIPM.

Dr. Dean asked what should be done for countries who do not have one of their nationals on the CIPM. Dr. Quinn pointed out that, when it proves necessary, the BIPM sends reminders to the embassies in Paris.

#### *The Nouveau Pavillon*

Construction of the Nouveau Pavillon has proceeded without any major problems having arisen. The preliminary estimated completion date was July 1988, but various minor delays have accumulated and

---

\* The bureau comprises the President, Vice-Presidents, Secretary and Deputy Secretary.

we now foresee a completion date toward the end of September — one must remember that very little building work takes place during the month of August.

The transfer of the Secretariat and Director's office to the Nouveau Pavillon will not take place until after the meeting of the CIPM. The library, however, will begin to be installed as soon as the building is ready, although the complete transfer of the library is planned to take at least six months. The offices to be used by physicists will be occupied after the CIPM meeting.

Questions concerning the new building and the disposition of offices remaining in the Grand Pavillon and other space were raised by Dr. Ambler. Dr. Quinn replied that the Grande Salle in the Grand Pavillon would remain unchanged. In the Nouveau Pavillon there would be an additional room for small meetings; various offices for the Director, administrative staff and physicists; and a library. Offices made vacant in the Grand Pavillon would be occupied by physicists, and the old reading room would be used for an extension of the canteen and for storage.

Dr. Blevin raised the problem of the acoustics in the Grande Salle. Dr. Quinn suggested that for next year we could try a simple system of microphones and loudspeakers, but that no changes could be made to the room itself.

The cost of the Nouveau Pavillon was now estimated to be 4.6 million gold francs compared with about 4.1 million gold francs estimated at the time of signing contracts in March 1987. In view of the complexity of the building works which were carried out so close to the historic Pavillon de Breteuil, we consider the situation very satisfactory. Nevertheless, the additional costs for the Nouveau Pavillon in 1988 have been such that the amount foreseen in the 1988 budget for additional building works not related to the Nouveau Pavillon would be insufficient to meet requirements. The bureau proposes, therefore, that the sum of 500 000 FO be advanced from the 1989 Budget in order to cover certain costs related to the New Pavillon. The carry-over of these costs was foreseen in the Programme de travail et budget presented to the 18th CGPM.

#### *Other BIPM matters*

The first printing of 5 000 copies of the BIPM Brochure was used up by the spring of this year and a further 4 000 copies have now been made. Members of CIPM should, therefore, not hesitate to ask for more copies if they are needed.

The bureau was informed of three important recruitments at BIPM; Mlle B. Perent of French nationality to replace Mr. Gaillard as Head of Finance and Administration on his retirement at the end of 1988 (Mlle Perent is at present Financial Director of a small French company),

Drs. Köhler (German nationality) and Robertsson (Swedish nationality) to take posts left vacant by the retirement of P. Carré and the resignation of M. Gläser. Dr. Köhler has begun the new radiometry work and Dr. Robertsson is in the length section. In addition, Dr. S. Picard (Swedish nationality) has a two-year Research Fellowship in the length section.

*Metrologia* was the subject of discussions at a meeting of the bureau in the presence of the editor, Dr. R. P. Hudson, in view of the foreseen retirement of the latter due to take place at the end of October 1989.

#### 4. Consultative Committees

Since the last CIPM meeting, Sections I and III of the CCEMRI had met, as well as the CCM and the CCE.

##### 4.1. Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Dr. Dean, President of the CCEMRI, presented the reports of the meetings of Sections I and III of the CCEMRI that took place in April 1988; relevant documents were distributed to the members of the CIPM. (Prof. Siegbahn had reported last year on the meeting of Section II that has taken place in 1987.)

Section I held its 9th meeting from 8th to 11th April, 1988. The report reviewed the recent work of the BIPM and discussed the results of the comparisons of national standards. It stressed the need for comparisons of absorbed-dose standards for photons at energies above 1 MeV and gave two formal recommendations which were adopted. These were presented to the CIPM for information only as they had not been reviewed by the CCEMRI.

Section III held its 8th meeting from 18th to 20th of April 1988. The report reviewed the recent work carried out at the BIPM in the field of neutron measurements, and discussed the published results of completed neutron-emission-rate and fluence-rate comparisons, of the NPL neutron-dosimetry comparison and the preliminary report on the BIPM neutron-dosimetry comparison. It also discussed the future concerns of Section III and the programme of neutron measurements at the BIPM. No recommendations were made.

A discussion followed on the problem of the Sections of the CCEMRI reporting directly to the CIPM. Dr. Dean said that he intended to synchronize the meetings of the CCEMRI and its three Sections so that the reports of the sections could be reviewed by the CCEMRI

shortly after the Section meetings. In view of arrangements already made this could not now be done before 1991. The question of the composition of the CCEMRI was discussed, with a suggestion that the number of members be increased; no formal decision was taken and it was agreed that Dr. Dean should discuss this question with the Presidents of the Sections.

#### **4.2. Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées**

In the absence of Prof. Bray, President of the CCM, Dr. Giacomo had had to take over temporarily as President of this committee. There was no formal proposal or recommendation before the CIPM from the CCM. Dr. Giacomo presented briefly the reports of the nine Working Groups of CCM. This number of Working Groups is too large. It has been proposed that the number of Working Groups on mass be reduced from four to two and that the four Working Groups on pressure might be combined into one later on. The distribution of subjects discussed by these Working Groups is such that the CCM tends to discuss matters concerning pressure or force more than those concerning mass. However, the main topic of the CCM was the third verification of the national prototype kilograms. Mr. Girard has already successfully started the work with the BIPM standards. Only one prototype per country should be sent to the BIPM for the comparison. In special cases, a second prototype may be verified at the BIPM after the main comparison. Progress on the flexure-strip balance of the BIPM was reported. The next CCM meeting will be held in three year's time.

Dr. Blevin agreed with Dr. Giacomo that the first task of the CCM is to deal with mass standards, but believed that it should also take care of related quantities such as force, density and so on.

A discussion followed between Dr. Ambler and Dr. Quinn, touching on the number of countries participating in the third verification of the national prototypes of the kilogram; on the possibility of establishing a uniform protocol to be used by each country for the verification of the kilograms before they are sent to the BIPM; and on the number, certainly now too large, of the CCM Working Groups.

Dr. Plebanski asked whether it would be possible to have a more precise definition of which type of stainless steel should be used for mass standards. Also, he was not sure of the value of water as a high-level density standard. Water should serve, in his opinion, more as a practical standard than as a reference standard: there are other chemical substances of higher reproducibility than water, such as silicon. Dr. Ambler agreed that water is not a very simple liquid, and that silicon is a much better density standard. Dr. Quinn remarked that water has the one huge advantage that it has a density maximum at 4 °C. Oceanographers obviously have an overriding requirement for a highly accurate water-density standard, such as the « Standard Mean Ocean Water (SMOW) ».

As regards the density of water, Dr. Iizuka said that the best results of the NRLM agreed with those of the CSIRO to within 1 part in  $10^6$ . The CCM had agreed that a small Working Group should edit a new table for the density of water.

#### 4.3. Comité Consultatif d'Électricité

Dr. Ambler, President of the CCE, presented the provisional report of the CCE, which had held its meeting the preceding week on the 27th and 28th of September 1988. The aim of this meeting had been to agree on the numerical values to be recommended for the Josephson-effect and the quantum-Hall-effect constants to be employed by the national laboratories in establishing new reference standards for electromotive force and resistance. An agreement on these values was easily obtained, due largely to the enormous efforts that had been contributed by the Working Groups on the Josephson effect and quantum Hall effect. The great amount of work put into these Reports by the members, particularly Dr. Taylor of NIST and Dr. Witt of BIPM, was fully appreciated by the CCE and warmly commended.

The comparisons organized by the Working Group on Radiofrequency were reviewed by the CCE.

The CIPM fears that the comparisons by this Working Group are to some extent self-generating. This led to further discussion on the proper role of Working Groups, without any formal conclusion being reached.

The CIPM then discussed the three recommendations proposed by the CCE. Two of the recommendations were adopted, with minor modifications in the wording, by the CIPM as Recommendation 1 (CI-1988): Representation of the volt by means of the Josephson effect [see p. 44] and Recommendation 2 (CI-1988): Representation of the ohm by means of the quantum Hall effect [see p. 45]. The third recommendation of the CCE: Realization of the electrical SI units, was noted. In discussing the implementation of Recommendations 1 and 2 (CI-1988), the CIPM also approved the declarations of the CCE. These had been arrived at after a great deal of difficult discussion [see: *BIPM Com. Cons. Électricité*, 1988, and News from the BIPM, *Metrologia*, **26**, 1988, pp. 69-74].

A discussion followed as to the best means of publicizing these forthcoming electrical changes. Dr. Quinn said that he intended to publish the recommendations and the declarations of the CCE adopted and endorsed by the CIPM in the News from the BIPM published in *Metrologia* to appear in the first issue of 1989. It was agreed that this was an appropriate way to begin and the article should also include the information called for by the 18th CGPM (Resolution 7) on the forthcoming ITS-90. Dr Quinn agreed to send the manuscript of the News from the BIPM to members of the CIPM before the end of the year.



### *Joint meeting of the CCPR and CCE-GTRF*

As earlier arranged, Dr. Blevin presented, at the end of the CCE report, the report on the joint meeting of the CCPR and the CCE-GTRF of September 30, 1988. This meeting, which had been requested by the CIPM in the course of its 76th session in 1987, discussed the metrological requirements in the field of optical-fibre technology and the desirability of the CIPM's getting involved in this field. The results from a questionnaire sent to national laboratories concerning work done, in progress, or scheduled were reviewed. A discussion took place on the international organizations active in this field (International Electrotechnical Commission, Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique). A list of areas where there was scope for the CIPM and consultative committees to make a contribution was established (radiant power, attenuation in optical fibres, measurement of small diameters). It was reported that the two comparisons of optical-power measurements and attenuation measurements were progressing well. The report on this joint meeting will be published as an appendix to the CCE report.

A discussion followed on whether measurement of dimensions of optical fibres was within or outside the scope of the Convention du Mètre; if within, should the action be limited to the organization of international comparisons? Dr. Quinn gave his opinion that the deciding factor should be whether national laboratories feel the need for such an international comparison. Dr. Dean remarked that if the Consultative Committees were to get involved with every new technology there would be an enormous load for those Committees. He thinks that we must not get involved in matters of technology. The President agreed with Dr. Dean, and said that in his opinion the Consultative Committees should preferably limit their action to areas in which there is expertise in the BIPM. Dr. Quinn pointed out that for many years the Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde worked efficiently without any time section at the BIPM. It would be useful if the Consultative Committees made a list of the comparisons that national laboratories consider necessary. The CCPR and the CCE-GTRF will make a report on the possibility of some action on optical-fibre diameters, where principles are not uniformly established.

#### **4.4. Report on the progress of the ITS-90**

Dr. Preston-Thomas reported on the progress of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). A prototype scale was made last August and draft copies distributed. For the moment, the differences  $T_{90} - T_{68}$  are available in graphical form only. A substantially complete draft of the scale will be available by the end of 1988. The final document with the differences  $T_{90} - T_{68}$  in tabular form will be submitted

to the CIPM for approval and adoption during its next meeting following a CCT meeting due to take place in September 1989. Documents for the « Mise en pratique » and secondary temperature measurements will be available at the same time. He was confident that, despite the very large amount of work involved, the CCT will be able to keep to this timetable. A recommendation was prepared for adoption by the CIPM on the « Preparation of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) ». This recommendation will include a graph of the differences  $T_{90} - T_{68}$ .

Dr. Ambler agreed with one of the remarks of Dr. Preston-Thomas to the effect that the number of experts in thermometry was getting smaller and smaller and that this makes it imperative to finish the work on the new scale and the « Mise en pratique » rapidly. He said that the adoption of the new scale would be very important for the whole metrological community.

Dr. Blevin asked that the information now available on  $T_{90} - T_{68}$  be published as soon as possible. Dr. Preston-Thomas says that the graph will be published at the beginning of 1989 in *Metrologia* in the « News from the BIPM », with the accompanying recommendation, and will be sent to all of the national laboratories.

The President thanked Dr. Preston-Thomas for his report and asked for a vote on the recommendation. Recommendation 3 (CI-1988): Preparation of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) was adopted unanimously (see page 46).

#### 4.5. Future meetings of the Consultative Committees

The President reminded Presidents of Consultative Committees that it is necessary to fix dates for the next meetings of the Consultative Committees. The following dates were agreed :

CCE	June 1991
CCPR	September 1990
CCT	12-14 September 1989
CCDM	no date
CCDS	19-20 April 1989
CCEMRI	1991
CCU	no date
CCM	1991 or later.

As usual during the meeting that follows the meeting of the Conférence Générale, the CIPM reviewed the membership of the Comités Consultatifs. For the new lists, see page 22.

## 5. Work of the BIPM : Report of the Director

Dr. Quinn introduced the presentation of the work made by the physicists and metrologists of the BIPM.

As usual, the presentation began with the Length section. Mr. Chartier, head of the section, presented the new staff of the section, and reported on the new studies made and the international comparisons of lasers. The current work of the section covers two fields: line scales and end gauges, and stabilized lasers. Mr. Felder reported on the NRLM-BIPM comparison of He-Ne stabilized lasers, followed by Dr. Robertsson who presented his work on line-scale measurements and the techniques employed.

Mr. Girard, head of the Mass section, presented the staff of his section. The most important work at present under way is the preparation for the third international verification of prototype kilograms that started in June. Dr. Quinn reported on the progress of the BIPM flexure-strip balance and on the experiment on the fifth force, now concluded. He reported that no evidence had been found for the existence of a fifth force coupled to nuclear isospin. In so doing a quite unprecedented performance in the balance was achieved, a standard deviation of about 5 parts in  $10^{12}$  in comparing 2.3 kg masses. Mr. Sakuma reported on the preparation of the next international comparison of gravimeters, and on technical problems resulting from the work on the new building.

Prof. Guinot, head of the Time section, presented the work of his section in the field of atomic time: dissemination of time scales, research on time algorithms and international time comparisons. He stressed the importance of continuous cooperation with the national laboratories and with the relevant international unions. Dr. C. Thomas described her work on time scale algorithms aimed at improving the stability of TAI, and Dr. Lewandowski described the work on time comparisons and GPS receivers, including a new receiver made by Mr. Imae, a guest worker from the Communications Research Laboratory (Japan).

Dr. Reymann, of the Electricity section, presented the work on the representation of the volt at the BIPM as maintained since 1976 using the Josephson effect, and the search for systematic errors in the equipment. Mr. Delahaye reported on the progress made in the use of the quantum Hall effect to establish and maintain the ohm, and on cryogenic current comparators. Dr. Witt, head of the Electricity section, then described the work carried out by a Research Fellow, Mr. Satrapinsky, on quantum-Hall-effect measurements, and reported on the international comparison of one-ohm standard resistors. He also described his work that has resulted in a measurement of  $2e/h$  using a high-temperature superconductor.

Dr. Köhler, of the Radiometry section, presented the work carried out for the first time at the BIPM in the field of spectroradiometry. He described his initial experimental apparatus and the calibration of photodiodes.

Prof. Allisy, head of the Ionizing Radiation section, gave an analysis of the results of the comparisons performed in the field of  $^{60}\text{Co}$  gamma rays and X rays. Mrs Boutillon presented the results of Monte-Carlo calculations of corrections to measurements of absorbed dose in graphite by means of a calorimeter, and Dr. Huynh described the basic principle of the neutron-dosimetry comparison organized by the BIPM and the results obtained. Dr. Ratel presented the results of the international comparisons of activity measurements of  $^{109}\text{Cd}$  and  $^{125}\text{I}$  on which two BIPM reports will be published. Dr. Müller described a new method for eliminating the unavoidable and poorly-known effects of detector and electronics on the measured count rate by inserting a suitably chosen dead time of the generalized type. Mr. Bréonce gave some details on the electronics used for the implementation of this method.

In conclusion, Dr. Quinn pointed out that while it is difficult to present in detail the scientific work of the BIPM in such a short time, it is important to try to give a succinct overall view which will allow an assessment to be made by the CIPM of the quality of the work accomplished. The BIPM maintains reference standards; carries out international comparisons, calibration and research work; and must maintain a high level of expertise in many fields. In all of this, it is of the greatest importance that the BIPM be at, or near, the highest level of excellence.

The President thanked Dr. Quinn and the members of the BIPM for the presentation of the excellent work done.

In the afternoon, CIPM members visited the following BIPM laboratories:

— Lasers: the new installation for the determination of the quality of iodine cells; He-Ne lasers at  $\lambda = 543 \text{ nm}$ ,

— Electricity: Josephson-junction arrays; Josephson junctions using high-temperature superconductors,

— Masses: the flexure-strip suspension balance and the fifth-force experiment,

— Spectroradiometry: the new installation for the self-calibration of photodiodes,

— Radionuclides: results of the international comparison of  $^{125}\text{I}$ ; studies on the generalized dead time.

— Workshop: demonstration of the possibilities of the new numerically controlled machine,

No visit to the Dépôt des Prototypes took place this year since the International Prototype of the Kilogram was removed from the Caveau (*BIPM Proc.-verb. com. int. poids et mesures*, 55, 1987, p. 23) on June 3rd, 1988, for the third verification of national prototypes.

## 6. Administrative and financial questions

The President reminded members that under item 3 of the agenda the « Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1987 » and the particular problem of payment of contributions, had already been discussed. He then presented the report of the chartered accountant for 1987, in the presence of Mr. Gaillard, administrator of the BIPM. The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director and the Administrator of the BIPM.

The President then presented the interim report for the 1988 financial year and the draft budget for 1989.

Dr. Quinn, commenting on the budget for 1988, pointed out that the sum shown under the heading Budgetary receipts, Miscellaneous items, corresponds largely to the sale of two Pt-Ir kilogram standards. As far as capital investment is concerned, the increase of the expenses for the workshop results from the buying of the new milling machine. Capital expenditures on laboratory equipment have been unusually low during the last two years as funds were concentrated on the new building. They are expected to show a substantial increase next year. An increase in the miscellaneous and unforeseen expenses account is due to the replacement of the main telephone switchboard. In the budget for 1989, he announced that we shall have to provide for the replacement of the word-processing machine.

BUDGET FOR 1989

RECEIPTS

Budgetary receipts	
Contribution from member States .....	17 960 000
Transfer from account « Refunds to member States » ..	0
Interest on capital .....	1 220 000
Income from verifications .....	20 000
	<hr/>
Total .....	<u>19 200 000</u>

EXPENDITURE

A. Staff expenses :	
1. Salaries .....	8 300 000
2. Family allowances .....	1 446 000
3. Social Security .....	920 000
4. Accident insurance .....	92 000
5. Pension fund .....	1 400 000
	} 12 158 000
B. Running expenses :	
1. Furniture .....	100 000
2. Laboratories and workshops .....	1 300 000
3. Heating, water, electrical energy .....	450 000
4. Insurances .....	50 000
5. Printing and publications .....	240 000
6. Office expenses .....	340 000
7. Travel and transport of equipment ....	340 000
8. General maintenance .....	300 000
9. Bureau du Comité .....	60 000
	} 3 180 000
C. Capital investment :	
1. Laboratories .....	1 967 000
2. Mechanical workshops .....	85 000
3. Electronic workshop .....	10 000
4. Library .....	200 000
	} 2 262 000
D. Buildings (major works of maintenance and renovation) .....	1 400 000
E. Miscellaneous and unforeseen expenses .....	200 000
	<hr/>
Total .....	<u>19 200 000</u>

The draft budget for 1989 was adopted.

### **Nomination of two principal physicists (« adjoints »)**

Dr. Quinn proposes to nominate two new principal physicists (« adjoints ») : Dr. D. Reymann who is essentially in charge of the Josephson-effect measurements and Mrs. M. Boutillon, who has been recently engaged part-time for the Dosimetry group of the Ionizing Radiation section after having worked in that section as a guest worker for many years.

Following a secret ballot, these two physicists are promoted to the grade of principal physicist from 1st January 1989.

### **7. Nouveau Pavillon**

The Nouveau Pavillon was inaugurated on October 5th, 1988 at 5 p.m. by Prof. Kind, President of the CIPM. In his inaugural speech he said how pleased the CIPM was with the building of the Nouveau Pavillon, which will greatly improve the working facilities of the BIPM. The CIPM had agreed to the project in October 1986 and, thanks to the excellent cooperation received from the French authorities, work was begun in the spring of 1987. The working area of the building is about 900 m<sup>2</sup>. It will provide offices for the director, the secretariat, a library and offices for the scientific staff. This is the second new building in recent years, the laser building having been inaugurated in 1984. Both of these new buildings were constructed in the style traditional to the BIPM site.

Since this inauguration coincided with the retirement of Dr. Giacomo, former Director of the BIPM, a special ceremony was held in his honour. The President briefly reviewed the career of Dr. Giacomo and then gave way to Prof. Siegbahn, whose scientific lecture in honour of Dr. Giacomo was entitled « From X-ray to electron spectroscopy ».

At the conclusion of this lecture Dr. Giacomo thanked the President of the CIPM and Dr. Siegbahn for the honour they had done him, and the countries and his colleagues from the BIPM for the confidence they had placed in him during his years of Directorship.

Dr. Quinn then spoke of the Commission Internationale du Mètre, which preceded the establishment of the BIPM, and described the extremely attractive and valuable objets d'art (Sèvres vases) that were presented by the French Government to the individual members of this commission on the occasion of its last meeting in October 1872, as an expression of France's gratitude for the important work they had done. Mr. Savreux, great-grandson of E. Peligot, one of the original recipients, then made the formal presentation to the BIPM of E. Peligot's vase. He pointed out that this vase was one of only two objects that survived the otherwise total destruction of his house by a British bomb in

1942, and hoped that the first British Director of the BIPM would, like his compatriot some forty five years ago, manage not to damage this beautiful piece of work. Dr. Quinn replied suitably, and handed to Mr. Savreux a letter from Prof. Kind expressing the CIPM's appreciation of this extremely generous gift.

The meeting then adjourned to the Director's apartment where the traditional reception by the President of the CIPM and the Director of the BIPM took place.

## 8. Miscellaneous subjects

### 8.1. Use of English

Dr. Quinn suggested that in order to ensure a reasonably wide diffusion of knowledge of the BIPM's work, it is necessary to extend a little further the use of English in BIPM publications. He proposed that: Resolutions and Recommendations of Consultative Committees, the CIPM and the CGPM will continue to be prepared in both French and English; CGPM working documents and the Comptes Rendus of the CGPM will be published in full parallel French and English versions, as was requested during the 18th CGPM meeting; the SI brochure and the BIPM brochure are already bilingual and will remain so; the Procès-verbaux of the CIPM (Report of the Meeting and Director's Report) will be published with French and English versions in parallel; CIPM working documents will be prepared in French and English if they are destined for publication, otherwise in their original language only. The reports of the Consultative Committees are already published in full parallel French and English versions, but any working documents that are published will be in the original version only; working documents in their original form will be bound in volumes for distribution to members of the Consultative Committees, and considered as appendices to the published report. The annual report of the Time section, mainly in a tabular form, will be published in English as has traditionally been the practice, with the addition of a French summary; monthly TAI/UTC circulars from the BIPM will continue to be in English, but the annual explanatory notes will be in French and English. The question of a bilingual Annual Report to Governments and Notification of contributions will be considered in 1989. Dr. Quinn also proposed to reduce substantially the length of the Director's Report from its present length of some 70 printed pages to less than half of this. It was agreed that it had become too detailed and while it was too long for a simple summary of the work it still was not long enough to constitute a full scientific account of the work. He proposed that the shortened version be published in English as well as in French.



All the proposals made by Dr. Quinn regarding the use of English and French in the various BIPM publications were adopted by the CIPM.

### **8.2. Conservation of the International Prototype of the Kilogram**

Dr. Quinn informed the members of the CIPM of the very poor conditions under which the kilogram prototype has been kept; the situation has become serious. We have discovered the presence of a greasy material (algae) on the glass covers, the metal parts of the bases were corroded and there is water infiltration in the Caveau. It has now become urgent to find a solution. He asked authority for the bureau of the CIPM and the Director to put it in some other place. It is also necessary to ask the Conservator of the Archives de France to allow the BIPM to keep the keys for a longer period. This was agreed to.

### **8.3. Date of the next CIPM meeting**

The CIPM decided that the next CIPM meeting will be held from September 26th to 28th, 1989.

The President of the CIPM closed the 77th session of the CIPM.

**Recommendations  
adopted  
by the Comité International des Poids et Mesures \***

Representation of the volt by means of the Josephson effect

RECOMMENDATION 1 (CI-1988)

The Comité International des Poids et Mesures

*acting* in accordance with instructions given in Resolution 6 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures concerning the forthcoming adjustment of the representations of the volt and the ohm,

*considering*

— that a detailed study of the results of the most recent determinations leads to a value of 483 597.9 GHz/V for the Josephson constant,  $K_J$ , that is to say, for the quotient of frequency divided by the potential difference corresponding to the  $n = 1$  step in the Josephson effect,

— that the Josephson effect together with this value of  $K_J$  can be used to establish a reference standard of electromotive force having a one-standard-deviation uncertainty with respect to the volt estimated to be 4 parts in  $10^7$ , and a reproducibility which is significantly better,

*recommends*

— that 483 597.9 GHz/V exactly be adopted as a conventional value, denoted by  $K_{J,90}$ , for the Josephson constant,  $K_J$ ,

— that this new value be used from 1st January 1990, and not before, to replace the values currently in use,

— that this new value be used from this same date by all laboratories which base their measurements of electromotive force on the Josephson effect, and

— that from this same date all other laboratories adjust the value of their laboratory reference standards to agree with the new adopted value,

*is of the opinion*

— that no change in this recommended value of the Josephson constant will be necessary in the foreseeable future, and

*draws the attention* of laboratories to the fact that the new value is greater by 3.9 GHz/V, or about 8 parts in  $10^6$ , than the value given in 1972 by the Comité Consultatif d'Électricité in its Declaration E-72.

---

\* Please note that the official version of these Recommendations is the French one.

## Representation of the ohm by means of the quantum Hall effect

### RECOMMENDATION 2 (CI-1988)

The Comité International des Poids et Mesures,

*acting* in accordance with instructions given in Resolution 6 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures concerning the forthcoming adjustment of the representations of the volt and the ohm,

*considering*

— that most existing laboratory reference standards of resistance change significantly with time,

— that a laboratory reference standard of resistance based on the quantum Hall effect would be stable and reproducible,

— that a detailed study of the results of the most recent determinations leads to a value of  $25\,812.807\ \Omega$  for the von Klitzing constant,  $R_K$ , that is to say, for the quotient of the Hall potential difference divided by current corresponding to the plateau  $i = 1$  in the quantum Hall effect,

— that the quantum Hall effect, together with this value of  $R_K$ , can be used to establish a reference standard of resistance having a one-standard-deviation uncertainty with respect to the ohm estimated to be 2 parts in  $10^7$ , and a reproducibility which is significantly better,

*recommends*

— that  $25\,812.807\ \Omega$  exactly be adopted as a conventional value, denoted by  $R_{K-90}$ , for the von Klitzing constant  $R_K$ ,

— that this value be used from 1st January 1990, and not before, by all laboratories which base their measurements of resistance on the quantum Hall effect,

— that from this same date all other laboratories adjust the value of their laboratory reference standards to agree with  $R_{K-90}$ ,

— that in the use of the quantum Hall effect to establish a laboratory reference standard of resistance, laboratories follow the most recent edition of the technical guidelines for reliable measurements of the quantized Hall resistance drawn up by the Comité Consultatif d'Électricité and published by the Bureau International des Poids et Mesures,

*and is of the opinion*

— that no change in this recommended value of the von Klitzing constant will be necessary in the foreseeable future.

Preparation of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)

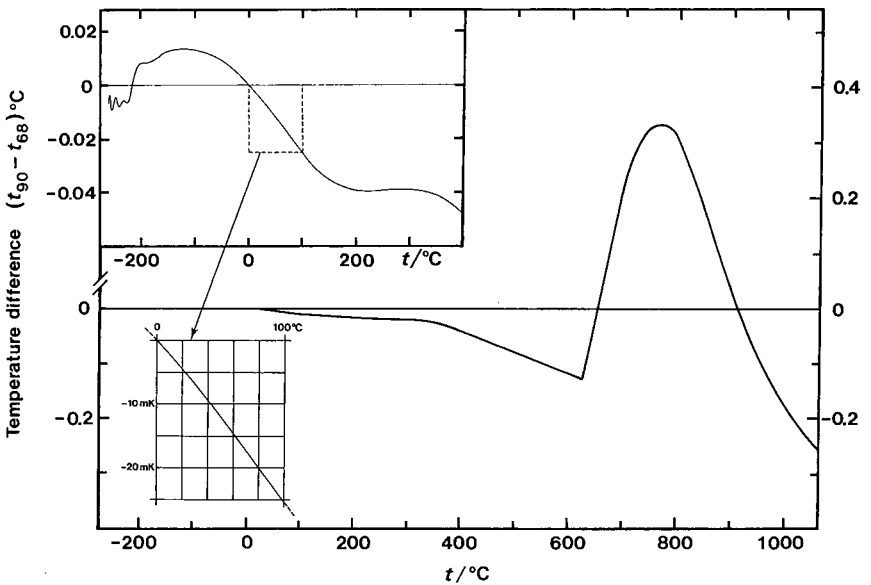
RECOMMENDATION 3 (CI-1988)

The Comité International des Poids et Mesures

*acting* in accordance with instructions given in Resolution 7 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures concerning the preparation of the new international temperature scale,

*announces* that the differences between the ITS-90 and the IPTS-68 will be approximately those indicated in the graph attached to this Recommendation,

*recommends* that national laboratories take note of these differences with a view to the implementation of the ITS-90 on 1st January 1990.



RAPPORT DU DIRECTEUR  
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION  
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(octobre 1987 — septembre 1988)

---

I. — PERSONNEL

*Nominations*

V. D. HUYNH, physicien principal, a été nommé physicien chercheur principal.

F. DELAHAYE, physicien, a été nommé adjoint avec le grade de physicien principal.

P. BRÉONCE, métrologue, a été nommé adjoint avec le grade de métrologue principal.

H. KONATÉ, technicienne, a été nommée technicienne principale.

Ces nominations ont pris effet le 1<sup>er</sup> janvier 1988 ; les nominations des deux nouveaux adjoints résultent du vote du CIPM à sa session d'octobre 1987.

Conformément aux décisions prises par le Comité international lors de sa session d'octobre 1986, T. J. QUINN, directeur désigné, a pris les fonctions de directeur le 1<sup>er</sup> août 1988.

*Titularisation*

C. ANGOT, contractuel depuis le 1<sup>er</sup> novembre 1986 en tant que jardinier, a été titularisé le 1<sup>er</sup> janvier 1988 dans le même emploi avec le grade d'agent d'entretien.

*Engagements*

Rainer KÖHLER, né le 10 février 1956 à Offenbach (Rép. Féd. d'Allemagne), précédemment ingénieur dans une société privée, à Eindhoven (Pays-Bas), a été engagé comme physicien pour la section de radiométrie, à compter du 1<sup>er</sup> novembre 1987.

Jean-Bernard CAUCHETEUX, né le 6 janvier 1945 à Rollet (Somme), précédemment technicien d'atelier à l'ONERA\*, a été engagé comme mécanicien principal, à compter du 9 novembre 1987.

---

\* Voir pp. V-VIII la signification des sigles utilisés dans ce rapport.

José SANJAIME, né le 25 décembre 1950 à Pont de Suert (Espagne), précédemment moniteur de mécanique au Centre de formation pour adultes de Meudon-la-Forêt, a été engagé comme chef d'atelier, avec le grade de technicien principal, à compter du 1<sup>er</sup> décembre 1987.

Mireille BOUTILLON, née le 28 août 1938 à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), précédemment chargée de recherche à l'INSERM et stagiaire à mi-temps au BIPM, a été engagée à titre permanent comme physicienne (à mi-temps) pour la section des rayons X et  $\gamma$ , à compter du 1<sup>er</sup> février 1988.

Lennart ROBERTSSON, né le 3 octobre 1953 à Vänersborg (Suède), précédemment physicien à l'Institut de recherche optique de Stockholm (Suède), a été engagé comme physicien pour la section des lasers, à compter du 15 février 1988.

Alain PICARD, né le 26 décembre 1953 à Rouen (Seine-Maritime), précédemment technicien supérieur à l'INM, a été engagé comme métrologue pour la section des masses, à compter du 1<sup>er</sup> septembre 1988.

#### *Chercheurs associés*

Susanne PICARD, née le 23 novembre 1959 à Stockholm (Suède), précédemment étudiante de thèse au Laboratoire de photophysique moléculaire, à Orsay, a été engagée en tant que chercheur associé au grade de physicien pour la section des lasers, à compter du 1<sup>er</sup> novembre 1987.

L'engagement de A. Satrapinsky a été prolongé jusqu'au 31 décembre 1988.

#### *Départs*

C. GILBERT, mécanicien principal, a pris sa retraite le 31 octobre 1987, après vingt-cinq ans et demi de services dévoués et efficaces, remplis avec une imperturbable bonhomie.

G. BOUTIN, chef d'atelier, a pris sa retraite le 31 décembre 1987, après vingt-deux ans et demi d'activité irréprochable au sein de l'atelier de mécanique dont il était le responsable depuis 1986.

J. HAMON, adjoint, a pris sa retraite le 31 mars 1988, après avoir consacré durant cinquante ans sa compétence, sa rigueur et son ingéniosité à la section des longueurs dont il était devenu le responsable.

P. GIACOMO a pris sa retraite en tant que directeur, le 31 juillet 1988, après vingt-deux ans de service au BIPM, dont dix ans de direction qui ont été marqués par d'importants développements aussi bien dans les activités scientifiques et sociales que dans le patrimoine immobilier du BIPM.

## II. — BÂTIMENTS

### *Observatoire*

Début des travaux de réfection de la toiture.

### *Nouveau Pavillon*

Achèvement des travaux et début de l'emménagement.

### *Dépendances*

Poursuite du remplacement des arbres d'alignement dans l'allée du Mail et dans l'allée des neutrons.

Édification et mise en service des nouveaux garages.

Réfection de l'appartement du directeur (tapisseries murales, moquettes et parquets) et création d'un escalier vers le sous-sol dans le prolongement de l'escalier principal et en remplacement de l'escalier existant, dangereux et peu pratique.

## III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

### **Remarques générales**

La mise en service du Nouveau Pavillon devrait apporter dès la fin de 1988 une amélioration sensible dans la vie du laboratoire. La bibliothèque et les nouveaux bureaux permettront de libérer les espaces périphériques où l'on a peu à peu repoussé le stockage des instruments, livres et publications, au fur et à mesure de l'extension des laboratoires dans tous les espaces utilisables. Ils permettront aussi de fournir un bureau décent à tous les physiciens, métrologistes ou techniciens, ainsi qu'aux chercheurs associés et stagiaires de longue durée.

Le BIPM entre maintenant dans une phase de renouvellement accéléré de son personnel. Avec quatre départs en 1987 et quatre en 1988, le taux de renouvellement est nettement supérieur à ce qu'il était depuis de nombreuses années.

Si l'on peut se réjouir du recrutement de jeunes physiciens, le départ en moins de deux ans de P. Carré, M. Gläser, J. Hamon et P. Giacomo pose quelques problèmes pour assurer un minimum de continuité dans le domaine de l'interférométrie et des mesures de longueur.

Cela se trouve accentué par l'accroissement régulier des demandes des États dans le domaine particulier des lasers. Il s'agit d'une part de demandes de comparaisons et d'autre part de demandes d'assistance technique. Les multiples laboratoires qui commencent à s'équiper de

lasers asservis comme étalons de longueur d'onde comptent sur nous pour les aider dans cette mise en pratique de la définition du mètre. Il est donc d'une importance majeure pour le BIPM de savoir mettre en œuvre de tels lasers et, faute de pouvoir mesurer leur fréquence, de s'assurer qu'elle est reproductible à long terme.

Il sera certainement nécessaire à brève échéance d'encourager les laboratoires nationaux à multiplier les mesures de la fréquence de ces lasers car elle constitue dès maintenant la seule référence vraiment reproductible permettant de vérifier leur stabilité à long terme.

Conformément aux décisions prises par le CIPM au sujet de l'orientation des travaux du BIPM, la thermométrie et la manométrie n'occupent plus qu'une place minimale dans nos activités. Pour la gravimétrie, la situation est un peu différente car la seule conservation du point de référence « Sèvres, point A » demande une surveillance permanente. En raison des travaux de construction récents, le micro-réseau gravimétrique qui entoure ce point de référence a subi des perturbations dont il convient de contrôler l'ampleur avant la troisième comparaison internationale de gravimètres absolus.

Quelques résultats obtenus cette année ouvrent des perspectives d'avenir.

La balance à suspensions flexibles a fourni ses premiers résultats, non pas dans des comparaisons d'étalons de masse, mais dans une expérience dont le but était de mettre en évidence l'existence ou l'absence d'une « cinquième force ». Le résultat le plus important pour nous est que l'absence de cette cinquième force a été démontrée avec une incertitude qui correspond, dans la comparaison par substitution de deux masses de 2 kg, à une incertitude relative sur les masses de l'ordre de  $10^{-11}$ . Cela démontre l'efficacité des suspensions flexibles mais aussi celle de l'asservissement du fléau à position invariable, même pendant l'échange des masses. Accessoirement on a constaté que les principales perturbations à ce niveau de précision proviennent des défauts d'uniformité de la température.

La comparaison restreinte d'étalons de résistance de  $1 \Omega$ , qui avait principalement pour but de vérifier l'accord entre les mesures de la résistance de Hall quantifiée réalisées par les différents laboratoires en fonction de leur représentation de l'ohm, a réuni au BIPM 37 étalons provenant de 12 laboratoires. Les différences entre les représentations de l'ohm des laboratoires et celle du BIPM ont été évaluées avec une incertitude (écart-type) de l'ordre de  $0,03 \mu\Omega$ . Les mesures de résistance de Hall sont en accord à  $4 \times 10^{-8}$  près pour quatre des laboratoires participants, mais on a aussi observé des écarts environ dix fois plus grands entre les mesures de certains autres laboratoires.

Les matériaux supraconducteurs « à haute température », de l'ordre de 80 K, pourraient rendre l'utilisation des jonctions de Josephson ou des SQUID beaucoup plus facile. Les premières études faites à l'aide de ces matériaux sont très encourageantes.



Pour des liaisons à moyenne distance, de l'ordre de 2 000 km, on a démontré que l'utilisation du « Global Positioning System » (GPS) pour les liaisons horaires permet aussi de préciser les positions géographiques relatives des horloges et, par suite, d'abaisser l'incertitude des comparaisons d'horloges correspondantes à 1 ou 2 ns.

En vue de la comparaison des mesures d'activité de solutions contenant de l'iode-125, le BIPM s'est préparé à utiliser deux méthodes d'exploitation des spectres d'énergie des photons émis par ce radionucléide. L'automatisation des mesures et du traitement des données facilitera la mise en œuvre de ces deux méthodes concurrentes.

L'utilisation d'un « temps mort généralisé », qui a une certaine probabilité d'être étendu ou non étendu, conduit à revoir les formules classiques qui permettent de tenir compte de la décroissance de la source, de la distorsion de la distribution de Poisson ou de la présence de deux temps morts en série. L'effort permanent consacré à ce type de problèmes permet petit à petit de décrire plus correctement les phénomènes.

Deux distinctions ont été attribuées à des membres du personnel du BIPM : P. Giacomo a été élu membre du Bureau des longitudes (Paris) et B. Guinot a reçu le Prix du Rayonnement français pour les sciences physiques et mathématiques.

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

## 1. Longueurs (J.-M. Chartier)

L'augmentation très sensible du personnel de la section nous a permis cette année de reprendre certains projets restés en attente et d'amorcer quelques nouvelles études.

De plus, cette année a aussi été marquée par le désir de certains laboratoires nationaux de posséder des lasers asservis émettant quelques-unes des radiations recommandées <sup>(1.1)</sup>. Généralement, le premier laser asservi dont s'équipent les laboratoires est le laser à He-Ne asservi sur l'absorption saturée de l'iode 127 à  $\lambda = 633$  nm. Jusqu'ici, le choix des laboratoires s'est porté, soit sur l'achat de lasers asservis commerciaux, notamment ceux construits par Jaeger-Thomson (France), copies assez fidèles des lasers du BIPM, soit sur la construction de leurs propres lasers, en s'inspirant très largement de nos réalisations. Dans les deux cas, il nous est généralement demandé d'assurer le remplissage et le contrôle des cuves d'absorption d'iode. Depuis une quinzaine d'années,

---

<sup>(1.1)</sup> Recommandation 1 (CI-1983), *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 51, 1983, pp. 25-28.

nous avons rempli environ quatre-vingts cuves à iode dont plus de la moitié sont disséminées dans le monde. Concernant le tube à décharge à He-Ne, les laboratoires choisissent aussi le type étudié par le BIPM en 1980, qui est commercialisé par la firme NEC (Japon). Chaque année, une commande de vingt à vingt-cinq tubes, représentant les besoins des laboratoires, est organisée par le BIPM.

Grâce à l'intervention du Dr. Y. Akimoto (NRLM) auprès du Dr Y. Naoi, président de la Société Echo Electronics (Japon), nous allons pouvoir acheter deux asservissements de laser de très bonne qualité à un prix très raisonnable. Ils seront destinés aux nouveaux lasers à (He-Ne)/CH<sub>4</sub> actuellement en construction. Toujours sur l'intervention du Dr. Akimoto et grâce à la compréhension du Dr Naoi, la Société Echo Electronics nous a fait don d'un asservissement pour le laser esclave de notre installation de mesures à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ .

D'autre part, les physiciens de l'Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques (IMPR), Moscou, nous ont fait don d'un nouveau tube à He-Ne, destiné à l'un de nos lasers de référence à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ , en remplacement de celui qu'ils nous avaient donné en 1985 (Rapport 1985, p. 63) et qui était devenu récemment inutilisable par suite de l'évolution du mélange gazeux.

Ces acquisitions constituent pour le BIPM une économie importante et un gain de temps considérable qui vont grandement faciliter le bon déroulement des travaux de la section des lasers.

## 1.1. Longueurs (J. Hamon)

### 1.1.1. Règles divisées

Règle n° 46 de 1 m en acier à 44 % de nickel (Roumanie) : 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.

Règle n° 0114-77 de 1 m en acier au nickel (Hongrie) : longueur de l'intervalle principal ; étalonnage des traits décimétriques et des traits millimétriques du premier et du dernier centimètre.

### 1.1.2. Étalons à bouts plans

Dans le comparateur photoélectrique : mesure de huit calibres de 300 à 1 000 mm pour la Roumanie.

## 1.2. Lasers

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

#### i) Comparaisons de lasers du BIPM

##### a) Entre les lasers BIPM2 et BIPM3

Avant les comparaisons internationales prévues cette année, nous avons procédé au nettoyage et au réalignement de ces deux lasers de référence du BIPM et nous les avons comparés : avant ces deux opérations (1), après nettoyage du laser BIPM2 (2) et après nettoyage des deux lasers (3) ; on a obtenu :

$$\begin{aligned} (1) \quad f(\text{BIPM2}) - f(\text{BIPM3}) &= - 3,4 \text{ kHz}, & s &= 3 \text{ kHz}; \\ (2) \quad f(\text{BIPM2}) - f(\text{BIPM3}) &= - 8,0 \text{ kHz}, & s &= 1,3 \text{ kHz}; \\ (3) \quad f(\text{BIPM2}) - f(\text{BIPM3}) &= - 3,2 \text{ kHz}, & s &= 1,7 \text{ kHz}; \end{aligned}$$

(pour  $n = 6$  mesures).

b) Entre le laser BIPM2 et le laser ( $\text{BI}_g$ ) utilisé sur le gravimètre Jaeger BIPM.

L'électronique d'asservissement du laser  $\text{BI}_g$  a été contrôlée à la demande de A. Sakuma ; on a obtenu respectivement avant et après vérification :

$$\begin{aligned} f(\text{BI}_g) - f(\text{BIPM2}) &= - 5,1 \text{ kHz}, & s &= 1,9 \text{ kHz}; \\ f(\text{BI}_g) - f(\text{BIPM2}) &= + 2,7 \text{ kHz}, & s &= 2,1 \text{ kHz}; \end{aligned}$$

(pour  $n = 6$  mesures).

#### ii) Comparaisons internationales

##### a) Entre l'OMH et le BIPM

Le Gouvernement hongrois a acquis un laser BIPM-Jaeger-Thomson. Ce laser a été mis au point au BIPM et comparé à notre laser de référence BIPM2 en octobre 1987 ; on a obtenu :

$$f(\text{OMH1}) - f(\text{BIPM2}) = - 24,9 \text{ kHz}, \quad s = 1,5 \text{ kHz}.$$

Les instabilités de fréquence, caractérisées par l'écart-type d'Allan relatif, étaient pour les deux lasers et pour un temps d'échantillonnage  $\tau = 1 \text{ s}$  de  $9,2 \times 10^{-12}$  et pour  $\tau = 1400 \text{ s}$  de  $2,6 \times 10^{-13}$ .

b) Entre les laboratoires français INM (Paris) et ETCA (Arcueil) et le BIPM

Ces comparaisons ont eu lieu au BIPM du 11 au 15 avril 1988. Ces deux laboratoires avaient apporté chacun un laser, INM9 et ETCA-R1 ; pour sa part le BIPM avait les deux lasers BIPM2 et BIPM3. Nous avons d'abord effectué une détermination préliminaire sur chacun

des deux lasers français, sans aucune modification de leurs réglages ; on a obtenu :

$$\begin{aligned} \text{et} \quad & f(\text{INM9}) - f(\text{BIPM2}) = - 3,7 \text{ kHz}, & s = 0,8 \text{ kHz} \\ & f(\text{ETCA-R1}) - f(\text{BIPM2}) = + 42,0 \text{ kHz}, & s = 0,6 \text{ kHz} \\ & & \text{pour } n = 6 \text{ mesures.} \end{aligned}$$

Après réglages, nous avons obtenu sur cinq déterminations :

$$\begin{aligned} f(\text{INM9}) - f(\text{BIPM2}) &= - 20,3 \text{ kHz}, & s &= 1,0 \text{ kHz}; \\ f(\text{INM9}) - f(\text{BIPM3}) &= - 18,7 \text{ kHz}, & s &= 1,5 \text{ kHz}; \\ f(\text{ETCA-R1}) - f(\text{BIPM2}) &= + 20,5 \text{ kHz}, & s &= 1,4 \text{ kHz}; \\ f(\text{ETCA-R1}) - f(\text{BIPM3}) &= + 21,9 \text{ kHz}, & s &= 1,5 \text{ kHz.} \end{aligned}$$

Parallèlement, entre les deux lasers du BIPM et pour cinq déterminations, nous avons obtenu :

$$f(\text{BIPM2}) - f(\text{BIPM3}) = + 1,4 \text{ kHz}, \quad s = 0,8 \text{ kHz.}$$

On constate que l'ensemble de ces mesures se referme à mieux que 0,5 kHz, soit  $\approx 1 \times 10^{-12}$  en valeur relative. Cette comparaison fera l'objet d'une publication.

c) Entre le NRLM (Japon) et le BIPM

Cette comparaison s'est déroulée du 6 au 27 juin 1988, à l'occasion de la CPEM 88 à Tsukuba (Japon).

Chaque laboratoire disposait de deux lasers : NRLM1 et NRLM2-3 d'une part, BIPM4 et BIPM10 d'autre part ; cela a permis à chaque laboratoire de vérifier séparément le fonctionnement de ses lasers. On a ensuite décidé de n'utiliser que les lasers NRLM1 et BIPM4 pour la comparaison proprement dite ; on a obtenu :

$$f(\text{NRLM1}) - f(\text{BIPM4}) = + 0,9 \text{ kHz}, \quad s = 2,6 \text{ kHz}, \\ \text{pour } n = 14 \text{ mesures.}$$

Des mesures effectuées au BIPM, avant et après cette comparaison, entre les lasers BIPM2 (laser de référence) et BIPM4, on en déduit :

$$f(\text{NRLM1}) - f(\text{BIPM2}) = + 2,0 \text{ kHz.}$$

d) Entre le CSMU (Bratislava et Prague, Tchécoslovaquie), le CSAV (Brno, Tchécoslovaquie), l'ASMW (Rép. Dém. Allemande), l'IMM (URSS), l'OMH (Hongrie) et le BIPM

Cette comparaison a eu lieu à Bratislava (Tchécoslovaquie) du 29 août au 6 septembre 1988 ; c'était la première fois que sept laboratoires étaient réunis simultanément pour ce type de comparaison. On a décidé de former deux groupes de manière à réduire le nombre de mesures. Le BIPM était représenté dans chaque groupe par les lasers BIPM4 et BIPM10.

Les résultats préliminaires, donnés ci-dessous, sont aussi rattachés au laser de référence BIPM2. Ils ont été présentés à la conférence INSYMET 88 :

$f(\text{CSMU, Brat.})$	$-f(\text{BIPM2}) = - 5,5 \text{ kHz}$	$s = 5,1 \text{ kHz}$	$n = 10$	;
$f(\text{CSMU, Prague})$	$-f(\text{BIPM2}) = - 1,5$	$s = 2,6$	$n = 11$	;
$f(\text{CSAV, Brno})$	$-f(\text{BIPM2}) = - 6,7$	$\Delta f = \pm 4$	$n = 2$	;
$f(\text{ASMW})$	$-f(\text{BIPM2}) = + 8,8$	$s = 0,9$	$n = 14$	;
$f(\text{IMM})$	$-f(\text{BIPM2}) = + 16,2$	$s = 3,8$	$n = 5$	;
$f(\text{OMH})$	$-f(\text{BIPM2}) = - 16,6$	$s = 3,3$	$n = 7$	;

Lors des deux comparaisons effectuées au Japon et en Tchécoslovaquie, les coefficients de variation de fréquence en fonction de l'amplitude de modulation, de la pression d'iode et de la puissance ont été aussi déterminés pour tous les lasers participant aux mesures. Ces deux comparaisons feront l'objet de deux publications.

### iii) Remplissages et vérifications de cuves à iode

Cette année, nous avons rempli et vérifié quinze cuves à iode ; la qualité de nos cuves est maintenant régulière ; il est rare en effet de relever des écarts de fréquence supérieurs à 15 kHz ( $\approx 3 \times 10^{-11}$  en valeur relative). Cette régularité dans la qualité est essentiellement due au nettoyage des cuves que nous effectuons avant leur remplissage et au faible écart de température ( $\approx 30 \text{ K}$ ) entre la réserve d'iode bidistillée et le point froid de la cuve en cours de remplissage. Sur ces quinze cuves, sept sont utilisées au GSI (Japon), OMH (Hongrie), CSMU (Tchécoslovaquie), BFMMMP (Yougoslavie), ETCA (France).

### 1.2.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 612 \text{ nm}$ (L. Robertsson)

Les deux lasers BIOR1 et BIOR2 ont été démontés, nettoyés et réalignés.

Jusqu'ici nous utilisons pour ces deux lasers les électroniques d'asservissement des lasers asservis sur le méthane ; afin de disposer d'ensembles complets, nous avons entrepris la construction de deux nouveaux asservissements.

### 1.2.3. Lasers à argon

i) *Lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à  $\lambda = 515 \text{ nm}$*  (L. Robertsson)

Le BIPM dispose depuis 1979 d'un laser de ce type construit à la PTB ; sa longueur d'onde avait été déterminée au BIPM à cette époque et depuis lors, faute de personnel, il n'avait guère été utilisé.

Depuis quelques mois, le renforcement de la section en personnel nous a permis de remettre ce laser en état de fonctionnement, en lui apportant quelques améliorations mécaniques. Nous pouvons maintenant envisager la construction d'un autre laser de même type, ce qui nous permettrait de disposer de deux lasers de référence à cette longueur d'onde recommandée et par conséquent d'effectuer des comparaisons internationales.

ii) *Étude de cuves à iode* (S. Picard)

Le seul moyen dont nous disposons pour étudier la qualité des cuves à iode est la comparaison directe de la fréquence d'un laser asservi contenant soit la cuve à étudier, soit une cuve de référence dont la qualité a déjà été contrôlée lors des comparaisons internationales de lasers. Étant donné l'influence de la qualité des cuves sur la qualité finale des lasers, il était nécessaire de disposer d'autres moyens de contrôle. Depuis quelques mois, nous développons deux méthodes de contrôle qui sont fondées sur l'étude de la fluorescence de l'iode ; ces deux méthodes consistent :

a) à déterminer le coefficient de la fonction linéaire qui relie l'inverse de l'intensité de la fluorescence de l'iode de la cuve à l'inverse de sa pression. Ce coefficient varie avec la concentration des impuretés contenues dans la cuve ;

b) à déterminer la variation de la polarisation de la fluorescence de l'iode en fonction d'un champ magnétique extérieur ; ce phénomène est appelé effet Hanle.

À l'aide de cette variation, on peut déterminer la durée de vie d'un niveau de rotation-vibration. Cette durée de vie est fonction de la concentration de gaz étrangers présents dans la cuve.

**1.2.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$**  (R. Felder)

i) *Lasers asservis en cuve interne*

a) *Généralités*

L'installation permettant de comparer, par battement, d'une part nos lasers de référence entre eux (BICH4.3, BICH4.6 et OPTIMAL) et d'autre part BICH4.3 à tout laser venant d'un laboratoire extérieur (Rapport 1985, pp. 56-61), a été équipée d'un ordinateur Hewlett-Packard 9000 série 300 et de ses périphériques. Des programmes informatiques qui permettent d'enregistrer et de traiter les données des trois fréquences de l'installation ont été mis au point.

b) *Comparaison avec le NRLM (Japon)*

Une comparaison entre les lasers du NRLM et celui du BIPM (BICH4.3) a eu lieu au NRLM, à Tsukuba, du 6 au 27 juin 1988, à

l'occasion de la CPEM 88. Le dépouillement des mesures est en cours et un rapport détaillé sur cette comparaison sera publié ultérieurement. On peut cependant déjà donner quelques résultats provisoires intéressants.

Les différences moyennes entre les lasers étudiés sont les suivantes :

$$f_t(\text{BICH4.3}) - f_t(\text{NRLM1}) = 4,772 \text{ kHz}, \quad s = 383 \text{ Hz}, \quad n = 9$$

$$f_t(\text{BICH4.3}) - f_t(\text{NRLM2}) = 7,874 \text{ kHz}, \quad s = 134 \text{ Hz}, \quad n = 7.$$

Les résultats ont été obtenus en utilisant le procédé suivant : on enregistre la fréquence moyenne de battement entre le laser esclave et le laser de référence pendant 10 s, puis celle entre ce même laser esclave et le laser en cours d'étude pendant la même durée. La différence entre deux enregistrements consécutifs constitue une observation qui fournit la différence de fréquence moyenne entre le laser de référence et le laser en cours d'étude. Chaque mesure résulte de la moyenne de dix observations consécutives. La grandeur  $s$  donnée ci-dessus est l'écart-type d'une telle mesure déterminé d'après la dispersion de  $n$  mesures.

Dans ce paragraphe, les indices  $c$  et  $t$  signifient que le photo-détecteur d'asservissement est placé devant les sorties du résonateur côté cuve ( $f_c$ ) ou côté tube ( $f_t$ ).

L'effet de sortie qu'on observe sur les lasers du BIPM (Rapport 1985, pp. 56-61) a également été mis en évidence sur les lasers du NRLM. En effet, on a obtenu :

$$f_t(\text{NRLM1}) - f_c(\text{NRLM1}) = (7,38 \pm 0,53) \text{ kHz}$$

$$f_t(\text{NRLM2}) - f_c(\text{NRLM2}) = (4,38 \pm 0,62) \text{ kHz}.$$

Les effets de modulation et de puissance ont aussi été étudiés.

## ii) Lasers asservis en cuve externe

Le projet de construction et de mise au point d'un nouvel étalon que nous avons décrit dans le rapport précédent (Rapport 1987, p. 35) a été partiellement réalisé. Rappelons qu'il s'agit d'asservir un laser à He-Ne sur la raie d'absorption saturée du méthane, le milieu absorbant étant placé dans un résonateur optique extérieur à la cavité laser.

L'enceinte à ultra-vide fabriquée par la Société Meca 2000 (Vernouillet, France) et le système complet de vide ont été installés. Le résonateur, réalisé par l'atelier de mécanique du BIPM, a été installé dans cette enceinte. L'atelier de mécanique du BIPM a également construit des systèmes de fixation miroir-céramique piézo-électrique qui permettent d'éviter l'emploi de colles.

Quelques difficultés sont cependant apparues ; nous avons dû notamment faire refaire les couches réfléchissantes des miroirs du résonateur. La suite des travaux est liée à la réception des céramiques piézo-électriques.

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

En collaboration avec la Société Dumas (Noizay, France), nous avons continué l'étude de tubes à décharge dont la géométrie soit adaptée au mieux au système (He-Ne)/CH<sub>4</sub>.

L'utilisation de nouveaux « getters » et l'amélioration des techniques de conditionnement des verreries ont contribué à l'obtention de résultats très encourageants.

La collaboration avec les Sociétés Le Verre Fluoré (Vern-sur-Seiche, France) et Quantel (Les Ulis, France) ont permis d'une part, de trouver des verres de bonne homogénéité d'indice et totalement transparents à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$  et d'autre part, de parvenir à la maîtrise des techniques de brasage verre fluoré-métal.

Ces étapes décisives nous ont conduits à faire construire des cuves à méthane qui pourront être utilisées indifféremment en cuve interne ou externe pour étudier les effets de courbure de fronts d'ondes et tenter d'expliquer l'origine de l'effet de sortie que l'on observe sur nos lasers de référence (Rapport 1985, pp. 56-61).

**1.2.5. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à  $\lambda = 543 \text{ nm}$**

Nous avons repris au BIPM les études que J.-M. Chartier avait réalisées au JILA en 1986<sup>(1,2)</sup>. Mais, au lieu d'utiliser comme au JILA un modulateur électro-optique pour moduler le faisceau laser, nous avons construit sur les deux lasers de type scellé que nous possédons un système mis au point au BIPM et déjà utilisé sur des lasers à  $\lambda = 633 \text{ nm}$ . Ce système permet de moduler la cavité laser et d'ajuster sa fréquence sur environ 200 MHz. En ajustant l'amplitude de modulation à environ 1 MHz et la pression d'iode à environ 3,2 Pa, nous avons pu observer quelques composantes des raies R(12)26-0 et R(106)28-0 avec un excellent rapport signal sur bruit qui devrait nous permettre d'asservir nos deux lasers.

**2. Masse et grandeurs apparentées**

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

**2.1.1. Étalons prototypes en platine iridié**

Deux nouveaux prototypes en platine iridié ont été récemment fabriqués. Ce sont les N° 69 et N° 70, attribués respectivement au Portugal et à la République fédérale d'Allemagne. Leur masse a été déterminée par comparaison à nos étalons d'usage courant.

---

<sup>(1,2)</sup> BIPM Proc-verb. Com. int. poids et mesures, 54, 1986, pp. 43-45.



On a obtenu le résultat suivant en octobre 1987 :

N° 69 : 1 kg + 0,201 mg

N° 70 : 1 kg - 0,234 mg

Le polissage et l'ajustage (à l'outil à pointe de diamant) des quatre prototypes N° 71 à N° 74 sont terminés.

### 2.1.2. Études d'étalons de masse

Détermination de la masse des étalons de 1 kg suivants :

- N2 et N3 en acier inoxydable « Nicral D » (BIPM);
- LMN5 en acier inoxydable « Immaculate V » (NJV, Norvège);
- sans numéro, en acier inoxydable (BCMN, Belgique).

Étalonnage de notre série de masses Oe, de premier ordre en platine iridié, de 500 g à 1 mg.

### 2.1.3. Balances Ruelprecht de portée 1 kg, 50 g et 20 g

Un dispositif de lecture des oscillations du fléau de la balance, analogue à celui qui a été monté sur la balance hydrostatique Stanton (Rapport 1983, p. 43 et Rapport 1984, p. 49), a été installé sur ces trois balances.

Ce dispositif utilise une barrette de 1 024 photodiodes sur laquelle un miroir lié au fléau de la balance projette un spot lumineux. Un dispositif électronique explore les signaux reçus par les photodiodes toutes les 20 ms, repère la position du spot et transmet cette donnée toutes les 2 s à un micro-ordinateur. Celui-ci calcule par interpolation quadratique sur cinq valeurs au voisinage de l'extremum les élongations extrémales du spot, puis ajuste, à partir de ces élongations, une fonction sinusoïdale amortie, correspondant à plusieurs périodes d'oscillation de la balance, et en déduit la position moyenne qui correspond à l'équilibre. Ce système est en service sur ces trois balances et donne toute satisfaction.

### 2.1.4. Balance NBS-2

Jusqu'à maintenant les positions d'équilibre de la balance étaient calculées à partir des maximums et des minimums des oscillations du fléau, repérées sur une échelle graduée.

Depuis quelque temps nous voulions automatiser ces lectures et nous nous sommes arrêtés au système suivant schématisé à la figure 2.1.

Un double trièdre réfléchissant T est fixé à l'extrémité du fléau, du côté du contrepoids; lorsque le fléau s'incline, il se déplace longitudinalement à l'intérieur d'un interféromètre de Michelson. Celui-ci est éclairé à l'aide d'un laser construit au BIPM à partir d'un tube à décharge commercial; le rayonnement du laser est transmis à l'interféromètre par l'intermédiaire d'une fibre optique qui traverse le socle de

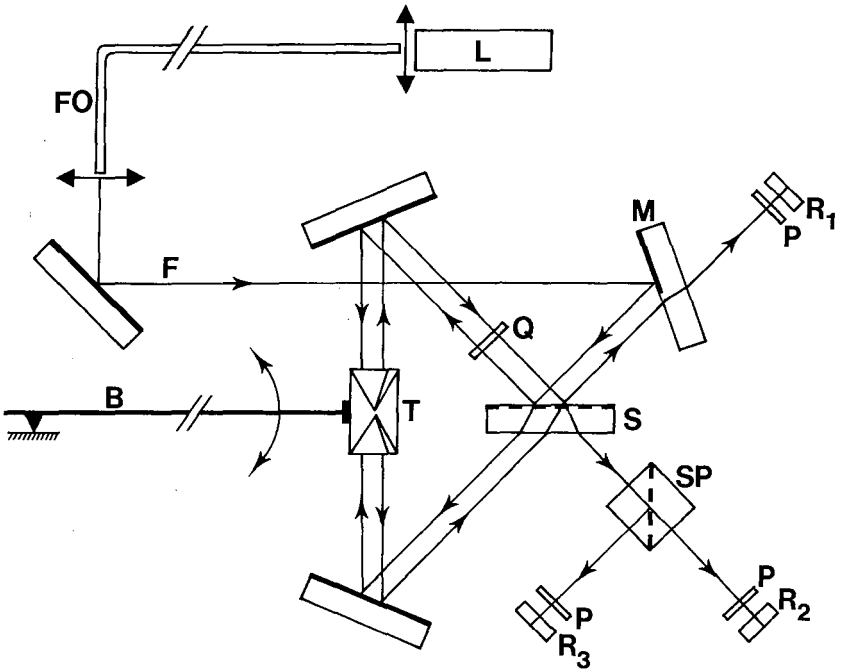


Fig. 2.1. — Schéma de l'interféromètre de Michelson pour l'enregistrement automatique des oscillations du fléau de la balance NBS-2.

la balance par un passage étanche. Les faisceaux transmis par l'interféromètre tombent sur trois récepteurs  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  (photodiodes au silicium) situés après les polaroïds P.

Les signaux 1 et 3 correspondant à une même polarisation sont en opposition de phase car le revêtement semi-réfléchissant de la séparatrice est non-absorbant. La quadrature entre les signaux 2 et 3 est obtenue grâce au retard de  $\lambda + \lambda/4$  introduit par la lame Q dont les axes principaux sont à  $45^\circ$  de ceux du cube séparateur-polariseur, SP.

Finalement ce sont les signaux différentiels (2-3) et (2-1), en quadrature, qui sont utilisés dans le système du compteur de franges réversible relié à un ordinateur Hewlett-Packard (voir figure 2.2).

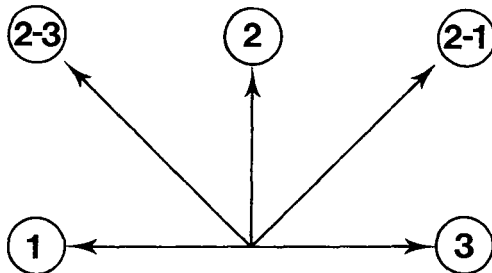


Fig. 2.2. — Différences de phase entre les signaux fournis par les récepteurs  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et les signaux différentiels (2-1), (2-3).

Pendant que le fléau oscille, l'ordinateur lit la valeur affichée au compteur toutes les 0,8 s puis calcule, comme ci-dessus pour les balances Rueprecht, les valeurs extrémales et la position d'équilibre.

Les positions d'équilibre successives correspondant à une pesée sont introduites dans un programme en service depuis plusieurs années qui calcule les masses des différents étalons entrant dans la pesée en fonction de la valeur de l'étalon de référence.

Des essais sont en cours pour contrôler le bon fonctionnement de l'ensemble.

### **2.1.5. Balance Mettler HK 1000 MC**

Dans le rapport de 1987, p. 39, il a été mentionné que nous effectuons des essais sur cette balance.

Les principales difficultés que nous avons rencontrées semblent provenir du transporteur qui a dû, une première fois être échangé, une seconde fois être réparé par le fabricant. Les essais se poursuivent.

### **2.1.6. Balance à suspensions flexibles (C. C. Speake, T. J. Quinn)**

Nous avons terminé l'expérience de recherche d'une cinquième force liée à l'isospin nucléaire, recherche effectuée au moyen de la balance à suspensions flexibles. Dans les limites des incertitudes expérimentales, l'existence d'une telle force n'a pu être mise en évidence. Un rapport complet sur ce travail a été soumis pour publication à Physical Review Letters ; en conséquence il n'est donné ici qu'un bref résumé du principe de la méthode et des résultats obtenus.

Le principe de l'expérience est très simple ; la figure 2.3 en donne le schéma. Les poids de deux masses d'essai en plomb (isospin = 0,21), d'une part, et d'autre part en carbone (isospin = 0) ou en cuivre (isospin = 0,08), sont comparés en présence de masses attractives de plomb ou de laiton placées l'une après l'autre sous la balance. En présence d'une force liée à l'isospin, la différence  $\Delta W$  des poids des masses d'essai devrait changer quand les masses attractives sont échangées.

Les masses d'essai, de masse totale 2,3 kg, ont été fabriquées de telle façon qu'elles soient extérieurement aussi identiques que possible. Le matériau d'essai (1,5 kg de plomb, de carbone ou de cuivre) est contenu dans une enveloppe étanche en acier inoxydable non magnétique (Nical D), (voir figure 2.4).

La pression dans l'enceinte de la balance est réduite à 1 kPa, ce qui élimine pratiquement les effets des courants de convection et des petites différences de poussée de l'air dues aux différences résiduelles de volume entre les différentes masses d'essai.

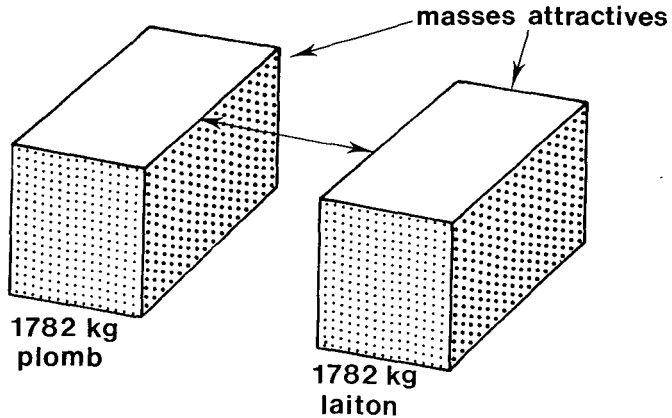
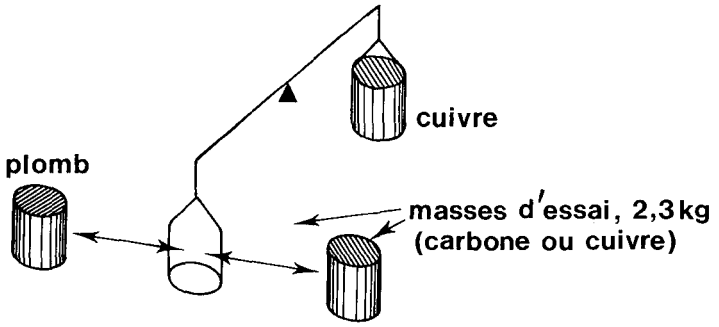


Fig. 2.3. — Schéma de principe de l'expérience. Les poids des masses d'essai en plomb ou en carbone (ou en cuivre) sont comparés en présence des masses attractives en plomb ou en laiton placées tour à tour sous la balance. En présence d'une force liée à la composition, la différence  $\Delta W$  des poids des masses d'essai devrait varier quand on échange les masses attractives.

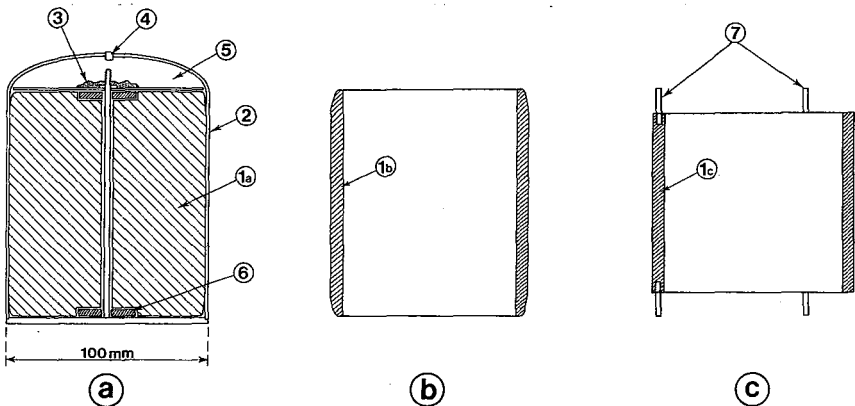


Fig. 2.4. — Les masses d'essai ( $\approx 2,3$  kg) : 1a, 1b et 1c, corps principal, respectivement en carbone (graphite), en cuivre ou en plomb, ayant à peu près la même masse ( $\approx 1,5$  kg) et dont le centre de gravité se situe à la même position par rapport à l'enveloppe; 2, enveloppe en acier inoxydable (Nicral D), ayant des parois de 1 mm d'épaisseur et une base de 3 mm d'épaisseur; 3, masse d'appoint en matière plastique; 4, cheville soudée sous la pression atmosphérique; 6, surcharges en cuivre (uniquement pour la masse en carbone); 7, tiges-supports (uniquement pour la masse en plomb).

Les masses attractives, d'environ 1 800 kg, ont été construites à partir de plaques de laiton ou de plomb (ces dernières séparées par des planchettes de contreplaqué pour réduire la masse volumique moyenne); elles ont été ajustées afin d'avoir sensiblement la même masse, à quelques dixièmes de kilogramme près, la même forme et le même volume extérieur. Des calculs numériques ont été faits pour évaluer les petites corrections gravitationnelles à appliquer pour tenir compte de la forme non idéale tant des masses d'essai que des masses attractives.

Les masses attractives étaient placées par rapport à la balance de telle façon qu'elles exerçaient les mêmes actions sur le sol et la même attraction gravitationnelle newtonienne sur la balance, quelle que soit la masse attractive qui se trouvait sous la balance (voir figures 2.5 et 2.6).

Quatre séries de mesures ont été faites. Pendant la première série de mesures, la plus longue, dont les résultats sont donnés à la figure 2.7, les masses attractives ont été échangées toutes les 7 h 20 min, opération qui occupait deux personnes pendant 10 minutes. Cette première série nous a enseigné beaucoup de choses sur le comportement du système. L'observation la plus importante a été que la différence de capacité et de conductivité thermiques des masses attractives entraîne des variations de température dans la balance; cela semble se traduire par des

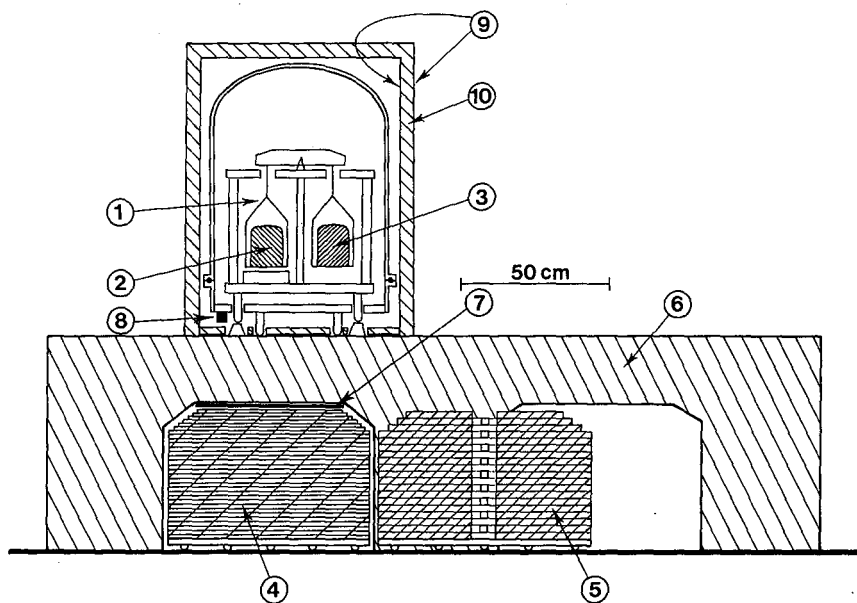


Fig. 2.5. — Vue de côté de la balance et des masses attractives : 1, balance à suspensions flexibles ; 2, masse d'essai sur le plateau ; 3, masse servant de tare ; 4, masse attractive en laiton ; 5, masse attractive en plomb ; 6, pilier en béton ; 7, plaque de cuivre thermorégulée ; 8, dispositif de refroidissement à effet Peltier ; 9, double blindage magnétique ; 10, isolation thermique.

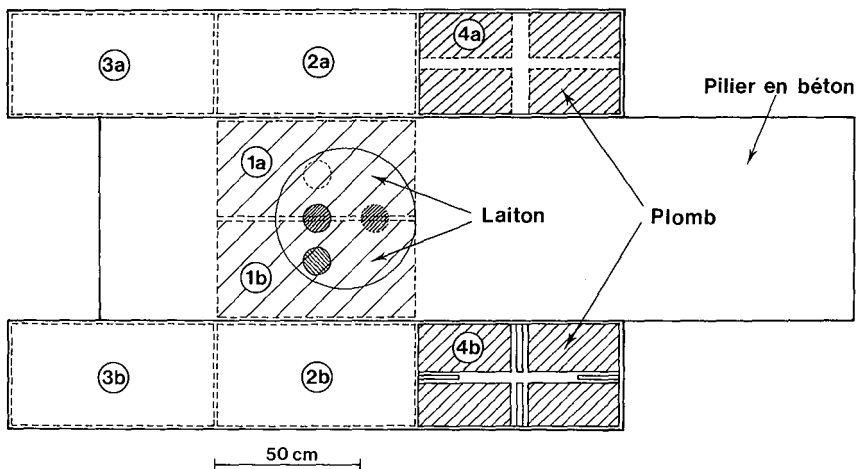


Fig. 2.6. — Vue de dessus de la balance et des masses attractives : 1a et 1b, masses attractives en laiton, sous la balance ; 4a et 4b, masses attractives en plomb, en position de repos. L'échange des masses attractives s'effectue de la manière suivante : tout d'abord, les masses en laiton sont déplacées des positions 1a et 1b vers les positions 2a et 2b, puis vers les positions 3a et 3b : dans un second temps, les masses en plomb sont déplacées des positions 4a et 4b vers les positions 2a et 2b puis vers les positions 1a et 1b : finalement les masses en laiton sont déplacées des positions 3a et 3b vers les positions 4a et 4b.

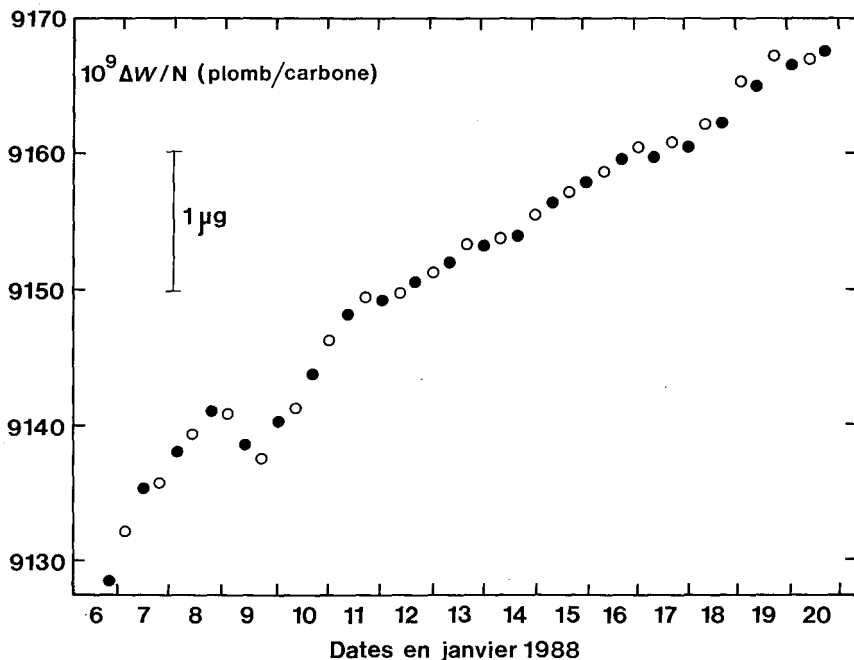


Fig. 2.7. — Résultats de la première série de mesures de  $\delta(\Delta W) = \Delta W_1 - \Delta W_2$ , où  $\bullet$  représente  $\Delta W_1$  (masse attractive en plomb) et  $\circ$  représente  $\Delta W_2$  (masse attractive en laiton), obtenues avec les masses d'essai en carbone et en plomb. En excluant les résultats obtenus entre le 17 janvier et le 20 janvier, on trouve  $\delta(\Delta W) = (-9 \pm 18) \times 10^{-11}$  N. Les résultats des trois autres séries de mesures sont donnés au tableau 2.1.

variations de la vitesse relative de dégazage des masses d'essai. Vers la fin de la série (17-20 janvier 1988), les variations de température devinrent trop importantes et les mesures correspondantes n'ont pas été prises en compte. La deuxième et la troisième séries de mesures ont été faites après l'interposition d'une plaque de cuivre dont la température était régulée (voir figure 2.5), afin de réduire les variations de température de la balance provenant de l'échange des masses attractives. Ce dispositif ne s'avéra pas tout à fait satisfaisant : la température de la balance avait tendance à croître de façon continue. Pour la quatrième et dernière série de mesures, la température de la base de la balance était régulée par refroidissement à l'aide d'un élément à effet Peltier. Le tableau 2.1 donne les résultats, ainsi que les corrections et les incertitudes, pour les quatre séries de mesures. Les valeurs finales pour le changement  $\delta(\Delta W)$  de la différence de poids mesurée suivant que l'on est en présence soit de la masse attractive en plomb, soit de la masse attractive en laiton, est de  $(- 7,6 \pm 15) \times 10^{-11}$  N d'après les mesures faites avec les masses d'essai en plomb ou en carbone et de  $(+ 18,8 \pm 20) \times 10^{-11}$  N d'après les mesures faites avec les masses d'essai en plomb ou en cuivre. Les incertitudes correspondraient respectivement à des incertitudes relatives de  $7 \times 10^{-12}$  et de  $9 \times 10^{-12}$  sur les valeurs des masses. Si l'on met

TABLEAU 2.1

Résultats

(a) Résultats des mesures de  $\delta(\Delta W)$  en unités de  $1 \times 10^{-11}$  N

Valeur mesurée	Correction	Valeur corrigée	Type A	Incertitude (écart-type) Type B	Composée
1 <sup>res</sup> séries	(plomb/carbone)				
- 9	- 3,3	- 12,3	18 (n = 31)	2,1	18,1
2 <sup>mes</sup> séries	(plomb/carbone)				
+ 14	- 3,3	+ 10,7	18 (n = 7)	2,1	18,1
3 <sup>mes</sup> séries	(plomb/carbone)				
- 18	- 3,3	- 21,3	6 (n = 6)	2,1	6,4
Valeur moyenne		- 7,6			15,2
4 <sup>mes</sup> séries	(plomb/cuivre)				
+ 19	- 0,2	+ 18,8	20 (n = 11)	2	20,1

(b) Valeurs de la constante de couplage  $\xi$  calculée à partir de

$$\begin{aligned}
 \text{Moyenne } \xi \text{ plomb/carbone} &= (1,3 \pm 2,5) \times 10^{-2} \\
 \xi \text{ plomb/cuivre} &= (- 5 \pm 5,3) \times 10^{-2} \\
 \text{Moyenne pondérée } \xi &= (0,11 \pm 3,0) \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

ce résultat sous la forme habituelle d'une constante de couplage de la cinquième force,  $\xi$ , on a pour nos mesures  $\xi = (0,1 \pm 3,0) \times 10^{-2}$ . Bien que cette expérience ne soit pas à l'heure actuelle la plus sensible pour déceler l'existence d'une cinquième force liée à la composition (certaines expériences faisant appel à une balance de torsion sont plus sensibles), nous avons le sentiment que sa simplicité et l'absence de corrections significatives à apporter aux mesures font de notre résultat l'un des plus fiables.

En ce qui concerne le fonctionnement de la balance, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1. Dans les conditions de température les plus stables, la balance à suspensions flexibles permet de comparer des masses de 2 kg avec une incertitude relative de  $7 \times 10^{-12}$ .

2. L'uniformité et la stabilité de la température à l'intérieur de la balance semblent être les principaux facteurs limitatifs de la reproductibilité de ces pesées, même à ce niveau d'incertitude.

## 2.2. Gravimétrie (A. Sakuma)

Étude sur la variation à long terme de l'accélération due à la pesanteur.

Nous avons déjà signalé (Rapport 1985, p. 77) que la variation de l'accélération due à la pesanteur, de l'ordre de quelques  $10^{-9}$  en valeur relative, qui semble liée au mouvement du pôle, a été mise en évidence, pour la première fois, au moyen de notre gravimètre absolu. Stimulé par cette observation et par l'intérêt majeur que celle-ci présente pour la géophysique, un nouveau groupe de travail a été créé au sein de la Commission gravimétrique internationale, IGC-Working Group 5 « Monitoring of non-tidal gravity variations », lors de la 19<sup>e</sup> Assemblée générale de l'UGGI à Vancouver, en août 1987. Ce groupe de travail est actuellement composé d'une vingtaine de laboratoires qui possèdent des gravimètres absolus ou des appareils relatifs de haute performance pour la mesure de la marée gravimétrique, en particulier ceux du type « à supraconducteur ».

Dans une première étape, nous avons été sollicités par plusieurs laboratoires concernés, en particulier le Centre international des marées terrestres (Bruxelles) et l'Institut de physique du globe (Strasbourg), pour effectuer avec notre gravimètre absolu l'étalonnage et la mesure des dérives instrumentales de leurs appareils de mesure de la marée gravimétrique.

Malheureusement, ces demandes n'ont pas encore pu être satisfaites, d'une part à cause du manque de personnel, d'autre part à cause de la nécessité de surveiller la nouvelle tendance à la diminution de l'accélération due à la pesanteur que l'on observe à la station



gravimétrique Sèvres point A (18082 A Paris, IGSN 1971); cette tendance s'est manifestée au printemps 1987 lorsque les travaux de construction du Nouveau Pavillon ont commencé, à environ 60 m de la station gravimétrique. Rappelons qu'une première diminution consécutive à la construction du bâtiment des lasers avait été observée (Rapports 1983, p. 50; 1986, p. 63). Cette deuxième diminution atteint actuellement (mai 1988) environ  $1 \times 10^{-8}$  en valeur relative. Il est par conséquent vraisemblable qu'une dérive importante de l'accélération due à la pesanteur s'est produite à l'intérieur du mini-réseau gravimétrique du BIPM aux points A, A<sub>3</sub> ... A<sub>7</sub>, réseau qui a été établi au moyen de nombreux gravimètres relatifs au cours de la deuxième comparaison internationale de gravimètres en 1985 (Rapport 1986, p. 61). Nous envisageons d'effectuer le réétalonnage de ce mini-réseau gravimétrique à l'aide de notre gravimètre absolu associé à des gravimètres relatifs, après l'achèvement des travaux de construction en cours.

### **2.3. Manométrie (J. Bonhoure)**

#### **2.3.1. Manobaromètre normal**

Les projets d'automatisation de l'appareil évoqués dans le rapport de 1987 (p. 45) n'ont pas encore été suivis d'effet. Toutefois, la construction assez probable maintenant d'un manobaromètre pour le laboratoire d'un pays du sud-est asiatique devrait entraîner une modernisation au moins partielle de l'appareil du BIPM.

#### **2.3.2. Études courantes**

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

On a aussi vérifié, périodiquement, l'étalonnage du manomètre Crouzet en service à la section d'électricité.

### **3. Échelles de temps (B. Guinot)**

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

L'établissement courant du TAI et de l'UTC a été poursuivi sans incidents ni retards. Au début de 1988, des changements importants ont été apportés au système des liaisons horaires utilisées et aux règles de pondération des horloges. Ce sont les conséquences d'études qui sont résumées ci-après en 3.2 et 3.4.

L'Inde et Israël participent maintenant à nos travaux et quelques laboratoires horaires de l'Afrique du Sud et de pays de l'Amérique du

Sud se joindront prochainement à l'effort commun. On note cependant une légère diminution du nombre d'horloges qui entrent dans l'établissement du TAI : 158 en moyenne en 1987, contre 166 en 1986.

### 3.2. Liaisons horaires par le Global Positioning System (B. Guinot, W. Lewandowski)

#### 3.2.1. Traitement des mesures

Pour les liaisons horaires par le GPS à moyenne distance (jusqu'à 2 000 km environ), nous avons montré que l'inexactitude des coordonnées relatives des antennes était souvent la principale cause d'erreur. Mais l'analyse des comparaisons horaires nous a permis de calculer des corrections de positionnement avec des incertitudes qui sont normalement inférieures à une trentaine de centimètres. Par exemple, en adoptant arbitrairement les coordonnées de l'Observatoire de Paris (OP) comme origine, on doit apporter aux coordonnées de la PTB les corrections suivantes dans un système géocentrique :

$$\begin{aligned}\Delta X &= (0,63 \pm 0,14) \text{ m} && \text{(vers l'origine des longitudes),} \\ \Delta Y &= (- 3,75 \pm 0,07) \text{ m} && \text{(vers la longitude } 90^\circ \text{ E),} \\ \Delta Z &= (0,84 \pm 0,15) \text{ m} && \text{(vers le pôle).}\end{aligned}$$

[L'écart observé avec les résultats antérieurs est essentiellement dû à un changement des paramètres de l'ellipsoïde de référence]. Des corrections pour les marées terrestres ont été systématiquement appliquées.

La figure 3.1 montre l'amélioration des comparaisons horaires due à l'adoption des coordonnées corrigées : par moyenne journalière étendue sur 10 à 20 passages de satellites, pour ces moyennes distances, l'incertitude totale des comparaisons horaires par le GPS peut être réduite à 1 ou 2 ns, lorsque les retards différentiels des récepteurs sont mesurés et que les antennes sont protégées contre les propagations à trajets multiples.

Nous avons déterminé les coordonnées différentielles de 10 laboratoires en Europe et en Israël. Ces travaux devront prendre de l'extension, d'une part pour répondre à la demande de plusieurs laboratoires (au Japon, aux États-Unis d'Amérique, en France notamment), d'autre part pour étudier la stabilité des solutions.

À grande distance, les effets dominants sont les erreurs du modèle d'orbite des satellites du GPS et du modèle pour la réfraction ionosphérique. Nous n'avons pas trouvé, pour le moment, de méthode d'amélioration autre que l'augmentation et la diversification des passages observés. Notre récepteur, installé à l'Observatoire de Paris, applique un programme de 28 poursuites simultanées avec l'Observatoire naval des États-Unis (USNO). Sur des moyennes de 10 jours, la dispersion des comparaisons horaires selon les passages observés est de l'ordre de 15 ns, mais des effets systématiques sont évidents, de sorte que l'incertitude

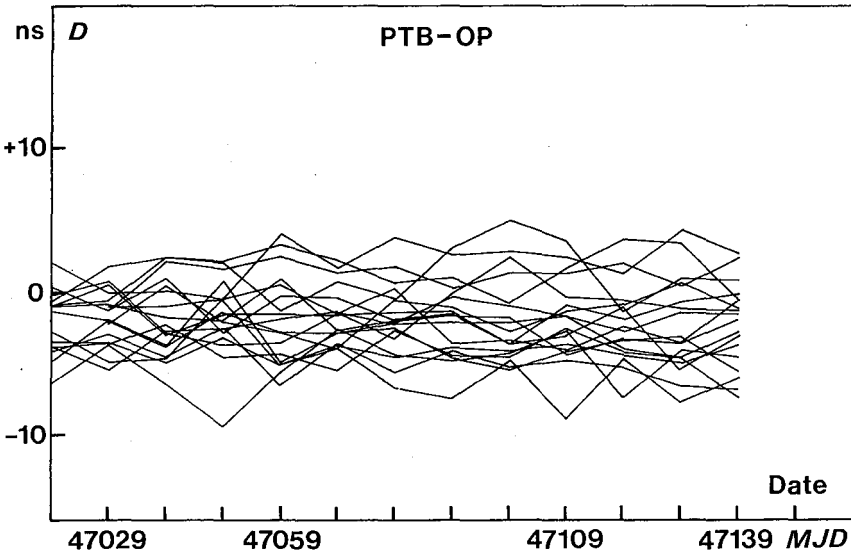
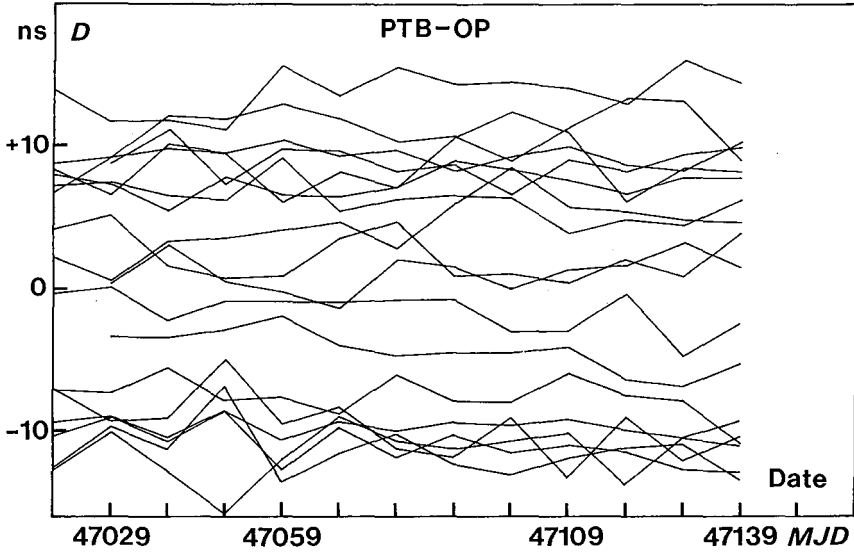


Fig. 3.1. — Pour chaque intervalle de 10 jours, *D* représente le résidu de la comparaison horaire donnée par un satellite, par rapport à la moyenne étendue à tous les satellites observés. Une ligne est tracée pour chaque satellite (ou passage différent d'un même satellite).

La figure du haut est obtenue avec les coordonnées géodésiques telles qu'elles sont adoptées par les laboratoires. La figure du bas montre l'amélioration apportée par les corrections aux coordonnées que nous avons déterminées.

sur la moyenne semble comprise entre 5 et 10 ns et non pas égale à  $15/\sqrt{28} \approx 3$  ns. À la suite de ces travaux, les liaisons horaires par GPS utilisées par le BIPM ont été modifiées en janvier 1988. L'ancien réseau rayonnait principalement autour de l'USNO. Le nouveau réseau utilise le tronc commun USNO-OP. En Europe et en Israël les laboratoires sont maintenant liés à l'OP, après application de corrections dues à notre amélioration des coordonnées géodésiques.

### 3.2.2. Étalonnage de retards de récepteurs du GPS

Grâce à la coopération de l'OP et du NBS, des récepteurs en cours de livraison au National Physical Laboratory d'Israël (INPL) et à l'Université technique de Graz (TUG) ont pu passer par Paris. On a pu ainsi surveiller l'évolution des retards différentiels au NBS et à l'OP : la variation est faible, 3 ns en plus d'un an, et n'est peut-être pas significative.

Un étalonnage des retards par transport du récepteur du BIPM a été réalisé en mai 1988, dans les laboratoires suivants : OP, Observatoire royal de Belgique, VSL, PTB. Les résultats de cette campagne ont été introduits dans les calculs courants.

### 3.2.3. Réfraction ionosphérique (M. Imae)

Le Groupe de recherches de géodésie spatiale (France) a confié à l'OP et au BIPM un stagiaire du Communications Research Laboratory (CRL, Tokyo, Japon), Mr Imae, pour une durée de 9 mois. Le sujet de recherche de Mr Imae est la construction d'un récepteur bi-fréquence du GPS, afin de mesurer la réfraction ionosphérique en utilisant la dispersion. Pour des raisons pratiques, Mr Imae a travaillé au BIPM où il a pu mettre au point son récepteur grâce à l'aide permanente et aux moyens matériels mis à sa disposition par la section des lasers.

Les essais entrepris en août 1988 ont conduit à de très bons résultats. Pour permettre les dernières mises au point, le stage de Mr Imae a été prolongé de 3 mois (jusqu'au 31 octobre 1988), à la charge du BIPM.

### 3.2.4. Autres travaux sur le GPS

Nous rappelons que l'établissement des programmes de poursuite des satellites du GPS est à notre charge. Un nouveau programme mis en œuvre le 14 décembre 1987 prend en compte les possibilités géodésiques des comparaisons horaires par le GPS. Nous en attendons une réduction importante des incertitudes.

Sur les 19 liaisons horaires par le GPS nécessaires pour établir le TAI, 13 sont calculées par le BIPM à partir des mesures brutes. Diverses améliorations ont porté sur les logiciels, la sauvegarde et l'échange des données.

La comparaison entre eux de divers récepteurs installés à l'Observatoire de Paris, dont le nôtre, révèle quelques anomalies. Nous avons dû, par des opérations géodésiques traditionnelles, remesurer très exactement les coordonnées différentielles des antennes, pour éliminer toute incertitude quant à leur rattachement.

### **3.3. Expérience LASSO (Laser Synchronization from Stationary Orbit)**

Cette expérience de l'Agence spatiale européenne a été proposée par le Bureau international de l'heure. Le satellite porteur (METEOSAT P2) a été mis en orbite le 15 juin 1988. Le but de l'expérience est une comparaison d'horloges très exactes ( $\pm 1$  ns), par tir de lasers sur le satellite. Le BIPM devra évaluer la qualité des résultats obtenus et les comparer à ceux d'autres techniques. Il participe aussi à l'organisation de l'expérience et il a été représenté à plusieurs réunions préparatoires.

### **3.4. Travaux sur les algorithmes (C. Thomas)**

Une prédiction de la marche des horloges, adaptée au but que l'on se propose (la stabilité à très long terme pour le TAI), est indispensable dans les algorithmes qui servent à former les échelles de temps à partir des données d'un ensemble d'horloges atomiques. Pour le TAI, on estime que la marche d'une horloge pour deux mois à venir restera identique à celle que l'on a observée pendant les deux mois qui précèdent. Nous avons tenté de savoir si ce mode de prédiction, adopté il y a près de 15 ans, convenait toujours dans les conditions actuelles.

Dans une première série de travaux, nous avons comparé la marche prédite de diverses manières à la marche observée par la suite. Nous avons, en particulier, fait varier la durée du « passé » utilisé pour la prédiction, essayé un filtre récursif et tenté d'ajuster une variation annuelle. Le grand nombre de données dont nous disposons rend les comparaisons significatives. Dans tous les cas l'ancien mode de prédiction s'est montré supérieur.

Dans une autre série de recherches, nous avons choisi de prendre comme marche prédite sur l'intervalle actuel une combinaison linéaire d'échantillons de marches durant des intervalles de temps passés et consécutifs, de durée égale à 1 ou 2 mois, et dont le nombre peut aller jusqu'à six. Les coefficients de cette combinaison linéaire sont obtenus par minimisation de l'écart « observé-prédit » en opérant par glissement sur chaque horloge dont on suppose qu'elle a conservé ses caractéristiques. Cette recherche qui a porté sur 120 horloges confirme également le bien-fondé de la prédiction ancienne, au moins pour les horloges à césium de construction industrielle.

Tout en conservant le mode ancien de prédiction, il convenait d'accroître la contribution des meilleures horloges par un changement de pondération (comme cela avait été dit dans le rapport annuel précédent). La nouvelle pondération, admettant des poids 5 fois plus élevés que l'ancienne pour les meilleures horloges, a été essayée sur 18 mois (juillet 1986 à décembre 1987), puis adoptée le 1<sup>er</sup> janvier 1988. Elle comporte, en outre, des règles de rejet plus strictes pour les horloges dont on estime que la marche a été anormale. La figure 3.2 montre le changement de la contribution des meilleures horloges apporté par la nouvelle pondération.

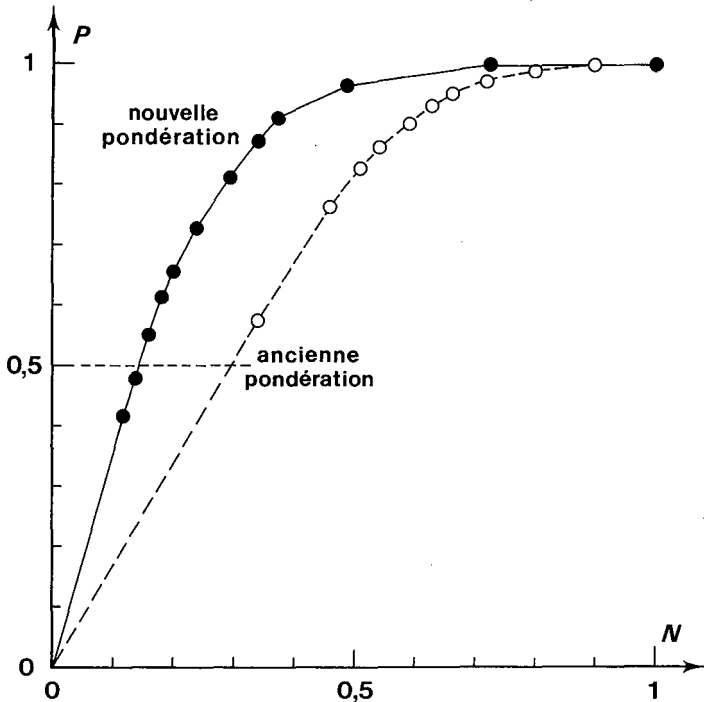


Fig. 3.2. — Fraction  $P$  du poids total apportée par la fraction  $N$  du nombre total d'horloges, ces dernières étant classées en ordre de qualité décroissante (janvier-février 1988).

Exemple : 50 % du poids est obtenu par  
14 % des meilleures horloges (nouvelle pondération)  
ou 29 % des meilleures horloges (ancienne pondération).

Une méthode quelquefois adoptée pour l'obtention d'une échelle de temps, en particulier au NBS, consiste à utiliser le filtrage de Kalman. Ce filtrage linéaire de séries temporelles a la particularité d'être récursif ; l'information étant entièrement contenue dans le résultat du calcul à chaque pas, le résultat au pas suivant ne dépend que du modèle d'évolution choisi pour le système et des nouvelles observations. Dans

le cas d'une échelle de temps, les observations sont des comparaisons d'horloges et le résultat du filtrage est une correction en temps à apporter à chaque horloge physique. Nous avons montré théoriquement que l'échelle de temps atomique obtenue par filtrage de Kalman s'écrit comme une moyenne pondérée de lectures d'horloges, le poids attribué à une horloge donnée faisant intervenir deux paramètres stochastiques, lentement variables dans le temps qui caractérisent son comportement à court et long termes. De plus, l'expression analytique du filtre récursif de prédiction de marche a été donnée. Dans le cas où la stabilité à long terme de l'échelle est la préoccupation majeure, les procédures de pondération et de prédiction de marche se réduisent à celles utilisées dans l'algorithme de calcul de TAI. Nous collaborons à la mise en œuvre d'un algorithme de filtrage de Kalman au LPTF (OP) pour le calcul du temps atomique français.

### 3.5. Temps atomique et théories dynamiques (B. Guinot)

La tentative conjointe de P. K. Seidelmann (US Nautical Almanac) et de B. Guinot de définir un temps terrestre idéal au géocentre a continué à faire l'objet de nombreuses discussions. Un article commun sur ce sujet a été publié dans *Astronomy and Astrophysics*.

La réalisation de ce temps terrestre que nous avons appelée TT(BIPM87) a été mise à jour et légèrement améliorée, sous le nom de TT(BIPM88).

### 3.6. Étalon de fréquence à pompage optique (C. Thomas)

C. Thomas a effectué un stage au LPTF, à l'Observatoire de Paris, en février et mars 1988, pour s'initier aux problèmes expérimentaux des étalons primaires de fréquence.

Dans un étalon primaire à pompage optique, le faisceau laser de préparation des atomes interagit perpendiculairement avec les atomes de césium, induisant des effets nocifs de déflexion et de déformation du jet atomique, par pression de radiation. La différence de phase de la micro-onde vue par les atomes défléchis entre les deux bras de la cavité de Ramsey apporte alors une contribution à l'inexactitude de l'étalon de l'ordre de  $1 \times 10^{-13}$ . Il convient donc de contrôler strictement ces effets et peut-être de les utiliser pour obtenir un jet atomique aussi monocinétique que possible.

Mme Thomas a participé à un ensemble d'expériences dans ce sens qui ont conduit à des résultats tout à fait originaux et parfaitement interprétés sur la déflexion, la collimation et la décollimation du jet atomique par pression de radiation. Il en résulte la nécessité pour le faisceau qui réalise le pompage optique d'être utilisé sous forme d'onde stationnaire.

Ces travaux ont fait l'objet d'une communication au 2<sup>e</sup> Forum européen Fréquence et Temps, à Neuchâtel, à laquelle le BIPM a été associé.

#### 4. Électricité (T. Witt)

##### 4.1. Effet Hall quantique (F. Delahaye)

##### 4.1.1. Mesures de la résistance de Hall quantifiée

Le comparateur cryogénique de courants continus (CCC) réalisé et mis au point au BIPM (Rapport 1987, pp. 29-31) permet de mesurer la résistance de Hall quantifiée ( $R_H$ ) en fonction de la représentation de l'ohm conservée par le BIPM ( $\Omega_{69-BI}$ ) avec une incertitude totale estimée à  $1,5 \times 10^{-8}$  en valeur relative.

Le rattachement de  $R_H$  à  $\Omega_{69-BI}$  se fait avec une seule étape intermédiaire :  $R_H$  est comparée à une résistance étalon de  $100 \Omega$  placée dans un boîtier thermostaté, puis celle-ci est raccordée aux étalons de  $1 \Omega$  matérialisant  $\Omega_{69-BI}$ . Nous avons, depuis janvier 1987, réalisé de tels rattachements à la fréquence d'un tous les deux ou trois mois. Chaque rattachement consiste en une série de mesures, s'étendant sur environ une semaine, relative à plusieurs échantillons (hétérojonctions du type GaAs/AlGaAs) et à des résistances quantifiées correspondant à des nombres quantiques  $i$  égaux à 2 ou à 4. L'écart relatif entre les différentes mesures d'une série ne dépasse pas en général  $\pm 1 \times 10^{-8}$ .

La figure 4.1 présente le résultat de nos mesures de  $R_H$  en fonction de  $\Omega_{69-BI}$ . Les sept résultats de rattachements réalisés à l'aide d'hétéro-

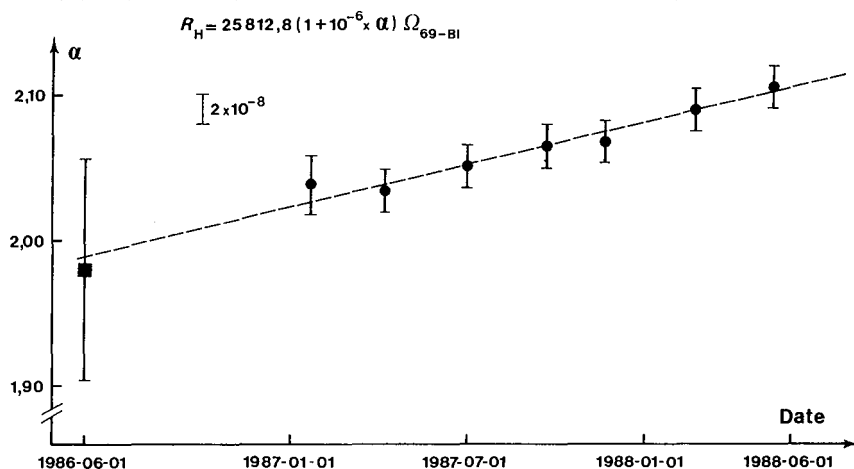


Fig. 4.1. — Évolution au cours du temps de la valeur de  $R_H$  mesurée en fonction de  $\Omega_{69-BI}$ , représentation de l'ohm conservée par le BIPM. La pente positive observée correspond à une dérive de  $\Omega_{69-BI}$  d'environ  $-0,06 \mu\Omega$  par an.



jonctions et en utilisant le CCC y sont portés (cercles noirs), ainsi que la valeur obtenue en juin 1986 (carré noir). On utilisait à l'époque des échantillons du type transistor métal-oxyde-semiconducteur (MOS) à effet de champ et un dispositif de mesure potentiométrique (Rapport 1986, pp. 74-77). Nous avons déterminé, à l'aide de ces mesures, une estimation provisoire du taux de dérive de  $\Omega_{69-BI} : (-0,0579 \pm 0,0047) \mu\Omega$  par an. Il est intéressant de noter que cette valeur est en bon accord avec celle  $[(-0,0616 \pm 0,0011) \mu\Omega \text{ par an}]$  qui résulte des rattachements successifs entre  $\Omega_{69-BI}$  et  $\Omega_{CSIRO}$ , la réalisation de l'ohm établie et conservée par le CSIRO (Australie) à l'aide de son condensateur étalon calculable. On remarquera également, compte tenu de la dérive de  $\Omega_{69-BI}$ , le bon accord entre la détermination de  $R_H$  réalisée en juin 1986 (l'incertitude était alors de  $7,6 \times 10^{-8}$ ) et les déterminations postérieures.

#### 4.1.2. Étude de nouveaux échantillons

Une nouvelle hétérojonction du type GaAs/AlGaAs, don de la PTB et fabriquée par l'Institut de recherche des postes de la Rép. Féd. d'Allemagne (FTZ, Darmstadt), est venue s'ajouter aux échantillons du même type (Rapport 1987, p. 55) dont le BIPM disposait déjà.

Parmi ces derniers, trois sont utilisables pour des mesures de  $R_H$  de grande précision et donnent des résultats concordant à  $\pm 1 \times 10^{-8}$  près en valeur relative.

Le nouvel échantillon a été comparé à l'un des trois mentionnés ci-dessus, fabriqué par le LEP, Limeil-Brévannes. À une température de 0,5 K, les valeurs de  $R_H$  mesurées à l'aide des plateaux  $i = 2$  et  $i = 4$  des deux échantillons sont en accord à mieux que  $\pm 1 \times 10^{-8}$  en valeur relative. À 1,5 K, les plateaux  $i = 2$  et  $i = 4$  de l'échantillon LEP et le plateau  $i = 2$  de l'échantillon FTZ/PTB donnent des valeurs de  $R_H$  en accord entre elles et avec les valeurs mesurées à 0,5 K, également à mieux que  $\pm 1 \times 10^{-8}$ . En revanche, le plateau  $i = 4$  de l'échantillon FTZ/PTB n'est pas parfaitement quantifié à 1,5 K. En effet, pour cet échantillon, ce plateau est obtenu pour une valeur du champ d'induction magnétique,  $B$ , relativement faible (environ 4 T). La résistivité longitudinale du gaz d'électrons à deux dimensions formé dans l'échantillon a dans ces conditions une valeur mesurable (environ 3 m $\Omega$ ), ce qui entraîne une différence de quelques  $10^{-8}$  entre la valeur attendue et la valeur mesurée de la résistance de Hall.

Il est cependant très satisfaisant de constater que cet échantillon, utilisé au BIPM dans des conditions expérimentales semblables à celles employées par la PTB pour des échantillons similaires ( $T = 1,5$  K,  $i = 2$ ,  $B \simeq 8$  T), donne des résultats en excellent accord avec ceux des autres échantillons du BIPM.

Deux nouveaux échantillons du type transistor MOS à effet de champ ont également été étudiés. Ce type d'échantillon est moins

performant que les hétérojonctions, en ce sens que le courant maximal admissible dans l'échantillon ne dépasse pas  $10 \mu\text{A}$ , contre  $50 \mu\text{A}$  pour les hétérojonctions. Nous pensons cependant qu'il est important de vérifier l'accord des résultats donnés par des échantillons de types différents.

Pour le premier échantillon (don de l'IMM), des plateaux de la résistance de Hall ont été observés, mais la valeur relativement faible de la mobilité électronique ( $0,68 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) n'a pas permis, dans les conditions expérimentales utilisées au BIPM ( $T \geq 0,5 \text{ K}$ ,  $B \leq 13 \text{ T}$ ), d'obtenir une quantification de la valeur des plateaux à mieux que quelques  $10^{-6}$  près.

Le second (don du Professeur Kawaji de l'Université de Gakushuin) a pu être utilisé pour des mesures précises de  $R_H$ . Le système de mesure utilisé est un dispositif potentiométrique, spécialement conçu pour ce type d'échantillon (Rapport 1986, pp. 74-77) et amélioré en 1987 (Rapport 1987, p. 58). La valeur mesurée de  $R_H$  ne diffère que de  $3 \times 10^{-8}$  de celle obtenue avec les hétérojonctions GaAs/AlGaAs et le CCC. Cette différence est compatible avec l'incertitude estimée du dispositif de mesure potentiométrique ( $5 \times 10^{-8}$ ).

La figure 4.2 donne un résumé des résultats des comparaisons des valeurs du rapport  $i R_H(i)/R_{10K5}$ , où  $R_{10K5}$  est la résistance d'un étalon

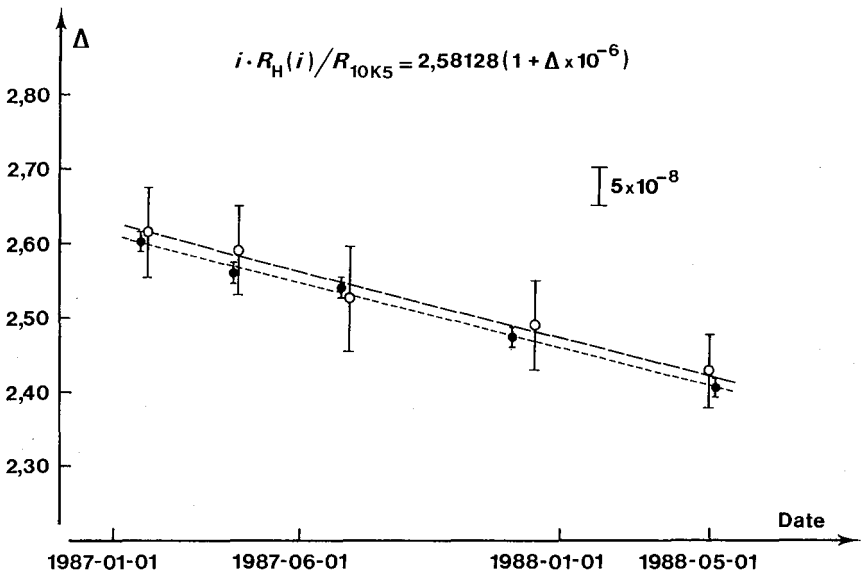


Fig. 4.2 — Comparaison des résultats des mesures de  $i R_H(i)$  en fonction d'une résistance étalon de référence,  $R_{10K5}$  sur une période de 17 mois. Les points représentés par des cercles noirs (●), ont été obtenus par le CCC et les écarts-types combinés sont indiqués. Les points représentés par des cercles blancs (○) ont été obtenus avec un potentiomètre commercial après modification. Les barres d'incertitude indiquent l'incertitude composée (écart-type résultant des composantes de type A et de type B). La dérive est due à l'étalon de référence.

de référence de  $10\text{ k}\Omega$ , obtenus par des mesures effectuées avec le potentiomètre Guildline 9930, après modifications, et avec le CCC. Nous concluons qu'après modification et avec quelques précautions, un potentiomètre commercial peut servir pour maintenir un étalon de résistance fondé sur l'effet Hall quantique avec une incertitude relative de  $5 \times 10^{-8}$ .

#### 4.1.3. Construction d'un deuxième comparateur cryogénique de courants

Cette année nous avons construit un nouveau CCC ayant des rapports de nombres de spires de 1, 1, 2, 8, 8, 16, 32, 64, 128, 465 et 1 600. Les résultats des essais des rapports 1 à 64 font apparaître des erreurs de rapports inférieures à  $1 \times 10^{-9}$ .

#### 4.2. Comparaison internationale restreinte d'étalons de résistance de $1\ \Omega$

C'est lors de sa 17<sup>e</sup> session (septembre 1986) que le Comité consultatif d'électricité a demandé au BIPM d'organiser une comparaison internationale d'étalons de résistance de  $1\ \Omega$ , limitée aux laboratoires qui mesurent la résistance de Hall quantifiée  $R_H$  ou qui réalisent des déterminations absolues de l'ohm. Le but principal de cette comparaison était d'évaluer l'accord existant entre les mesures de  $R_H$  réalisées par les différents laboratoires en fonction de leur représentation de l'ohm ( $\Omega_{\text{LAB}}$ ).

Onze laboratoires nationaux (CSIRO, ETL, IMM, LCIE, NBS, NIM, NPL, NRC, OFMET, PTB, VSL) ainsi que le BIPM ont participé à cette comparaison. Chaque laboratoire a fait parvenir au Bureau deux ou trois étalons voyageurs de  $1\ \Omega$  (31 étalons au total). Ces 31 étalons, ainsi que les 6 étalons du Bureau qui matérialisent la représentation de l'ohm du BIPM ( $\Omega_{69\text{-BI}}$ ), ont été comparés à deux étalons de transfert de  $1\ \Omega$  du BIPM, fabriqués par le CSIRO et ayant de très faibles coefficients de température et de pression. Les deux étalons de transfert ont été rattachés à  $R_H$ , immédiatement avant et après la comparaison, à l'aide du dispositif de mesure du BIPM.

La comparaison proprement dite, réalisée à l'aide d'un comparateur cryogénique de courants continus, s'est déroulée au BIPM du 24 septembre au 17 novembre 1987. Au cours de cette période, chacun des 37 étalons a été comparé à cinq reprises aux deux étalons de transfert. Un ajustement linéaire, obtenu par la méthode des moindres carrés, a permis d'évaluer le rapport de chacun des étalons à chaque étalon de transfert à la date centrale de la comparaison : le 20 octobre 1987. Pour 34 des 37 étalons, la moyenne de l'écart-type de la valeur prédite du rapport à la date centrale est de  $3,4 \times 10^{-9}$ . Les trois étalons restants (tous appartenant au même laboratoire) ont présenté des fluctuations anormales.

dont l'origine a pu être mise en évidence : il s'agit d'une dégradation de la platine isolante supérieure sur laquelle sont fixées les bornes de l'étalon. Cette dégradation semble due à un séjour prolongé des étalons dans l'huile. Un début de dégradation semblable mais moins prononcé a été observé également sur d'autres étalons voyageurs du même fabricant. Compte tenu de ces difficultés, le laboratoire propriétaire nous a fait parvenir par la suite deux autres étalons voyageurs.

Les différences  $\Omega_{\text{LAB}} - \Omega_{69\text{-BI}}$  ont été évaluées à la date centrale de la comparaison avec une incertitude totale qui, à une exception près, est de l'ordre de  $0,03 \mu\Omega$ . La valeur de  $\Omega_{69\text{-BI}}$  en  $\Omega$ , déduite de la comparaison avec le CSIRO et de la détermination de l'ohm réalisée par ce laboratoire, diffère de moins de  $0,01 \mu\Omega$  de la valeur attendue, calculée par extrapolation des résultats des comparaisons précédentes. Cela confirme le fait que  $\Omega_{69\text{-BI}}$  dérive linéairement et indique également un bon accord entre l'ancien et le nouveau dispositif de mesure du BIPM.

La moyenne pondérée des valeurs de  $R_H$  en  $\Omega_{69\text{-BI}}$ , déduite des mesures de  $R_H$  en  $\Omega_{\text{LAB}}$  et en  $\Omega_{69\text{-BI}}$  réalisées dans les onze laboratoires nationaux et au BIPM (fig. 4.3), et l'écart-type relatif de cette moyenne, sont :

$$R_H = 25\,812,8 [1 + 2,059 \times 10^{-6}] \Omega_{69\text{-BI}} \quad (1987-10-20)$$

$$s_r = 0,021 \times 10^{-6}.$$

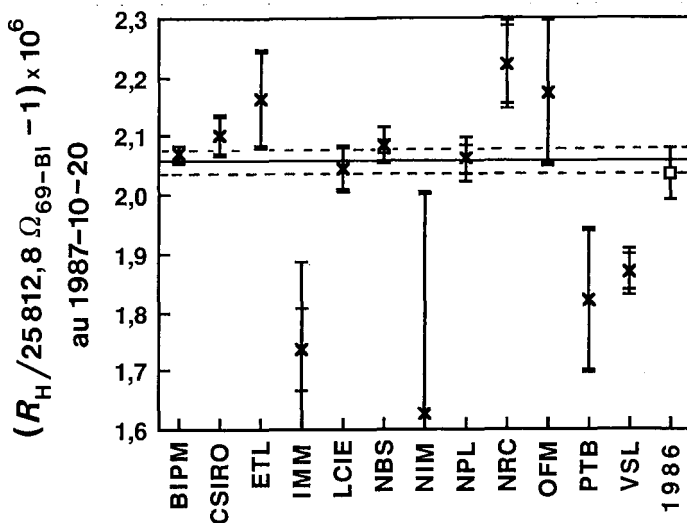


Fig. 4.3 — Valeurs de  $R_H$  en  $\Omega_{69\text{-BI}}$  rapportées au 1987-10-20, exprimées comme écarts relatifs par rapport à la valeur  $25\,812,8 \Omega_{69\text{-BI}}$ . Les barres associées à chaque point représentent l'incertitude de  $R_H$  en fonction de  $\Omega_{\text{LAB}}$  (la plus petite des deux) et l'incertitude de  $R_H$  en fonction de  $\Omega_{69\text{-BI}}$  (la plus grande).

Le trait continu horizontal et les traits pointillés représentent la moyenne pondérée et son écart-type. Le carré représente la moyenne pondérée trouvée en 1986 et extrapolée en prenant en compte la dérive connue de  $\Omega_{69\text{-BI}}$ ; l'écart-type de cette valeur est aussi indiqué.

Les valeurs de  $R_H$  en  $\Omega_{69-BI}$ , correspondant à cinq des six laboratoires qui annoncent une incertitude relative inférieure ou égale à  $3,6 \times 10^{-8}$  sur la mesure de  $R_H$  en fonction de leur représentation de l'ohm, ainsi que la valeur extrapolée de la moyenne pondérée de mesures de  $R_H$  en  $\Omega_{69-BI}$  rapportées au 1<sup>er</sup> janvier 1986\*, sont toutes incluses dans un intervalle de  $6,6 \times 10^{-8}$ . Cet accord excellent démontre qu'il est maintenant possible d'utiliser l'effet Hall quantique pour réaliser une représentation de l'ohm invariable et reproductible à quelques  $10^{-8}$  près.

Le rapport final de cette comparaison fait l'objet du rapport BIPM-88/6.

#### 4.3. Conservation de $V_{76-BI}$

Nous avons poursuivi les mesures de la force électromotrice de notre groupe de piles de référence à l'aide de l'effet Josephson. Pour mieux traduire l'évolution de la force électromotrice moyenne de ce groupe, nous utilisons maintenant un ajustement (par la méthode des moindres carrés) d'un polynôme d'ordre 2. Par rapport à cette fonction, l'écart-type d'une observation, pour 56 mesures faites entre juin 1981 et mai 1988, est de 10 nV.

Il est à noter qu'à la suite de la révision de notre système de mesure, faite depuis l'année dernière, la mise en œuvre de l'effet Josephson a retrouvé une allure normale (écart-type de la moyenne pour une série de mesures :  $\sigma_m \simeq 4$  nV).

Nous avons aussi commencé à réunir l'ensemble des composants nécessaires aux mesures fondées sur des réseaux de jonctions Josephson (oscilloscope et circuit de polarisation, voltmètre numérique, fréquence-mètre-stabilisateur de fréquence, source hyperfréquence...); nous avons réalisé le porte-échantillon, muni des filtres nécessaires. Les essais des différents composants ont été faits et les premières mesures devraient être commencées prochainement. Nous tenons, à cette occasion, à remercier le NBS qui nous a fourni les réseaux de jonctions, et nous a également conseillés et aidés pour l'achat des équipements.

La mesure d'un étalon de tension à diode de Zener, faite à l'aide du réseau, donne, à environ  $1 \times 10^{-8}$  près, une valeur égale à celle déduite de la comparaison avec un groupe de piles mesurées à l'aide de l'installation habituelle. Nous comptons poursuivre ces comparaisons dans les mois à venir.

---

\* TAYLOR, B.N. and WITT, T.J. A summary of determinations of quantized Hall resistances and abilities to compare resistance standards, *BIPM Com. cons. électricité*, 17, 1988, pp. E122-E142.

#### 4.4. Études courantes

Cette année nous avons étudié 22 piles étalons appartenant aux laboratoires nationaux de la Rép. Pop. de Chine, de la Roumanie, de l'Irlande et de la Yougoslavie.

Nous avons étudié un étalon de tension à diode de Zener pour la Belgique.

#### 4.5. Étude de l'effet Josephson dans $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Des études de l'effet Josephson obtenu à l'aide de ce matériau supraconducteur, dont la température de transition est de 92 K, sont en cours. Nous avons même fabriqué un SQUID fonctionnant à 77 K. Actuellement, ce SQUID d'un type nouveau comportant des anneaux en  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  a un niveau de bruit, exprimé en fraction du quantum de flux magnétique  $\Phi_0$ , de :

$$(\delta\Phi/\Phi_0) B^{-1} = 2 \text{ à } 4 \times 10^{-4} \text{ Hz}^{-1} \text{ à } 4,2 \text{ K,}$$

où  $B$  est la largeur de bande.

Nous avons mis au point une méthode de fabrication de jonctions Josephson en  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Une première comparaison à haute précision du rapport fréquence/tension ( $2e/h$ ), mesuré à l'aide d'une jonction de ce matériau et d'une jonction métallique met en évidence l'égalité de ces deux valeurs à  $5,6 \times 10^{-6}$  près en valeur relative, avec un écart-type de  $3,5 \times 10^{-6}$ . Un rapport de cette étude est publié\*.

#### 4.6. Activités relatives aux travaux du Comité consultatif d'électricité (CCE)

La préparation de la prochaine session du CCE, qui doit avoir lieu du 27 au 29 septembre 1988, a constitué cette année une partie essentielle des activités de la section d'électricité, compte tenu de l'importance des questions portées à l'ordre du jour. La rédaction de l'annexe au rapport du Groupe de travail sur l'effet Hall quantique, intitulée « Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance », préparée par F. Delahaye à partir des renseignements fournis par tous les membres du groupe, est maintenant terminée. Nous avons aussi participé, avec B. N. Taylor (NBS), à la rédaction des projets de rapport des Groupes de travail pour l'effet Josephson et pour l'effet Hall quantique. Nous avons préparé, avec MM. Giacomo et Quinn, un

---

\* WITT, T. J. An accurate determination of  $2e/h$  in Y-Ba-Cu-O Josephson junctions, *Physical Review Letters*, **61**, 1988, pp. 1423-1426.

projet de note destinée à informer les utilisateurs des services d'étalonnage des modifications qui vont intervenir dans les représentations du volt et de l'ohm et à préciser le vocabulaire et les notations qui seront employés dans la rédaction des certificats. Enfin, nous avons assuré une partie du secrétariat scientifique, toujours assez lourd, du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences qui s'est réuni à Tsukuba (Japon) du 13 au 15 juin 1988, à l'occasion de la CPEM 88.

## 5. Radiométrie, Photométrie (J. Bonhoure)

Conformément aux souhaits exprimés par le CIPM, l'effort principal a porté sur la radiométrie, la photométrie poursuivant son activité habituelle. La proximité de l'INM (Paris) et du NPL (Teddington) nous a permis de bénéficier, lors de visites ou de stages, de l'expérience acquise par ces laboratoires dans le domaine de la radiométrie. Qu'ils soient ici remerciés pour l'aide qu'ils nous apportent.

### 5.1. Radiométrie (R. Köhler)

Il a paru intéressant d'aborder la radiométrie par la mise en œuvre des techniques liées aux photodiodes autocalibrées. Toutefois, le BIPM disposant déjà d'un radiomètre absolu de type bolométrique, la comparaison des deux méthodes pour la mesure du flux énergétique de différentes radiations d'un laser devrait nous permettre d'apprécier et d'améliorer rapidement la qualité des mesures effectuées.

Les longs délais de livraison des matériels nécessaires (laser à krypton ionisé, modulateur électro-optique, choix de photodiodes au silicium, micro-ordinateur, etc.) n'ont que peu retardé l'avancement des travaux : ils ont été mis à profit pour concevoir et construire les installations automatiques de mesure des photodiodes ou de contrôle de leurs propriétés (sensibilité locale, linéarité, facteur de réflexion par exemple). Début mai 1988, nous étions prêts à commencer la première mesure d'auto-étalonnage d'une série de photodiodes.

Nous avons travaillé à la longueur d'onde  $\lambda$  de 647,1 nm et à la puissance nominale de 1 mW, en effectuant dans l'ordre suivant les différentes opérations nécessaires pour connaître la sensibilité spectrale des diodes :

— Détermination du facteur de réflexion des huit photodiodes disponibles, quatre UDT\* et quatre EG&G\*\*. La mesure directe du facteur de réflexion normale  $\rho$  n'étant pas possible, nous avons procédé

---

\* UDT : United Detector Technology

\*\* EG&G : Edgerton, Germeshausen and Grier

sous incidence légèrement oblique et utilisé deux méthodes pour calculer  $\rho$ . Avec  $\rho$  de l'ordre de 8 à 9 %, les deux méthodes présentent un écart relatif systématique de 0,3 %. Mais la quantité qui nous intéresse est en fait  $1 - \rho$  dont l'écart (0,03 %) n'est plus significatif.

— Évaluation de la perte de signal « face arrière » des huit photodiodes, par polarisation de l'électrode arrière (terme correctif  $\varepsilon_R$ ).

— Évaluation de la perte de signal « face avant » de deux photodiodes EG&G, par polarisation de la couche de silice (terme correctif  $\varepsilon_0$ ). Cette dernière mesure, susceptible d'endommager ou de détruire les diodes, n'est effectuée que sur un nombre réduit de récepteurs ; elle est, par ailleurs, inutile avec les diodes UDT (type np).

On rappelle que la sensibilité spectrale  $S$  est donnée par

$$S = (1 - \rho) \varepsilon_0 \varepsilon_R \frac{\lambda}{K}, \quad \text{avec} \quad K = 1,239 5 \mu\text{m} \cdot \text{A/W}.$$

Le BIPM possédant deux thermopiles étalonnées au NPL (mais, malheureusement pas encore d'amplificateur adéquat), nous avons tenté un rattachement en effectuant la mesure des thermopiles directement ; ce rattachement a fait apparaître un désaccord systématique un peu supérieur à 1 % : il faudra donc reprendre ce type de comparaison ultérieurement, dans de meilleures conditions.

Finalement, nous avons eu l'occasion de comparer les huit photodiodes à un radiomètre absolu (ensemble de trois diodes polarisées et montées pour avoir un rendement quantique interne et externe égal à l'unité) appartenant à l'INM ; l'accord s'est alors révélé tout à fait satisfaisant (écart-type d'une mesure : 0,1 %).

Dans la perspective de comparaisons de lampes étalons d'éclairement énergétique spectral, le monochromateur double additif précédemment utilisé à la pyrométrie est en cours d'automatisation. De plus, nous avons fait l'acquisition d'une paire de réseaux qui permet d'étendre vers l'infrarouge le domaine spectral couvert par l'appareil.

## 5.2. Photométrie

### 5.2.1. Comparaison internationale (1985)

Rappelons qu'il s'agit d'étalons d'intensité et de flux lumineux appartenant à quinze laboratoires nationaux et que le BIPM a comparés.

À la suite de cette comparaison et pour être en accord avec la nouvelle définition de la candela (1979), plusieurs laboratoires et le BIPM ont procédé à des ajustements des valeurs attribuées aux étalons qu'ils utilisent pour répondre aux demandes d'étalonnage. Pour prévenir toute confusion, un tableau contenant les ajustements effectués et la



position relative de chaque laboratoire au 1<sup>er</sup> janvier 1988 a été établi et publié dans *Metrologia* \*.

Dans le rapport de 1987 (p. 63), nous indiquions que la comparaison des étalons d'intensité lumineuse avait fait apparaître une anomalie : les laboratoires qui avaient envoyé au BIPM des lampes des deux types prévus (Osram et NPL/GEC) se répartissaient en deux groupes distincts, en désaccord de 0,4 %, sur la façon d'apprécier le rapport des intensités lumineuses des deux types de lampes. Des mesures complémentaires effectuées à l'INM, au NPL et au BIPM n'ayant pas permis d'expliquer l'écart observé, un questionnaire établi par le NPL et destiné à préciser les conditions d'étalonnage des lampes dans les laboratoires nationaux a été envoyé aux quinze laboratoires participants. Les réponses à ce questionnaire n'ont pas, non plus, fourni l'explication souhaitée. Pendant ce temps, le BIPM a examiné l'influence du type de douille utilisé pour supporter les lampes, en étudiant la relation entre l'intensité lumineuse et la température du culot d'une lampe. Pour les deux types de lampes, on a observé que l'intensité lumineuse diminuait de 0,1 % lorsque la température du culot augmentait de 30 K environ. Une enquête est en cours auprès des laboratoires participants pour connaître la température du culot de leurs lampes lors des étalonnages.

### 5.2.2. Études courantes

En plus des vérifications nécessaires aux besoins du BIPM, six lampes étalons d'intensité lumineuse appartenant à la Yougoslavie ont été étalonnées.

## 6. Rayonnements ionisants (A. Allisy)

### 6.1. Dosimétrie (A. Allisy)

#### 6.1.1. Rayons X (A.-M. Perroche \*)

##### i) Comparaison d'étalons d'exposition

Une comparaison indirecte d'étalons d'exposition a été effectuée entre le BIPM et l'Australian Radiation Laboratory (ARL) dans le domaine des rayons X de moyenne énergie, à l'aide de deux chambres de transfert de type NEL (Nuclear Enterprises Ltd.). L'une de ces chambres avait déjà été utilisée comme instrument de transfert lors de la précédente comparaison, en 1979. Les résultats ne sont pas encore disponibles, l'ARL devant effectuer des mesures au retour des chambres en Australie.

---

\* BONHOURE, J. Photometric Standards of National Laboratories, *Metrologia*, **25**, 1988, p. 125.

ii) *Étalonnage de chambres d'ionisation*

Une chambre d'ionisation de type NEL, utilisée comme étalon secondaire d'exposition par l'Institut d'oncologie de Ljubljana (Yougoslavie), a été étalonnée à quatre qualités de référence dans le domaine des rayons X de faible et de moyenne énergie. Les facteurs d'étalonnage de cette chambre, qui avait déjà été étalonnée en 1983 et en 1985, ont peu varié au cours du temps (écarts inférieurs à 0,4 %).

Dans le domaine des rayons X de faible énergie, nous avons étalonné pour l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), Vienne, une chambre d'ionisation de type PTW ayant une bonne stabilité et qui est utilisée comme étalon secondaire d'exposition.

**6.1.2. Rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  (M. Boutillon, A.-M. Perroche\*, V. D. Huynh)**

i) *Comparaison d'étalons d'exposition*

Une comparaison indirecte entre l'étalon d'exposition de l'ARL et celui du BIPM a été effectuée à l'aide de l'une des deux chambres de transfert utilisées pour la comparaison dans le domaine des rayons X de moyenne énergie. Les résultats ne sont pas encore disponibles.

ii) *Étalonnage de chambre d'ionisation*

La chambre d'ionisation de type NEL appartenant à l'Institut d'oncologie de Ljubljana et qui a été étalonnée en exposition aux rayons X l'a été également dans le rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ . Nous avons constaté une excellente stabilité de cette chambre (écarts inférieurs à 0,01 % par rapport aux étalonnages de 1983 et 1985).

iii) *Dose absorbée*

— *Remplacement de la source intense de  $^{60}\text{Co}$*

La nouvelle source de  $^{60}\text{Co}$  utilisée pour les mesures de dose absorbée a été installée à la fin de septembre 1987. Son activité à cette date était 176 TBq. Cette source est plus compacte que la précédente car elle est formée de disques et non de grains; elle a le même diamètre (20 mm) mais sa longueur est 5,6 mm seulement (au lieu de 17 mm).

Après alignement du faisceau, nous avons constaté que la valeur du rapport  $D/X$  de la dose absorbée dans le graphite et de l'exposition, dans le plan de référence, était 0,3 % plus élevée que la valeur mesurée dans le précédent faisceau. Cet écart indiquait que les faisceaux n'avaient pas la même homogénéité. Après étude, nous avons constaté que le nouveau faisceau était trop large et légèrement dissymétrique. L'ouverture du collimateur et la position de la source ont été alors réajustées afin que le faisceau soit conforme aux conditions définies par la Section I

du CCEMRI <sup>(6.1)</sup> pour les comparaisons internationales de dose absorbée. L'écart sur le rapport  $D/X$  a été ainsi réduit à moins de 0,1 %.

D'autre part, des mesures et des calculs sont en cours pour déterminer la non-uniformité radiale du faisceau de cette nouvelle source dans le fantôme de graphite et en déduire le facteur de correction applicable à l'étalon de dose absorbée du BIPM.

— Dose absorbée dans le graphite

On s'est intéressé aux problèmes associés à la mesure de la dose absorbée effectuée à l'aide d'un calorimètre et, en particulier, à celui de l'influence des espaces ménagés autour de l'absorbeur et entre les différentes parties du calorimètre lui-même. Ces espaces, dont l'épaisseur est de l'ordre de 1 mm, sont nécessaires pour minimiser les échanges thermiques parasites entre l'absorbeur et son environnement. Ils n'ont pas d'effet sur le rayonnement primaire atteignant l'absorbeur, mais ils perturbent la fluence des photons qui sont diffusés à l'intérieur du graphite, modifiant ainsi l'énergie qui sera déposée dans l'absorbeur.

La détermination expérimentale de cet effet est assez délicate. Nous avons donc tenté de résoudre le problème en utilisant une méthode de calcul du type Monte-Carlo qui a l'avantage de pouvoir simuler assez parfaitement les conditions dans lesquelles les mesures de dose absorbée sont faites. Cependant, étant donné le faible ordre de grandeur de l'effet considéré, nous avons utilisé une technique de réduction de variance <sup>(6.2)</sup>, afin d'obtenir des résultats avec une faible incertitude et pour des temps de calcul raisonnables. Les conditions géométriques utilisées dans les calculs sont celles qui ont été définies par la Section I du CCEMRI en 1979 <sup>(6.1)</sup>.

L'effet de chacun de ces espaces a été ainsi déterminé pour différentes épaisseurs et à différentes profondeurs dans le graphite, en considérant un faisceau incident de 1,25 MeV ou le faisceau du BIPM pour lequel la fluence énergétique du rayonnement diffusé présent dans le faisceau représente 18 % de celle des photons directs. La figure 6.1 montre, par

TABLEAU 6.1

*Facteurs de correction calculés pour les calorimètres du NBS et du NPL*  
(Les incertitudes indiquées sont des écarts-types estimés)

« Profondeur » dans le graphite (g/cm <sup>2</sup> )	Présent travail		Valeurs expérimentales obtenues au NPL
	NBS	NPL	
5	1,0020 ± 0,0005	1,0033 ± 0,0005	1,0048 ± 0,0007
17	1,0050 ± 0,0005	1,0084 ± 0,0005	1,0100 ± 0,0007

<sup>(6.1)</sup> BIPM Com. cons. étalons mes. ray. ionisants (Section I), 5, 1979, p. R(1)5.

<sup>(6.2)</sup> HAMMERSLEY, J. M. and HANDSCOMB, D. C. Monte Carlo Method (Methuen, London) 1964.

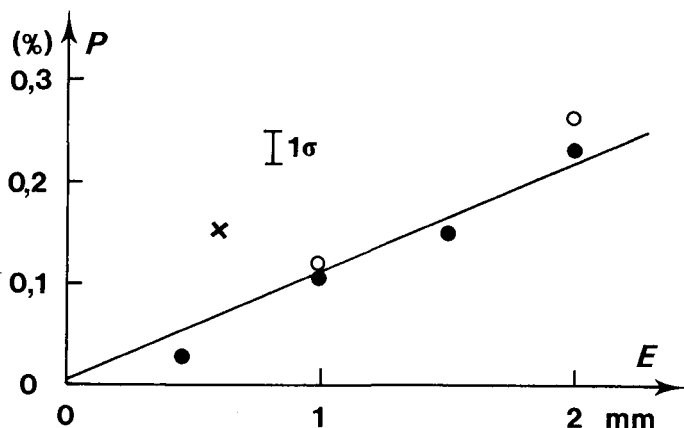


Fig. 6.1 — Perte relative,  $P$ , sur la dose absorbée mesurée à l'aide d'un calorimètre en graphite (diamètre 30 cm, longueur 20 cm), due à la présence d'un espace d'épaisseur  $E$  autour de l'absorbeur (diamètre 2 cm, épaisseur 0,5 cm).

● 1,25 MeV ○ faisceau du BIPM × valeur expérimentale du NPL.

exemple, les résultats obtenus à la « profondeur » de référence  $5 \text{ g/cm}^2$ , pour l'espace ménagé autour de l'absorbeur. Les facteurs de correction déterminés par cette méthode, qui sont applicables aux calorimètres du NBS et du NPL, sont donnés dans le tableau 6.1. On y indique également, pour comparaison, la valeur expérimentale obtenue au NPL. L'accord est acceptable, compte tenu des incertitudes estimées.

#### — Dose absorbée dans l'eau

Une comparaison indirecte de dose absorbée dans l'eau a eu lieu entre le BIPM et le NPL au moyen de dosimètres chimiques Fricke, d'une part, et de deux chambres de transfert du NPL, d'autre part.

Des ampoules de solution Fricke ont été préparées par le NPL. Quinze d'entre elles ont été placées dans le fantôme d'eau du BIPM et ont reçu des doses absorbées de 10 à 50 Gy ; vingt-quatre autres ampoules ont été irradiées au NPL et ont reçu des doses absorbées de 10 à 80 Gy. Le NPL a mesuré l'augmentation de l'absorbance de la solution Fricke due à l'irradiation et en a déduit un rapport des doses absorbées dans l'eau,  $(D_w)_{\text{NPL}}/(D_w)_{\text{BIPM}}$ , égal à 1,006, à la profondeur de 50 mm. L'incertitude relative estimée sur ce rapport est 0,45 % ( $1\sigma$ ).

Deux chambres de transfert du NPL, déjà utilisées dans la comparaison de 1987, ont été étalonnées dans les fantômes d'eau du NPL et du BIPM à la profondeur de 50 mm. La valeur du rapport  $(D_w)_{\text{NPL}}/(D_w)_{\text{BIPM}}$  est égale à 1,0042, l'incertitude relative estimée étant de 0,45 %. Ce résultat est en accord avec la valeur ci-dessus. Il n'est pas significativement différent de celui qui avait été obtenu en 1987, compte tenu des incertitudes.

Une irradiation de dosimètres thermoluminescents a été effectuée pour l'AIEA dans le fantôme d'eau du BIPM. Les dosimètres ont reçu

une dose absorbée égale à 2 Gy. La dose absorbée déterminée par l'AIEA est inférieure de 0,5 % à celle du BIPM. Cet écart est compatible avec l'écart de 0,35 % obtenu lors d'une précédente irradiation faite en février 1987.

iv) *Équivalent de dose*

Une étude expérimentale a été entreprise pour la détermination de l'équivalent de dose directionnel  $H'$ , à  $1 \text{ g/cm}^2$  en dessous de la surface de la sphère ICRU (en matériau équivalent au tissu, de masse volumique  $1 \text{ g/cm}^3$  et de diamètre 30 cm).

On a utilisé une sphère construite au BIPM (Rapport 1986, p. 83) et une petite chambre d'ionisation de type « dé à coudre » en matériau équivalent au tissu. Cette chambre est insérée dans une calotte en plexiglas constituant une partie de la sphère et son centre est à la position de référence P (fig. 6.2). On a vérifié expérimentalement que sa

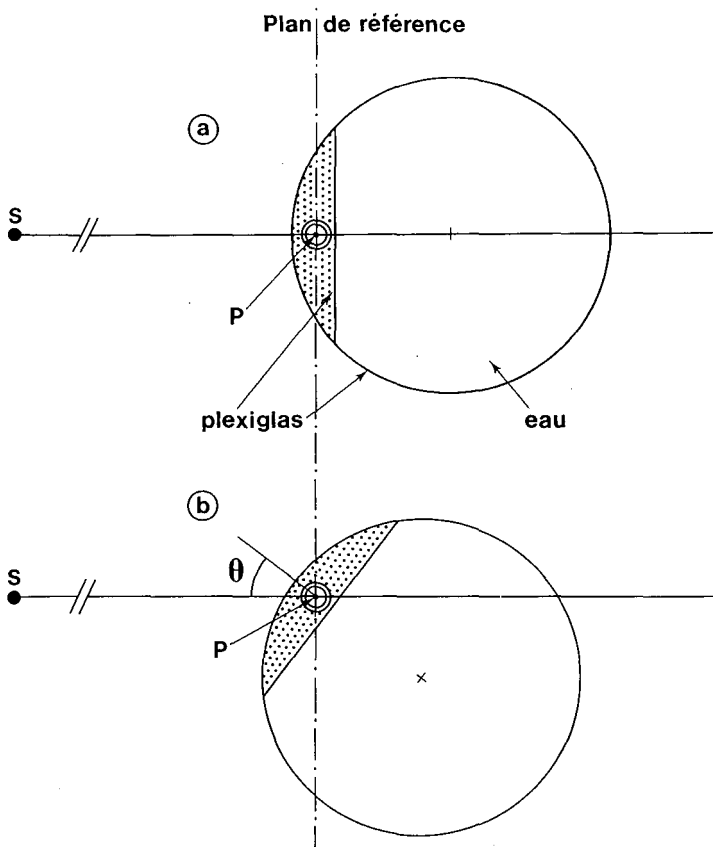


Fig. 6.2 — Mesure de l'équivalent de dose directionnel  $H'$ .

- a) Étalonnage de la chambre d'ionisation en équivalent de dose ambiant;
- b) Rotation de la sphère pour la mesure de  $H'_\theta$ .

réponse est indépendante de sa position autour de son axe de symétrie, ce qui permet de l'utiliser pour la détermination de l'équivalent de dose directionnel  $H'$ . La chambre est d'abord étalonnée en équivalent de dose ambiant, à la position de référence (fig. 6.2.a). On effectue ensuite une rotation de la sphère d'un angle  $\theta$  autour du point P (fig. 6.2.b) pour la mesure de l'équivalent de dose directionnel  $H'_\theta$ , à la position angulaire  $\theta$ .

Le débit d'équivalent de dose directionnel est donné par la relation

$$\dot{H}'_\theta = N_H I_\theta k_\theta,$$

où

$N_H$  est le facteur d'étalonnage en équivalent de dose ambiant, à la position  $\theta = 0^\circ$ ,

$I_\theta$  est le courant d'ionisation de la chambre et

$k_\theta$  est un facteur de correction qui tient compte de la variation, en fonction de l'angle  $\theta$ , de la perturbation due à la présence de la chambre et de la pièce de plexiglas dans la sphère. Les valeurs de ce facteur, déterminées par le calcul, sont données dans la figure 6.3.

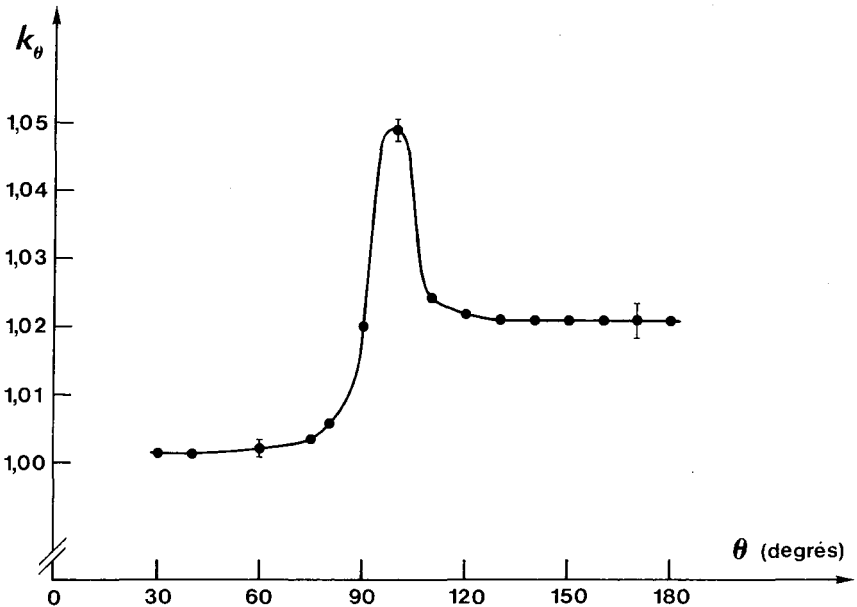


Fig. 6.3 — Valeurs du facteur de correction  $k_\theta$ .

On a ainsi mesuré  $H'_\theta$  pour un grand nombre de positions angulaires de la sphère. L'incertitude ( $1\sigma$ ) sur  $H'_\theta$  varie de 0,4 % à  $0^\circ$  à une valeur maximale de 1,4 % (à  $140^\circ$ ). Elle est due en grande partie au fait que la « sphère » n'a pas une sphéricité parfaite.

Nous avons comparé, pour quelques valeurs de l'angle  $\theta$ , les valeurs expérimentales du rapport  $H'_\theta/H'_0$  à celles que nous avons obtenues par calcul de Monte-Carlo. Les résultats, donnés dans le tableau 6.2, sont en bon accord, compte tenu des incertitudes. L'ensemble de ce travail est décrit dans le document CCEMRI(I)/88-15.

TABLEAU 6.2

*Rapports expérimentaux et théoriques  $H'_\theta/H'_0$   
des équivalents de dose directionnels*

$\theta$ (degrés)	$(H'_\theta/H'_0)_{\text{exp}}$	$\sigma$ (%)	$(H'_\theta/H'_0)_{\text{th}}$	$\sigma$ (%)	$\frac{(H'_\theta/H'_0)_{\text{exp}}}{(H'_\theta/H'_0)_{\text{th}}}$
0	1,000		1,000	—	
45	1,002	0,2	1,005	0,1	0,997
60	0,995	0,2	0,997	0,1	0,998
75	0,967	0,2	0,964	0,2	1,003
90	0,867	0,3	0,873	0,4	0,993
110	0,633	0,4	0,648	0,4	0,977
135			0,443	0,6	
180	0,321	0,6	0,313	0,7	1,025

### 6.1.3. Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

#### i) Comparaison internationale de mesures de débit de kerma

Rappelons que la comparaison internationale de mesures de débit de kerma dans un matériau équivalent au tissu (TE) est organisée par le BIPM avec circulation des instruments de transfert fournis par le BIPM. Huit laboratoires (dans l'ordre de participation : BIPM, TNO, NPL, PTB, ETL, NBS, IAEB et NIM) ont déjà pris part à la comparaison. Tous les participants utilisent une source de neutrons produite par la réaction  $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ . L'analyse des résultats est décrite dans un rapport préliminaire qui a été présenté à la huitième réunion de la Section III du CCEMRI, en avril 1988. Cependant, il ne faut pas oublier que la comparaison n'est pas terminée. Les instruments de transfert sont actuellement au BIPM où leur stabilité est vérifiée régulièrement, mais ils restent à la disposition des laboratoires nationaux qui souhaiteraient participer à la comparaison ultérieurement.

Le principe de la comparaison consiste à mesurer les valeurs de kerma, dans le champ mixte de neutrons et de photons de chaque laboratoire participant, avec l'équipement « local » et avec l'équipement du BIPM, ce dernier étant étalonné dans un faisceau de rayons  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  du BIPM, et avec les facteurs de correction déterminés par le BIPM. Le tableau 6.3 résume les résultats de l'analyse selon les différentes

TABLEAU 6.3

Comparaison des résultats de mesures du kerma dans le TE obtenus avec l'équipement local rapportés à ceux qui sont obtenus avec l'équipement du BIPM, ce dernier étant étalonné dans un faisceau de rayons  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  du BIPM, et avec les facteurs de correction déterminés par le BIPM

Laboratoire	$K_N$	$K_G$	$K_{\text{tot}}$
1) Combinaison (TE + GM)			
TNO	1,001 $\pm$ 0,024	0,849 $\pm$ 0,066	0,990 $\pm$ 0,021
NPL	1,004 $\pm$ 0,016	0,793 $\pm$ 0,173	1,001 $\pm$ 0,015
PTB	0,993 $\pm$ 0,023	1,093 $\pm$ 0,279	0,994 $\pm$ 0,021
ETL	1,052 $\pm$ 0,021	0,601 $\pm$ 0,210	1,045 $\pm$ 0,020
NBS	0,985 $\pm$ 0,033	0,620 $\pm$ 0,060	0,967 $\pm$ 0,030
IAEB1	1,008 $\pm$ 0,018	0,801 $\pm$ 0,101	1,004 $\pm$ 0,017
IAEB2	1,013 $\pm$ 0,018	0,906 $\pm$ 0,129	1,012 $\pm$ 0,017
NIM	1,004 $\pm$ 0,014	0,897 $\pm$ 0,048	0,999 $\pm$ 0,013
Moyenne	1,007 $\pm$ 0,022	0,815 $\pm$ 0,169	1,000 $\pm$ 0,024
Moyenne*	1,000 $\pm$ 0,009	0,851 $\pm$ 0,153	0,993 $\pm$ 0,014
2) Combinaison (TE + Mg/Ar)			
TNO	0,986 $\pm$ 0,038	1,039 $\pm$ 0,444	0,989 $\pm$ 0,021
NPL	1,014 $\pm$ 0,023	0,524 $\pm$ 0,389	1,001 $\pm$ 0,015
PTB	0,997 $\pm$ 0,030	0,794 $\pm$ 0,842	0,994 $\pm$ 0,021
ETL	1,049 $\pm$ 0,034	0,815 $\pm$ 1,159	1,045 $\pm$ 0,020
NBS	0,959 $\pm$ 0,049	0,724 $\pm$ 1,267	0,966 $\pm$ 0,030
IAEB1	1,016 $\pm$ 0,025	0,494 $\pm$ 0,435	1,004 $\pm$ 0,017
IAEB2	1,014 $\pm$ 0,025	0,878 $\pm$ 0,596	1,012 $\pm$ 0,017
Moyenne	1,004 $\pm$ 0,031	0,764 $\pm$ 0,170	1,000 $\pm$ 0,026
Moyenne*	0,994 $\pm$ 0,023	0,753 $\pm$ 0,188	0,992 $\pm$ 0,016

— IAEB1 et IAEB2 sont les valeurs obtenues par l'IAEB pour les angles de détection des neutrons de 45° et de 0°, respectivement ; les valeurs moyennes de la comparaison ont été calculées avec les valeurs IAEB qui sont les moyennes de IAEB1 et IAEB2.

\* Valeurs obtenues si les résultats de l'ETL ne sont pas inclus.

conditions de comparaison. Dans ce tableau, les résultats sont donnés respectivement pour la combinaison chambre équivalente au tissu + compteur Geiger-Müller (TE + GM) et pour la combinaison chambre TE + chambre Mg/Ar, et ils sont présentés sous forme de rapports des valeurs obtenues avec l'équipement local à celles qui sont obtenues avec l'équipement du BIPM.

On observe sur ce tableau qu'un excellent accord est obtenu pour les valeurs du kerma total,  $K_{\text{tot}}$ , et du kerma dû aux neutrons,  $K_N$ , — à une exception près (cas de l'ETL) qui sera discutée plus loin. Par contre, un écart relativement important est apparu pour les valeurs du



kerma de la composante  $\gamma$ ,  $K_G$ . Heureusement, la contribution de cette composante par rapport au kerma total est petite (1 à 6 %) pour tous les laboratoires participants ; ainsi son influence sur la détermination du kerma dû aux neutrons est également faible.

Revenons au cas de l'ETL où un écart d'environ 5 % a été observé entre ses valeurs de  $K_N$  et de  $K_{tot}$  et celles de l'ensemble des résultats obtenus par les autres laboratoires, qui sont en bon accord entre eux. Cet écart est-il réel ou serait-il dû, par exemple, à l'appareillage envoyé par le BIPM ? Cette dernière possibilité peut être exclue car, parallèlement à la comparaison citée ci-dessus, l'équipement du BIPM et l'équipement local ont été étalonnés de manière identique dans un champ de photons de chaque laboratoire participant. Les résultats de ces mesures faites à l'intérieur de chaque laboratoire, résumés dans le tableau 6.4, ont montré

TABLEAU 6.4

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

Laboratoire	$K_N$	$K_G$	$K_{tot}$
1) Combinaison (TE + GM)			
TNO	1,005 ± 0,030	0,922 ± 0,110	1,000 ± 0,026
NPL	1,005 ± 0,018	0,734 ± 0,161	1,000 ± 0,017
PTB	1,000 ± 0,029	1,027 ± 0,228	1,000 ± 0,028
ETL	1,008 ± 0,025	0,643 ± 0,230	1,003 ± 0,024
NBS	0,995 ± 0,045	0,615 ± 0,066	0,976 ± 0,041
IAEB1*	0,994 ± 0,021	0,827 ± 0,111	0,991 ± 0,020
IAEB2*	1,000 ± 0,021	0,942 ± 0,143	0,999 ± 0,020
NIM	1,004 ± 0,015	0,915 ± 0,076	1,000 ± 0,013
Moyenne	1,002 ± 0,005	0,820 ± 0,157	0,996 ± 0,009
2) Combinaison (TE + Mg/Ar)			
TNO	0,985 ± 0,049	1,291 ± 0,877	0,999 ± 0,026
NPL	1,011 ± 0,025	0,589 ± 0,445	1,001 ± 0,017
PTB	1,001 ± 0,037	0,895 ± 1,046	1,000 ± 0,028
ETL	0,998 ± 0,037	1,458 ± 2,439	1,003 ± 0,024
NBS	0,969 ± 0,067	0,748 ± 1,629	0,974 ± 0,041
IAEB1*	0,996 ± 0,028	0,682 ± 0,671	0,991 ± 0,020
IAEB2*	0,995 ± 0,028	1,258 ± 1,078	0,998 ± 0,020
Moyenne	0,993 ± 0,015	0,992 ± 0,328	0,995 ± 0,011

\* IAEB1 et IAEB2 sont les valeurs obtenues par l'IAEB pour les angles de détection des neutrons de 45° et de 0°, respectivement ; les valeurs moyennes de la comparaison ont été calculées avec les valeurs IAEB qui sont les moyennes de IAEB1 et IAEB2.

qu'un excellent accord existe entre les valeurs de  $K_N$  et de  $K_{tot}$  obtenues avec les deux équipements dans tous les laboratoires participants, y compris l'ETL.

En conclusion, on a mis en évidence l'intérêt de cette comparaison internationale. En effet, elle a montré que, même s'il y a un accord satisfaisant entre les résultats des mesures faites dans un laboratoire donné en utilisant plusieurs dosimètres, mais étalonnés de manière identique dans un champ de photons, ces dosimètres utilisés et étalonnés indépendamment dans un autre laboratoire peuvent donner des résultats très différents. Cela souligne l'importance du rôle joué par le BIPM qui a organisé cette comparaison internationale, fourni les dosimètres servant d'instruments de transfert de référence et analysé les résultats des mesures.

## 6.2. Radionucléides (J. W. Müller)

Dans leur ensemble, les travaux effectués dans le domaine des mesures d'activité sont étroitement liés aux comparaisons internationales de radionucléides dont l'organisation et l'analyse nous incombent. Cela ne concerne pas seulement les mesures préparatoires, nécessaires pour nous familiariser avec les particularités du nucléide sélectionné et nous permettre ainsi de participer aux mesures comparatives à part entière ; il s'agit aussi de profiter de l'occasion pour améliorer nos techniques habituelles et essayer d'introduire de nouvelles méthodes de mesure. L'importance que l'on doit attribuer à une analyse de plus en plus complète des résultats nous impose leur traitement informatique, ce qui demande des efforts particuliers.

Par ailleurs, l'exploitation des nouvelles possibilités offertes par l'introduction pratique de temps morts de type généralisé a été poursuivie activement. Enfin, le Système international de référence (SIR), qui permet aux participants un excellent contrôle de leurs mesures, continue à jouer un rôle très apprécié.

### 6.2.1. Mesures d'activité (G. Ratel, J. W. Müller)

#### i) Comparaisons internationales de mesures d'activité

a)  $^{109}\text{Cd}$ . — Le projet d'analyse de cette comparaison internationale avait été présenté, en juin 1987, à la neuvième réunion de la Section II (Mesure des radionucléides) du CCEMRI, au cours de laquelle il avait été soigneusement discuté. Le rapport final, qui tient compte des remarques faites par les membres de la Section II et par les participants à la comparaison, est maintenant disponible (Rapport BIPM-88/4).

b)  $^{125}\text{I}$  (comparaison restreinte). — Le projet de rapport de cette comparaison avait été également soumis à la Section II du CCEMRI

en 1987. Au début de l'année 1988, on a élaboré la version finale dans laquelle sont incorporés les commentaires reçus (Rapport BIPM-88/2). Ce rapport a été joint, comme document de travail, aux formulaires de consignation des résultats adressés, début mars 1988, aux laboratoires qui participent à la comparaison à grande échelle de ce radionucléide.

c)  $^{125}\text{I}$  (comparaison internationale). — Le succès de la comparaison restreinte de  $^{125}\text{I}$  et l'importance de ce radionucléide dans divers domaines de la médecine et de l'industrie ont décidé la Section II du CCEMRI à entreprendre une comparaison à grande échelle. La solution radioactive a été fournie par le NBS, contrôlée et mise en ampoules par l'OMH et distribuée, début mai 1988, par le LMRI. La concentration de la solution d'iode retenue pour la distribution des ampoules est identique à celle qui avait été utilisée lors de la comparaison préliminaire. Toutefois, étant donnés les désaccords importants qui existent entre les valeurs déterminées pour la période de décroissance de ce radionucléide ( $T_{1/2}$  est de l'ordre de 60 jours), il a été recommandé aux 19 participants de procéder aux mesures à une date aussi rapprochée que possible de la date de référence (1988-06-15) et de mentionner leurs dates de mesure dans leur compte rendu. Le BIPM exprime sa gratitude aux laboratoires nationaux qui ont rendu cette comparaison possible.

ii) *Participation du BIPM à la comparaison internationale de  $^{125}\text{I}$*

Lors de la comparaison restreinte de  $^{125}\text{I}$ , le BIPM avait choisi la méthode décrite par Eldridge et Crowther<sup>(6.3)</sup>, qui est d'une élégante simplicité et ne requiert que l'usage d'un seul photomultiplicateur. Afin d'étayer la détermination de l'activité de la solution de  $^{125}\text{I}$  et d'élucider les différences constatées dans les résultats obtenus en appliquant cette méthode, il a été décidé de mettre également en œuvre la méthode proposée par Taylor<sup>(6.4)</sup>.

Indiquons brièvement le principe de ce procédé expérimental. Le schéma de désintégration du  $^{125}\text{I}$ , reproduit dans la figure 6.4, indique la nature et les caractéristiques principales des rayonnements ionisants en présence. Si nous enregistrons dans un analyseur multicanal les impulsions produites par la source de  $^{125}\text{I}$  placée au voisinage d'un seul photomultiplicateur, nous obtenons un spectre semblable à celui qui est présenté sur la figure 6.5 et la décomposition spectrale en deux raies bien distinctes permet d'utiliser la méthode d'Eldridge et Crowther. Dans la méthode de Taylor, on utilise les coïncidences entre les impulsions fournies par deux photomultiplicateurs situés à  $180^\circ$  de part et d'autre d'une source de  $^{125}\text{I}$  (fig. 6.6). Chaque photomultiplicateur

---

<sup>(6.3)</sup> ELDRIDGE, J. S. and CROWTHER, P. Absolute determination of  $^{125}\text{I}$ . *Nucleonics*, **22**, 6, 1964, pp. 56-59.

<sup>(6.4)</sup> TAYLOR, J. G. V. X-ray-X-ray coincidence counting methods for the standardization of  $^{125}\text{I}$  and  $^{197}\text{Hg}$ , in *Standardization of Radionuclides* (IAEA, Vienna) 1967, pp. 341-354.

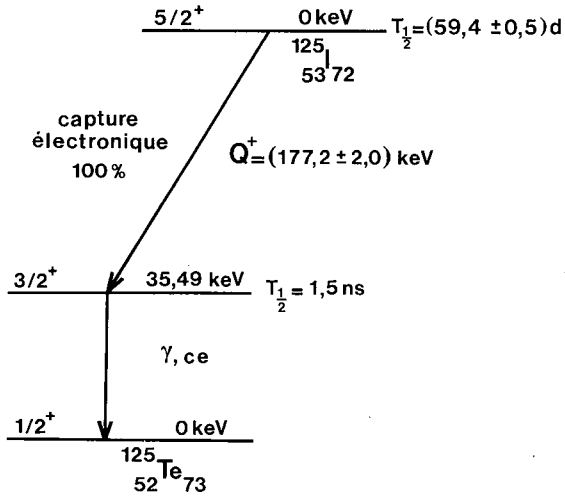


Fig. 6.4 — Schéma de désintégration du  $^{125}\text{I}$ .

La capture électronique et la conversion électronique (ce) créent l'une et l'autre une lacune dans le cortège électronique du  $^{125}\text{Te}$ , suivie par l'émission de rayons X d'énergie 28 keV qui n'apparaissent pas sur la figure 6.4.

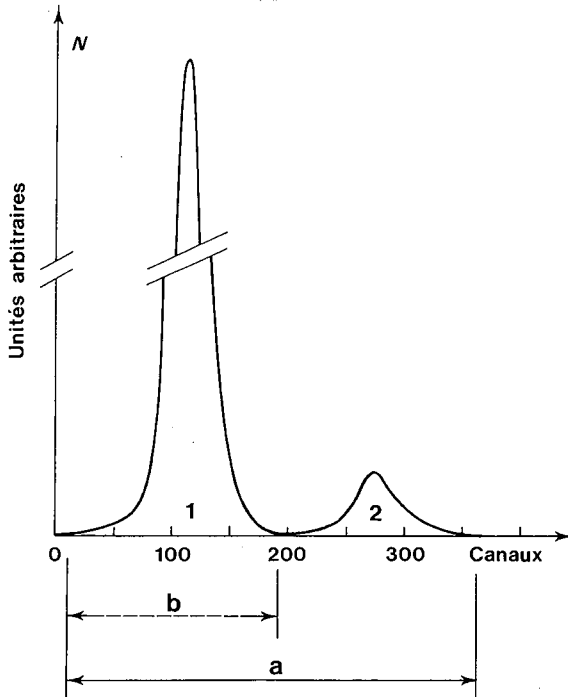


Fig. 6.5. — Spectre typique du  $^{125}\text{I}$ .

La raie 1 située vers 28 keV donne la somme des événements individuels; la raie 2 située vers 56 keV donne la somme des événements en coïncidence. Les lettres a et b définissent les fenêtres dont il est question dans le texte.

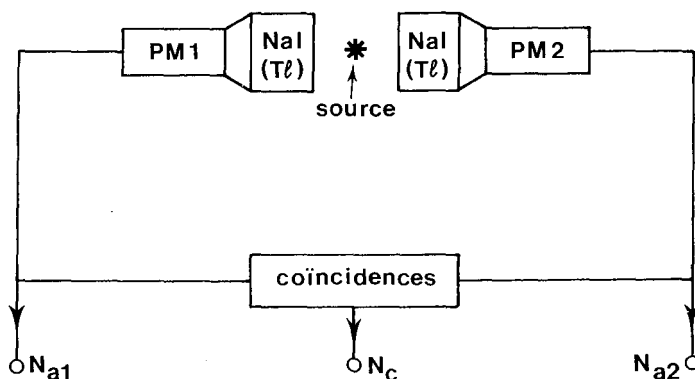


Fig. 6.6. — Vue schématique du dispositif expérimental utilisé pour la comparaison internationale de  $^{125}\text{I}$  lorsque la méthode Taylor (<sup>64</sup>) est appliquée. Les taux de comptage  $N_{a1}$ ,  $N_{a2}$  et  $N_c$  sont expliqués dans le texte.

détecte un spectre analogue à celui de la figure 6.5. Il est alors possible de choisir une fenêtre sur ce spectre, mais celle-ci doit être identique pour les deux voies. Le premier type de fenêtre (cas a) englobe la raie 1 donnant la somme des événements individuels et la raie 2 donnant la somme des événements en coïncidence. Le deuxième type de fenêtre (cas b) se limite à la première raie du spectre.

Quelle que soit la fenêtre choisie, le nombre d'événements coïncidants ( $N_c$ ) entre les deux voies de mesure est également enregistré. Si nous nous limitons au cas a, l'activité de la source peut se calculer au moyen de l'expression

$$N_0 = \frac{4K}{(1 + K)^2} \left[ N_{a1} + \frac{N_c}{2} \left( \frac{1 - N_c/2N_{a2}}{1 - N_c/2N_{a1}} \right) \right] \left[ N_{a2} + \frac{N_c}{2} \left( \frac{1 - N_c/2N_{a1}}{1 - N_c/2N_{a2}} \right) \right] \frac{1}{2N_c},$$

où  $K = 1,0978$ .

Le paramètre  $K$  dépend des probabilités d'émission des rayonnements X et  $\gamma$  concernés par la mesure, probabilités dont les valeurs sont tirées des publications scientifiques. Il est facile de vérifier que la fonction  $K/(1 + K)^2$  est peu sensible à des variations de  $K$  au voisinage de  $K = 1$ .

Cependant, la valeur obtenue pour  $N_0$  dépend fortement du nombre des coïncidences fortuites. Pour diminuer leur nombre sans affecter les coïncidences vraies, un réglage très précis du temps de résolution dans le circuit de coïncidence s'impose. La valeur  $\tau_R = 0,234 \mu\text{s}$  a été choisie.

Les mesures ont été faites en mai et juin et leur exploitation est en cours.

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

Depuis un an, seize ampoules de solutions radioactives en provenance de neuf laboratoires ont été expédiées au BIPM pour y être mesurées. Elles concernent neuf radionucléides différents, à savoir  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{75}\text{Zn}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{110}\text{Ag}^m$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{201}\text{Tl}$ , et confirment l'intérêt constant porté à ce système qui a maintenant douze ans d'existence.

À la demande de la PTB, qui avait observé un comportement anormal d'une de ses chambres d'ionisation  $4\pi\gamma$ , on a fait une étude approfondie du comportement des chambres d'ionisation utilisées par le SIR en fonction de la variation de la tension appliquée à ses bornes. Aucun effet perturbateur particulier n'a pu être décelé pendant ce contrôle, au cours duquel la reproductibilité des mesures est restée excellente.

iv) *Activités diverses*

Tout au long de l'année, un effort important a été consacré à l'automatisation de l'acquisition des données expérimentales et à leur traitement informatique immédiat. En fait, deux méthodes ont été mises au point simultanément. La première consiste à gérer à l'aide de l'ordinateur plusieurs échelles de comptage : l'ordinateur déclenche le comptage, lit les données qui y sont contenues après chaque cycle et calcule l'activité pendant que l'échelle poursuit l'enregistrement des données. Dans la deuxième méthode, l'ordinateur exploite un sélecteur multicanal : les spectres obtenus sont transférés automatiquement sur l'ordinateur qui les analyse. Ces réalisations ont nécessité un gros travail informatique mais semblaient s'imposer afin que nous soyons bien équipés sur le plan technique pour participer à la comparaison internationale de  $^{125}\text{I}$ . Un traitement automatisé des données obtenues par le SIR est également à l'étude.

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

Pour illustrer les progrès accomplis dans la description des effets dus à l'emploi de temps morts de type généralisé, nous esquisserons deux développements qui montrent comment une extension peut conduire à une unification de formules qui semblaient avoir peu de points communs. Un effort majeur a aussi été investi pour arriver à une meilleure description d'un arrangement de deux temps morts en série où chacun est de type généralisé. Or ces études, souvent fastidieuses, ne se prêtent pas à une description brève et compréhensible.

i) *Effet d'un temps mort généralisé pour une source décroissante*

L'activité d'une source radioactive diminue inévitablement en fonction du temps mais, dans bien des applications, cet effet n'est guère gênant

ou se corrige aisément. Cependant, il y a des exceptions importantes. Ainsi, pour atteindre une précision statistique suffisante, on est amené soit à travailler avec des activités très élevées (ce qui entraîne de nouvelles difficultés), soit à étendre la durée de la mesure. Dans ce dernier cas, le temps de mesure  $T$  peut devenir comparable à la période du radionucléide et il faut alors en tenir compte.

L'évaluation rigoureuse des effets combinés dus à la décroissance et au temps mort utilisé a été faite, il y a longtemps, par Axton et Ryves<sup>(6.5)</sup> dans un travail qui est encore souvent cité. Le point de départ est un taux originel décrit par

$$\rho(t) = \rho_0 e^{-\lambda t} + \rho_b,$$

où  $\rho_0$  est le taux de comptage dû à la source au début de la période de mesure ( $t = 0$ ),  $\rho_b$  est le mouvement propre (supposé constant) et  $1/\lambda$  la vie moyenne du nucléide étudié. La grandeur qui est effectivement mesurée est le taux moyen pour la durée de l'observation et peut donc être représentée par l'intégrale

$$\bar{R} = \frac{1}{T} \int_0^T R(t) dt,$$

si  $R(t)$  désigne le taux momentané à la sortie du temps mort imposé. Le résultat se présente sous deux formes différentes qui dépendent du type de temps mort. On obtient

— pour un temps mort  $\tau$  non étendu (n) :

$${}_n\bar{R} = \frac{1}{1 + x_b} \left\{ x_b + \frac{1}{\lambda T} \ln \left[ \frac{1 + x_0 + x_b}{1 + \lambda x_0 + x_b} \right] \right\},$$

— pour un temps mort  $\tau$  étendu (e) :

$${}_e\bar{R} = \frac{e^{-x_b}}{\lambda T} \{ e^{-\lambda x_0} - e^{-\lambda x_0} + x_b [E_1(\lambda x_0) - E_1(x_0)] \},$$

où

$$x_0 = \rho_0 \tau, \quad x_b = \rho_b \tau, \quad \lambda = e^{-\lambda \tau}$$

et

$$E_1(z) = \int_1^\infty \frac{e^{-zt}}{t} dt \text{ est l'intégrale exponentielle.}$$

On peut être tenté de voir si un résultat analogue se déduit également pour un temps mort généralisé, décrit par  $\tau$  et le paramètre  $0 \leq \theta \leq 1$ , bien que le succès d'une telle tentative soit loin d'être assuré, vu la différence dans la structure des formules connues pour les deux cas limites  $\theta = 0$  et  $\theta = 1$ .

<sup>(6.5)</sup> AXTON, E. J. and RYVES, T. B. Dead-time corrections in the measurement of short-lived radionuclides. *Int. J. App. Rad. Isotopes*, **14**, 1963, pp. 159-161.

Il se trouve que tous les obstacles de parcours ont pu être surmontés et le résultat ainsi obtenu, valable pour un paramètre  $\theta$  (et  $\lambda > 0$ ), s'écrit sous la forme :

$${}^{\theta}\bar{R} = \alpha \left[ \frac{x_0}{\lambda T} (1 - A) + x_b \right] + \frac{\alpha}{\lambda T} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-x_0)^n}{n!} \left[ x_0 \left( \frac{1 - A^{n+1}}{n+1} \right) + x_b \left( \frac{1 - A^n}{n} \right) \right] \sum_{k=1}^n k! S(n,k) (-\theta)^{n-k} \beta^k \right\},$$

dans laquelle on a utilisé les abréviations

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{e^{\theta x_b} - 1}{\theta} \quad \text{et} \quad \beta = \alpha e^{\theta x_b},$$

tandis que  $S(n,k)$  est un nombre de Stirling de seconde espèce.

La dérivation de cette généralisation, dont l'emploi pratique à l'aide d'un petit programme d'ordinateur est moins compliqué qu'on ne pourrait le craindre, est trop longue pour être présentée ici ; les détails techniques se trouvent dans le Rapport BIPM-88/1, où l'on indique également les passages à la limite (qui ne sont pas toujours évidents) pour les cas particuliers  $\theta = 0$  ou 1, de même que pour  $\lambda = 0$ , complétant ainsi le travail original qui se contentait d'indiquer les résultats.

ii) *Une dérivation élémentaire de la formule de Takács*

L'expression qui donne le taux de comptage  $R$  à la sortie d'un temps mort généralisé pour un processus de Poisson à l'entrée, avec taux  $\rho$ , est devenue une relation de base. Il est regrettable, par conséquent, que peu d'utilisateurs éventuels aient la possibilité de la vérifier et donc de l'appliquer en bonne conscience. Cette situation est due au fait que la voie traditionnelle utilisée pour sa dérivation est assez tortueuse : c'est à partir de la transformée de Laplace de la densité des intervalles que l'on peut former les moments  $m_r(t)$  d'ordre  $r$  par dérivations successives. Puisque la distance moyenne entre événements observés détermine le taux à la sortie du dispositif de mesure, on a la relation  $R = 1/m_1(t)$ . Cependant, la transformée de Laplace est difficile à obtenir et il en résulte que l'acceptation de la formule de Takács devient trop souvent une question de confiance.

Nous avons trouvé une façon de contourner ces difficultés. Elle utilise un raisonnement que W. Feller <sup>(6.6)</sup> a décrit il y a fort longtemps dans un autre contexte, mais qui s'adapte facilement à nos besoins. Si,

<sup>(6.6)</sup> FELLER, W. On probability problems in the theory of counters, in *Studies and Essays* (Courant Anniversary Volume, Interscience, New York), 1948, pp. 105-115.



au lieu d'associer les temps morts étendus aux impulsions d'entrée, comme on a l'habitude de le faire, on les lie à celles de la sortie, on évite leur superposition et on arrive à avoir des pertes indépendantes. Par contre, la durée de la paralysie n'est alors plus constante, mais devient une variable aléatoire. C'est pour cette grandeur que Feller a évalué la transformée de Laplace. Ce nouveau temps mort « effectif » dépasse la valeur nominale  $\tau$  du temps mort d'un montant que l'on peut appeler extension, et Feller a prouvé que sa valeur moyenne est

$$\eta = \frac{1}{\rho} (e^{\rho\tau} - 1 - \rho\tau),$$

où  $\rho$  est le taux originel du processus de Poisson à l'entrée du dispositif. Pour un temps mort purement cumulatif, la durée effective à associer à une impulsion sortante est donc

$$\tau_{\text{eff}} = \tau + \eta = \frac{1}{\rho} (e^{\rho\tau} - 1).$$

L'utilisation de cette relation pour un temps mort généralisé est immédiate. Il suffit de se rappeler, puisque  $\theta$  est la probabilité qu'un temps mort soit du type étendu, que seules des impulsions suivies d'un temps mort de ce type peuvent contribuer à une extension. Cela revient à remplacer  $\rho$  par  $\theta\rho$  et donne pour le modèle généralisé un temps mort de durée moyenne

$${}^{\theta}\tau_{\text{eff}} = \frac{1}{\theta\rho} (e^{\theta\rho\tau} - 1).$$

Puisque les périodes de paralysie, maintenant associées aux impulsions de sortie, suppriment des événements de la séquence initiale à taux de comptage  $\rho$ , la relation entre taux d'entrée  $\rho$  et taux de sortie  $R$  est donnée par

$$R = \rho - R_{\theta}\tau_{\text{eff}}\rho,$$

d'où l'on déduit immédiatement

$$R = \frac{\theta\rho}{e^{\theta\rho\tau} + \theta - 1}.$$

Ce résultat est la formule recherchée de Takács.

Notons que l'approche décrite permet d'autres applications, en particulier dans le cas de certains problèmes impliquant l'arrangement en série de deux temps morts dont l'un au moins est de type généralisé.

### iii) *Autres travaux*

Dans la tentative à long terme d'arriver à une caractérisation suffisamment complète du facteur de transmission  $T_1$  qui décrit le comportement de deux temps morts arrangés en série, une étape intermédiaire a pu être franchie dans le Rapport BIPM-87/5.

Des affirmations persistantes, prétendant que les formules habituellement utilisées pour l'évaluation des coïncidences fortuites seraient erronées, nous ont amenés à clarifier la situation dans le Rapport BIPM-87/6. Un article plus étendu sur le même sujet, écrit en collaboration avec D. Smith (NPL), où l'on réfute ces assertions, a été soumis pour publication. La question mineure de savoir s'il vaut mieux, en principe, associer les pertes de comptage aux impulsions d'entrée ou de sortie est tranchée dans la note BIPM WPN-232 en faveur de la deuxième proposition.

En ce qui concerne l'expression des incertitudes expérimentales, la situation a peu évolué et notre apport s'est limité à une contribution lors d'un colloque à Braunschweig (RFA). Par contre, l'élaboration d'un rapport pour l'ICRU, intitulé « Fundamentals of particle counting », est entrée dans une phase décisive et demande une attention soutenue.

## 7. Thermométrie (J. Bonhoure)

### 7.1. Études courantes

On a effectué le contrôle de la résistance à 0 °C de quelques thermomètres à résistance de platine qui sont utilisés à la section des masses et à la section d'électricité.

On a aussi étalonné deux sondes à résistance de platine pour les besoins de la section de photométrie.

## 8. Publications

### *Publications du BIPM*

Depuis octobre 1987 ont été publiés :

*18<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures (1987), Comptes rendus*, 108 pages.

*Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*, tome 55 (76<sup>e</sup> session, octobre 1987), 178 pages.

*Comité consultatif de photométrie et radiométrie*, 11<sup>e</sup> session (1986), 183 pages.

*Comité consultatif d'électricité*, 17<sup>e</sup> session (1986), 189 pages.

*Comité consultatif de thermométrie*, 16<sup>e</sup> session (1987), 162 pages.

*Rapport annuel du BIH pour 1987* (72 pages environ pour la contribution du BIPM sur les échelles de temps).

*Circulaire D du BIH* (mensuelle) (contribution du BIPM sur les échelles de temps).

*Circulaire T* (mensuelle), circulaire du BIPM prenant la suite de la partie « Temps » de la circulaire D du BIH (la circulaire T1 couvrant janvier 1988 est parue le 1<sup>er</sup> mars 1988).

*Le BIPM et la Convention du Mètre*, brochure illustrée en couleurs, bilingue français-anglais, 47 pages, qui a été très largement distribuée par l'intermédiaire de plusieurs laboratoires nationaux.

*Metrologia* (R.P. Hudson)

Au mois de février 1988, le bureau du CIPM a invité le rédacteur de *Metrologia* afin de discuter du déclin lent mais continu du nombre d'abonnés et des éventuelles possibilités d'y porter remède. Bien qu'il soit peu probable que la situation économique se modifie dans un avenir prévisible, il est peut-être possible de rendre le journal plus intéressant pour un plus grand nombre de lecteurs, et la discussion s'est centrée dans cette direction. Depuis lors, des lettres ont été envoyées au Comité de rédaction de la revue sollicitant l'aide de ses membres afin de trouver des auteurs pour une série d'articles portant sur la dissémination pratique des unités de base telle qu'elle fonctionne tout au long de la chaîne de mesure à partir des laboratoires primaires. Des articles généraux, traitant par exemple des initiatives les plus importantes que le CIPM a prises récemment en métrologie, seront également sollicités. Lorsqu'un certain nombre de ces articles d'intérêt plus général auront paru, Springer Verlag intensifiera et élargira sa campagne de publicité.

L'éditeur a décidé de faire passer à 260 le nombre de pages d'un volume annuel, nombre de pages longtemps maintenu à 200.

*Publications extérieures*

GIACOMO, P. News from the BIPM. *Metrologia*, **25**, 1988, pp. 113-119.

GIACOMO, P. Nouvelles du BIPM. *Bulletin BNM*, N° 72, 1988, pp. 17-22.

HAMON, J., GIACOMO, P. and CARRÉ, P. International comparison of measurements of line scales (1976-1984). *Metrologia*, **24**, 1987, pp. 187-194.

GIACOMO, P. Introduction à la métrologie ; incertitudes ; coopération internationale. In Unités de mesure et constantes physiques, 30<sup>e</sup> cours de perfectionnement de l'Association vaudoise des chercheurs en physique, Batato, M., Behn, R., Loude, J. F., Wessen, H. eds., Lausanne, 1988, pp. I.2-I.20.

GIACOMO, P. Lasers, vitesse de la lumière et définition du mètre. *Ibid.*, pp. IV.3-IV.21.

GIACOMO, P. Mesures de longueur et interférométrie. *Ibid.*, pp. IV.22-IV.40.

GIACOMO, P. Le kilogramme, unité sans problème ? *Ibid.*, pp. IV.41-IV.57.

GIACOMO, P. L'accélération due à la pesanteur. *Ibid.*, pp. IV.58-IV.69.

GIACOMO, P. The Michelson Interferometer, *Mikrochimica Acta*, 1987, pp. 19-31.

GIACOMO, P. The Kilogram and the Metre; Present Problems, INSYMET 88, Bratislava (Tchécoslovaquie).

MARTIN, J. E., QUINN, T. J., CHU, B. Further measurements of thermodynamic temperature using a total radiation thermometer: the range  $-130^{\circ}\text{C}$  to  $+60^{\circ}\text{C}$ . *Metrologia*, **25**, 1988, pp. 107-112.

ALLISY A. and MÜLLER, J. W. Evaluation of uncertainties. Appendix A. In Absorbed dose determination in photon and electron beams. An international Code of Practice. IAEA Technical Reports Series No. 277 (International Atomic Energy Agency, Vienna, 1987), pp. 73-77.

GUINOT, B. Some properties of algorithms for atomic time scales, *Metrologia*, **24**, 1987, pp. 195-198.

GUINOT, B. Atomic time scales for pulsar studies and other demanding applications, *Astron. Astrophys.*, **192**, 1988, pp. 370-373.

GUINOT, B., SEIDELMANN, P. K. Time scales — Their history, definition and interpretation, *Astron. Astrophys.*, **194**, 1988, pp. 304-308.

CAPITAINE, N., GUINOT, B., A non-rotating origin on the instantaneous equator. In The Earth's rotation and reference frames for Geodesy and Geodynamics, A. K. Babcock and G. A. Wilkins eds., 1988, Reidel, pp. 33-38.

GUINOT, B. Mesure du temps et des fréquences, horloges atomiques. In Unités de mesure et constantes physiques, 30<sup>e</sup> cours de perfectionnement de l'Association vaudoise des chercheurs en physique, 1988, pp. III-1 à III-44.

CACCIANI, P., LIBERMAN, S., LUC-KOENIG, E., PINARD, J., THOMAS, C. Rydberg atoms in parallel magnetic and electric fields: I Experimental studies of the odd diamagnetic multiplet of lithium; n-mixing and core effects, *J. Phys. B*, **21**, 1988, pp. 3473-3498.

CACCIANI, P., LIBERMAN, S., LUC-KOENIG, E., PINARD, J., THOMAS, C. Rydberg atoms in parallel magnetic and electric fields: II Theoretical analysis of the Stark structure of the diamagnetic manifold of hydrogen, *J. Phys. B*, **21**, 1988, pp. 3499-3522.

CACCIANI, P., LIBERMAN, S., LUC-KOENIG, E., PINARD, J., THOMAS, C. Rydberg atoms in parallel magnetic and electric fields: III Experimental investigations of the Stark structure of the diamagnetic manifold of lithium, *J. Phys. B*, **21**, 1988, pp. 3523-3545.

CLAIRON, A., DE CLERCQ, E., DAHMANI, B., GERARD, A., THOMAS, C. Light pressure effects on an optically pumped cesium beam frequency standard, *Proc. 2nd European Freq. and Time Forum*, 1988, pp. 499-511.

GUINOT, B., LEWANDOWSKI, W. Use of GPS time transfer at the Bureau International des Poids et Mesures, *Proc. 19th PTTI* (Dec. 1987), 1988, pp. 3-12.

GUINOT, B., LEWANDOWSKI, W. Nanosecond time comparisons in Europe using the GPS, *Proc. 2nd European Freq. and Time Forum*, 1988, pp. 187-193.

MÜLLER, J. W. Messunsicherheiten — ein persönlicher Rück- und Ausblick. In PTB-Bericht PTB-FMRB-118 (Vorträge des 79. PTB-Seminars) 1988, pp. 19-34.

WITT, T. J., DELAHAYE, F. and BOURNAUD, D. The 1987 international comparison of one-ohm resistance standards at the BIPM and the resulting agreement among determinations of  $R_H$ , *CPEM Digest*, 1988, pp. 306-307.

WITT, T. J. An accurate determination of  $2e/h$  in Y-Ba-Cu-O Josephson junctions, *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 1988, pp. 1423-1426.

DELAHAYE, F. Present state of quantized-Hall-resistance metrology, *Metrologia*, **25**, 1988, pp. 73-79.

DELAHAYE, F., SATRAPINSKY, A. and WITT, T. J. Recent determinations of  $R_H$  in terms of  $\Omega_{69-BI}$ . *CPEM 88 Digest*, 1988, pp. 311-312.

SPEAKE, C. C. and GILLIES, G. T. The beam balance as a detector in experimental gravitation. *Proc. R. Soc. London*, **A 414**, 1987, pp. 315-332.

SPEAKE, C. C. Fundamental limits to mass comparison by means of a beam balance. *Proc. R. Soc. London*, **A 414**, 1987, pp. 333-358.

SPEAKE, C. C. Optimum positioning of attracting masses in the Heyl-type determination of the Newtonian gravitational constant. *Metrologia*, **24**, 1987, pp. 97-99.

SPEAKE, C. C. and LAWRENCE, M. Dynamical precision angle measurement using an acousto-optic beam deflector, *J. Opt. Soc. of America A*, **5**, 1988, pp. 1254-1257.

SPEAKE, C. C. and QUINN, T. J. Search for a short-range isospin-coupling component of the fifth force with use of a beam-balance, *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 1988, pp. 1340-1343.

BONHOURE, J. Photometric standards of the National Laboratories. *Metrologia*, **25**, 1988, p. 125.

BONHOURE, J. and PELLO, R. Determination of the departure of the International Practical Temperature Scale of 1968 from thermodynamic temperature in the region between 693 K and 904 K. *Metrologia*, **25** 1988, pp. 99-105.

FELDER, R. and CEREZ, P. Experimental results on gas-lens effects in (He-Ne)/CH<sub>4</sub> lasers ( $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ). *CPEM 88 Digest*, 1988, pp. 246-247.

### Rapports

MÜLLER, J. W. Statistiques de comptage. Rapport BIPM-87/4, octobre 1987, 5 pages.

MÜLLER, J. W. Explicit evaluation of the transmission factor  $T_1(\theta, E)$ . Part I: For small dead-time ratios. Rapport BIPM-87/5, novembre 1987, 12 pages.

MÜLLER, J. W. Do random coincidences need revisiting? Rapport BIPM-87/6, décembre 1987, 6 pages.

MÜLLER, J. W. Effet dû à la décroissance pour un temps mort généralisé. BIPM WPN-232, janvier 1988, 2 pages.

MÜLLER, J. W. Decay effects with a generalized dead time. Rapport BIPM-88/1, février 1988, 18 pages.

MÜLLER, J. W. Are counting losses due to input or output events? BIPM WPN-233, juin 1988, 4 pages.

RATEL, G. and MÜLLER, J. W. Trial comparison of activity measurements of a solution of  $^{125}\text{I}$ . Rapport BIPM-88/2, février 1988, 22 pages.

MÜLLER, J. W. A simple derivation of the Takács formula. Rapport BIPM-88/3, juillet 1988, 9 pages.

KAARLS, R., KIBBLE, B. P., TAYLOR, B. N. and WITT, T. J. Report to the Comité Consultatif d'Électricité from the Working Group on the Josephson effect. Rapport BIPM-88/7, août 1988, 31 pages.

WITT, T. J., DELAHAYE, F. and BOURNAUD, D. Report to the Comité Consultatif d'Électricité on the 1987 international comparison of one-ohm resistance standards at the BIPM and the resulting agreement among determinations of  $R_H$ . Rapport BIPM-88/6, août 1988, 21 pages.

DELAHAYE, F., ENDO, T., JONES, O. C., KOSE, V., TAYLOR, B. N. and WOOD, B. M. Report to the Comité Consultatif d'Électricité from the Working Group on the quantum Hall effect. Rapport BIPM-88/8, août 1988, 32 pages.

DELAHAYE, F., ENDO, T., JONES, O. C., KOSE, V., TAYLOR, B. N. and WOOD, B. M. Technical guidelines for reliable measurements of the quantized Hall resistance. Rapport BIPM-88/9, août 1988, 15 pages.

RATEL, G. International comparison of activity measurements of a solution of  $^{109}\text{Cd}$  (March 1986). Rapport BIPM-88/4, septembre 1988, 60 pages.

## 9. Certificats et Notes d'étude

Du 1<sup>er</sup> octobre 1987 au 30 avril 1988, 35 Certificats et 5 Notes d'étude ont été délivrés.

### CERTIFICATS

1987

- N<sup>o</sup>
59. Etalon prototype de masse N<sup>o</sup> 69, en platine iridié ..... Portugal.
60. Etalon prototype de masse N<sup>o</sup> 70, en platine iridié ..... République fédérale d'Allemagne.
61. Six calibres en acier de 100, 125, 150, 175, 200 et 250 mm ..... Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.
62. Quatre étalons de force électromotrice N<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 5 contenus dans l'enceinte thermorégulée N<sup>o</sup> 40155 (addition) ..... Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, République démocratique allemande.
63. Quatre étalons de force électromotrice N<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 4 contenus dans l'enceinte thermorégulée N<sup>o</sup> 53984 ..... National Physical Laboratory, Jérusalem, Israël.
64. Quatre étalons de force électromotrice N<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 4 contenus dans l'enceinte thermorégulée N<sup>o</sup> 39126 ..... Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse.
65. Etalon de masse de 1 kg LMN5, en acier inoxydable "Immaculate V" (addition) ... Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
66. Etalon de masse de 1 kg, en acier inoxydable (addition) ..... Bureau central de mesures nucléaires, Geel, Belgique.
67. Quatre étalons de force électromotrice N<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 4 contenus dans l'enceinte thermorégulée N<sup>o</sup> 45474 ..... Central Organization for Standardization and Quality Control, Bagdad, Irak.
68. Quatre étalons de force électromotrice N<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 4 contenus dans l'enceinte thermorégulée N<sup>o</sup> 52851 ..... Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne, Portugal.
69. Huit calibres en acier de 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 et 1000 mm ..... Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.
70. Six étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K) N<sup>os</sup> 024, 025, 026 (750 W) et 232, 233, 234 (1000 W) .. Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.

1988

1. Règle de 1 mètre N<sup>o</sup> 46, en acier au nickel (addition) ..... Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.

1988 (suite)

N°		
2.	Règle de 1 mètre N° 0114-77, en acier au nickel (addition) .....	Office national des mesures, Budapest, Hongrie.
3.	Chambre d'ionisation NE 2561-112 .....	Institut national d'oncologie, Ljubljana, Yougoslavie.
4.	Six étalons de force électromotrice N°s 1, 2, 3, 4, 5 et 6 (addition) .....	Institut national de métrologie, Beijing, République populaire de Chine.
5.	Etalon de résistance de 1 Ω, N° 1749269 (addition) .....	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
6.	Etalon de résistance de 1 Ω, N° 1755134 (addition) .....	Id.
7.	Etalon de résistance de 1 Ω, N° 017112 (addition) .....	Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.
8.	Etalon de résistance de 1 Ω, N° 017103 ..	Id.
9.	Etalon de résistance de 10 Ω, N° 137795 .	Id.
10.	Etalon de résistance de 10 Ω, N° 020846 .	Id.
11.	Etalon de résistance de 100 Ω, N° 090054 (addition) .....	Id.
12.	Etalon de résistance de 100 Ω, N° 022625 (addition) .....	Id.
13.	Etalon de résistance de 1000 Ω, N° 024934 (addition) .....	Id.
14.	Etalon de résistance de 1000 Ω, N° 024742 .....	Id.
16.	Etalon de résistance de 10000 Ω, N° 028132 (addition) .....	Id.
17.	Etalon de résistance de 1 Ω, N° 1758735 (addition) .....	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
18.	Etalon de résistance de 1 Ω, N° 1758737 (addition) .....	Id.
19.	Etalon de résistance de 1 Ω, N° 1915055 .	Central Organization for Standardization and Quality Control, Bagdad, Irak.
20.	Etalon de résistance de 10000 Ω, N° 1896420 .....	Id.
21.	Chambre d'ionisation NE 2536/3-265 (PTW 23344) .....	Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, Autriche.
22.	Quatre étalons de force électromotrice N°s 60599, 60614, 60615, 60716 contenus dans l'enceinte thermostatée N° 47052 (addition) .....	Institute for Industrial Research and Standards, Dublin, Irlande.
23.	Etalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle 732 A, N° 3795009 (addition) .....	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.



1988

- |  |   |
|--|---|
| 1. Un laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm .....              | Office national des mesures, Budapest, Hongrie.   |
| 2. Etalon de résistance de 10000 $\Omega$ , N° 028041 (addition) ..... | Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.  |
| 3. Un laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm .....              | Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.  |
| 4. Un laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm .....              | Id.   |
| 5. Un laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm .....              | Centre de recherches scientifiques et techniques de l'industrie des fabrications métalliques, Heverlee, Belgique. |

#### 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'UIPPA (Commission SUN-AMCO), de l'UAI (Commission de l'heure), du Bureau des longitudes (Paris), et au Comité de direction ou au Conseil scientifique du BNM (Paris), du LPTF (Paris) et de l'Institut d'optique théorique et appliquée d'Orsay (en qualité de vice-président).

T. J. Quinn participe régulièrement aux réunions du Conseil scientifique de l'IMGC, Turin. Il participe aux travaux du CODATA Task Group on Fundamental Constants, en qualité de président, à ceux de l'Associate Committee on Standards of Physical Measurements du NRC, Canada, et à ceux de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards (IDCNS) de l'IUPAC.

B. Guinot participe aux travaux de l'UAI, de l'UGGI, du CCIR. Il est membre des conseils scientifiques du BNM et du Groupe de recherches de géodésie spatiale. Il est membre du Bureau des longitudes, correspondant de l'Académie des sciences (Paris) et membre du comité de la recherche spatiale de l'Académie des sciences.

A. Allisy participe aux travaux de l'ICRU en qualité de président.

M. Boutillon participe également aux travaux de l'ICRU.

J.W. Müller, président du Comité ICRU qui a pour tâche de rédiger un rapport sur « Fundamentals of particle counting », continue à s'occuper de ce Comité. Actuellement, on rassemble les éléments de la première version du texte. Les contributions déjà reçues sont d'un très bon niveau.

F. Delahaye a participé, comme membre du groupe de travail chargé par la CEI d'entreprendre la mise à jour des chapitres 101 à 151 du Vocabulaire électrotechnique international (Notions générales d'électrotechnique), à deux réunions de ce groupe tenues les 9, 10 et 12 novembre 1987 à Paris et les 16, 17 et 18 mai 1988 à Chexbres (Suisse).

### 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 T. J. Quinn ont assisté à Madrid, du 23 au 25 septembre 1987, à la réunion du Western European Metrology Club (WEMC) qui a fondé le comité Euronet.

Ils ont participé, à Braunschweig, à la PTB, du 5 au 8 octobre 1987, à la célébration du centenaire de la fondation de la PTR. P. Giacomo y a prononcé une allocution lors de la séance solennelle.

P. Giacomo s'est rendu

— à Karlovy-Vary<sup>+</sup> (Tchécoslovaquie), du 7 au 9 décembre 1987, pour participer à la Conférence internationale « Metrapliq » où il a donné la conférence d'ouverture sur « L'importance de la métrologie scientifique », puis

— à Berlin (Est), du 9 au 11 décembre 1987, à l'ASMW, pour participer à la célébration du centenaire de la fondation de la PTR et visiter quelques laboratoires de l'ASMW.

P. Giacomo et J.-M. Chartier se sont rendus à Lannion<sup>++</sup> (France), le 29 février 1988, à l'École nationale supérieure de sciences appliquées et de technologie, où ils ont donné chacun une conférence, respectivement sur « La métrologie et le BIPM » et « Les lasers, étalons de longueur ».

P. Giacomo et B. Guinot ont participé à Saas-Fee<sup>++</sup> (Suisse), du 20 au 26 mars 1988, au 30<sup>e</sup> cours de perfectionnement de l'Association vaudoise des chercheurs en physique. Ils y ont donné plusieurs cours, portant sur « Introduction à la métrologie ; incertitudes ; coopération internationale » (P. Giacomo, 1 heure), « Mesure du temps et des fréquences, horloges atomiques » (B. Guinot, 3 heures), « Lasers, vitesse de la lumière et définition du mètre » « Mesures de longueur et interférométrie » (P. Giacomo, 3 heures), « Le kilogramme, unité sans problème ? » (P. Giacomo, 1 heure), « L'accélération due à la pesanteur » (P. Giacomo, 1 heure). De plus, P. Giacomo y a donné une « conférence récréative » sur le BIPM.

P. Giacomo, T. J. Quinn, T. Witt, F. Delahaye et C. Thomas se sont rendus à Tsukuba (Japon), du 7 au 12 juin 1988, pour participer

à la CPEM 88. T. J. Quinn y a donné une conférence à la séance d'ouverture sur « Advanced technology in precision measurements »; T. Witt et F. Delahaye ont présenté deux communications, l'une sur « The 1987 international comparison of one-ohm resistance standards at the BIPM and the resulting agreement among determinations of  $R_H$  » (avec D. Bournaud), l'autre sur « Recent  $R_H$  determinations in terms of  $\Omega_{69-BI}$  » (avec A. Satrapinsky). T. Witt a également présenté une communication sur « Accurate measurements of  $2e/h$  in Josephson junctions of high- $T_c$  material ». Cette conférence a été suivie par la réunion, le 11 juin 1988, des Groupes de travail du CCE sur l'effet Josephson et sur l'effet Hall quantique, puis du 13 au 15 juin du Groupe de travail du CCE pour les grandeurs aux radiofréquences, à l'ETL, Tsukuba; P. Giacomo et T. Witt ont participé à ces trois groupes de travail, F. Delahaye a participé aux deux premiers.

P. Giacomo et T. J. Quinn se sont rendus à Prague du 22 au 26 juin 1988 pour une réunion du bureau du CIPM.

P. Giacomo, J.-M. Chartier, R. Felder, L. Robertsson, C. Thomas et S. Picard ont assisté, du 4 au 9 juillet 1988, à Paris, à la 11<sup>e</sup> Conférence internationale de physique atomique (ELICAP).

P. Giacomo<sup>+</sup> a participé du 6 au 9 septembre 1988, à Bratislava, au 9<sup>e</sup> Symposium international de métrologie (INSYMET 88) où il a donné la conférence d'ouverture.

T. J. Quinn s'est rendu :

— à Londres, le 12 février 1988, où il a participé, avec C. C. Speake, à la réunion organisée par The Royal Astronomical Society sur le thème « Geophysical investigations of departures from Newtonian gravitation ». Ils y ont présenté une contribution intitulée « Preliminary results of a beam balance search for a fifth force coupled to nuclear isospin ».

— à Teddington, du 11 au 13 avril 1988, où il a participé à la réunion organisée par le NPL sur le thème « New developments and applications in optical radiometry ».

— à Braunschweig, le 14 mars 1988, où il a visité les sections Électricité et Longueurs de la PTB.

— à Umea (Suède), du 13 au 16 juin 1988, où il a participé au « 11th European Congress on Thermophysical Properties »; il y a présenté une contribution sur « The International Temperature Scale of 1990 ».

A. Allisy a assisté, le 14 avril 1988, à une réunion du Comité ICRU « Absorbed dose standards for photon irradiation and their dissemination » qui s'est tenue au BIPM.

Du 7 au 9 juin 1988, il a participé à Braunschweig<sup>++</sup> à un séminaire organisé par la Commission des Communautés européennes et la PTB sur « Implementation of dose-equivalent operational quantities into

radiation protection practice ». Il y a fait la conférence d'introduction sur « Bases for the selection of operational radiation protection quantities ».

Du 10 au 20 août 1988, il a participé, à Helsinki<sup>++</sup>, à la réunion annuelle de la Main Commission ICRU, accompagné de M. Boutillon du 15 au 18 août, et, du 22 au 25 août, à une réunion du Comité ICRU « Quantities and Units ».

Du 19 au 23 septembre 1988, il a participé à Vienne<sup>++</sup> à la réunion du Comité scientifique des Secondary Standards Dosimetry Laboratories (SSDL) de l'Agence internationale de l'énergie atomique.

V. D. Huynh s'est rendu à Neuherberg (Munich, RFA), du 12 au 16 octobre 1987, pour assister au « Sixth Symposium on Neutron Dosimetry ».

M. Boutillon a participé à la réunion de la Main Commission ICRU, à Bruxelles<sup>++</sup>, du 14 au 17 septembre 1987. Elle a contribué activement à la mise au point de plusieurs rapports en préparation.

Elle s'est rendue à Ottawa (Canada), les 6 et 7 juin 1988, pour participer au « Workshop on water calorimetry » organisé par le NRC.

B. Guinot s'est rendu :

— à Toulouse (France), les 17 et 18 novembre 1987, pour participer à la réunion du conseil scientifique du Groupe de recherches de géodésie spatiale ;

— à Besançon (France), le 19 novembre 1987, pour participer à la réunion du conseil scientifique du Forum européen Fréquence et Temps ;

— au Bureau des longitudes, Paris, où il a présenté un exposé intitulé « Quelle heure est-il exactement ? La mesure du temps, concepts et réalisations », le 8 mars 1988 ;

— à Neuchâtel (Suisse), du 16 au 18 mars 1988 pour participer au 2<sup>e</sup> Forum européen Fréquence et Temps, accompagné de C. Thomas ;

— à Genève (Suisse), du 11 au 15 avril 1988 pour participer aux travaux de la Commission d'étude 7 du CCIR ;

— à Genève<sup>+</sup> (Suisse), le 29 avril 1988, pour présenter une communication sur « Temps coordonné » dans le cadre des journées relativistes de l'Université de Genève ;

— à Noordwijk (Pays-Bas), le 16 juin 1988, pour participer à une réunion de l'Agence spatiale européenne au sujet du projet NAVSAT (analogue au GPS) ;

— à Paris, les 20 et 21 juin 1988, aux Journées « Systèmes de référence spatio-temporels », où il a présenté une communication sur « Définition et réalisation du temps terrestre » ;

— à Baltimore (É.-U. d'Amérique), du 2 au 11 août 1988, pour participer à l'Assemblée générale de l'UAI ;

— à Ancona (Italie), du 6 au 9 septembre 1988, pour participer au 4th symposium on frequency standards and metrology, accompagné de

C. Thomas, S. Picard et R. Felder, et y présenter une communication sur « Comparison of primary standards » ;

— à Turin (Italie), accompagné de C. Thomas pour participer au « 3rd symposium on algorithms for time scales », les 12 et 13 septembre 1988. B. Guinot a présenté deux communications sur « Time scales established in retrospect » et « Importance and limitations of the algorithms for time scales » et C. Thomas a présenté deux communications sur « Long term stability of the International Atomic Time ».

W. Lewandowski s'est rendu :

— à Los Angeles (É.-U. d'Amérique), du 1<sup>er</sup> au 3 décembre 1987, pour participer au « 19th Annual PTTI Applications and Planning Meeting » et y présenter une communication sur le GPS ;

— à Nantes (France), le 1<sup>er</sup> mars 1988, pour des discussions avec les ingénieurs de la Société SERCEL à propos des récepteurs du GPS ;

— à Bruxelles, Delft et Braunschweig pour effectuer des étalonnages de retards de récepteurs du GPS ;

— à Colorado Springs (É.-U. d'Amérique), les 26 et 27 juillet 1988, au Civil Global Positioning System Service Steering Committee ;

— à Grasse (France), le 30 juin 1988, en préparation de l'expérience LASSO ;

— à Frascati (Italie), les 12 et 13 juillet 1988, pour participer à la 6<sup>e</sup> réunion du « LASSO Experimenters and Users Team » ;

— à Noordwijk (Pays-Bas), le 2 septembre 1988, pour participer à la réunion du « LASSO Operation and Coordinating Group ».

C. Thomas a fait un stage de deux mois (février et mars 1988) au LPTF, Paris, pour participer aux travaux sur l'étalon de temps primaire de ce laboratoire.

R. P. Hudson, profitant de ses voyages privés, s'est rendu à Heidelberg (RFA) les 21 et 22 août, chez Springer-Verlag, pour y discuter les possibilités d'augmenter le nombre des abonnés à Metrologia, et au NBS, le 31 mars et le 7 septembre, pour consulter plusieurs physiciens.

C. C. Speake s'est rendu

— aux Arcs, du 27 au 30 janvier 1988, pour assister aux « Rencontres Moriand » où il a présenté une conférence intitulée « Progress on the beam balance experiment to search for a fifth force » ;

— à Aix-les-Bains, les 29 et 30 avril 1988, pour assister au « Ninth Workshop on Grand Unification », où il a fait un exposé sur « The Status of the Fifth Force ».

Bénéficiant d'une bourse de recherche du NBS, il a été détaché auprès du JILA, Boulder, pour un an à compter du 17 mai 1988.

J.-M. Chartier s'est rendu :

— à Belgrade<sup>++</sup> (Yougoslavie), du 11 au 17 janvier 1988, où il a fait deux exposés, le premier au BFMMP de Yougoslavie intitulé « Organization of the BIPM », le second à l'Institut de physique intitulé « Activities of the BIPM in the field of frequency stabilized lasers ». Il a d'autre part participé à la mise au point du premier laser asservi sur l'iode du BFMMP ;

— à Wabern<sup>++</sup> (Suisse), les 18 et 19 avril 1988, où il a fait un exposé à l'OFMET intitulé « Organisation du BIPM et activités dans le domaine des lasers asservis » ;

— à Tsukuba<sup>+</sup> (Japon) du 5 au 27 juin 1988, accompagné de R. Felder<sup>+</sup>, pour effectuer des comparaisons entre des lasers à He-Ne à  $\lambda = 633$  nm et à  $\lambda = 3,39$   $\mu\text{m}$  du NRLM et du BIPM. Ils ont aussi fait un exposé sur l'activité du BIPM dans le domaine des lasers asservis. Le laboratoire japonais a pris en charge la totalité des frais de séjour et des frais de transport du matériel. À cette occasion, ils ont participé à la CPEM du 7 au 12 juin 1988 à Tsukuba, où R. Felder a présenté les résultats obtenus avec les lasers à He-Ne/CH<sub>4</sub> lors d'une séance de « posters ».

— à Bratislava (Tchécoslovaquie), du 29 août au 9 septembre 1988, accompagné de L. Robertsson, pour effectuer des comparaisons entre les lasers à He-Ne à  $\lambda = 633$  nm de plusieurs pays d'Europe de l'Est et du BIPM. À cette occasion, ils ont participé du 6 au 9 septembre 1988 au 9<sup>e</sup> symposium international de métrologie (INSYMET 88), où J.-M. Chartier a fait un exposé lors de la session « Longueurs » intitulé « Le BIPM et la définition du mètre ».

R. Felder s'est rendu :

— le 2 mars 1988 à Noizay (Indre-et-Loire), aux établissements Dumas, pour faire souffler et rapporter des verreries de tubes à décharge ;

— le 2 février 1988, accompagné de J.-M. Chartier, J. Sanjaime et D. Rotrou, à Vernouillet (Yvelines) pour visiter les installations de la Société Meca 2000. Il y est retourné le 16 mars 1988, accompagné de J. Sanjaime et J.-B. Caucheteux, pour réceptionner l'enceinte à ultra-vidé et y installer le résonateur optique construit par l'atelier de mécanique du BIPM ;

— le 12 avril 1988 au Laboratoire d'infrarouge de l'Université de Paris-Sud (Orsay, Essonne) pour y rencontrer MM. Guelachvili et Ubelmann afin de discuter de la réalisation de tubes à He-Ne. Il en a profité pour visiter les expériences en cours ;

— le 18 mai 1988, au Secrétariat général de la Défense nationale (Paris) pour participer à une réunion sur « la chimie des verres fluorés ».

J. Bonhore, R. Köhler et R. Pello se sont rendus à Teddington (Royaume-Uni), du 12 au 14 avril 1988, pour assister à deux réunions organisées au NPL : New developments and applications in optical

radiometry ; spectroradiometric measurement. Ensuite, du 15 au 22 avril, R. Köhler et R. Pello ont participé à quelques mesures d'étalonnage à la section de radiométrie du NPL.

R. Köhler et R. Pello se sont rendus à Teddington, le 23 et le 24 novembre 1987, pour visiter la section de radiométrie du NPL.

J. Coarasa et M. Thomas se sont rendues du 2 au 4 novembre 1987 à Teddington pour prendre livraison du bâti de la balance à suspensions flexibles construit par le NPL pour le BIPM.

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

— par T. J. Witt, le 8 décembre 1987 : « La supraconductivité à 90 K » ;

— par G. Ratel, le 12 janvier 1988 : « Comment peut-on mesurer l'activité du  $^{109}\text{Cd}$  ? » ;

— par S. Picard, le 16 février 1988 : « La technique multiphotonique en spectroscopie moléculaire » ;

— par R. Köhler, le 15 mars 1988 : « Mesures avec la source de neutrons Gelina du BCMN » ;

— par T. J. Quinn et C. C. Speake, le 5 mai 1988 : « Recherche sur la « cinquième force » à l'aide d'une balance à suspensions flexibles » ;

— par F. Delahaye, le 10 mai 1988 : « Mesures de résistance de Hall quantifiée : le point sur les travaux réalisés au BIPM » ;

— par R. P. Hudson, le 21 juin 1988 : « Refroidissement magnétique : une introduction ».

### Visites et stages au BIPM

Mme A.-M. Perroche (SCPRI, Le Vésinet) a poursuivi sa participation au travail de la section des rayonnements ionisants (rayons X et  $\gamma$ , électrons).

Mr M. Imae (Communications Research Laboratory, Tokyo, Japon) a commencé en octobre 1987 un stage de 9 mois au BIPM où il a construit un récepteur de signaux du GPS, à deux fréquences, pour mesurer la réfraction ionosphérique.

Mr F. Wang (JILA, Boulder) a séjourné au BIPM du 6 au 10 juillet 1987 et discuté en détail les travaux en cours dans la section des lasers.

MM. P. Bölöni et K. Tomanyiczka (OMH, Budapest) ont participé du 8 septembre au 2 octobre 1987 à la comparaison de laser asservi sur l'iode à  $\lambda = 633 \text{ nm}$  de l'OMH aux lasers de référence du BIPM.

Mme Massoutie (CEN, Cadarache), Mlle Posny, MM. Chartier, Audoin, Itié et Poiteau (CEN, Fontenay-aux-Roses) sont venus, du 21 au 25 septembre 1987, mesurer l'efficacité de leurs scintillateurs NE 213, en utilisant notre faisceau étalonné de neutrons de 14,65 MeV.

Mr Abdul Raheem (Central Organization for Standardization and Quality Control, Bagdad, Iraq), a assisté les 7, 8 et 13 octobre 1987 à des mesures de piles et discuté des techniques de mesure.

Mr H. Seppä (VTT, Helsinki), est venu discuter, le 22 octobre 1987, de l'effet Hall quantique et d'éventuelles comparaisons d'installations pour la réalisation de l'effet Josephson ;

MM. E. Braun et P. Warnecke (PTB, Braunschweig) ont séjourné au BIPM le 30 novembre et les 2 et 3 décembre 1987. Ils ont remis au BIPM une hétérojonction pour la mesure de la résistance de Hall quantifiée et discuté en détail des questions relatives aux mesures de résistance et de l'effet Hall quantique.

Mr R. Girzikowski (AIEA, Vienne) a participé, du 7 au 11 décembre 1987, à l'étalonnage d'une chambre d'ionisation de son laboratoire dans le domaine des rayons X de moyenne énergie.

Mr B. Vaucher (OFMET, Wabern) est venu, le 11 décembre 1987, puis du 14 au 18 mars 1988, pour se documenter sur la construction de lasers asservis sur l'iode.

Mr B. Owen (NPL, Teddington) est venu, le 28 janvier 1988, discuter des résultats de la comparaison indirecte de mesures de dose absorbée dans l'eau.

Mr Chen Di (Institute of Radiation Medicine, Beijing) est venu, les 5 et 6 avril 1988, pour visiter la section des rayonnements ionisants et, plus particulièrement, le laboratoire de mesures neutroniques. Il nous a fourni les détails de la construction des chambres d'ionisation à paroi équivalente au tissu de son laboratoire.

Mlle C. Ramus (École nationale supérieure de sciences appliquées et de technologie, Lannion) s'est initiée, du 5 au 15 avril 1988, à la stabilisation de lasers à He-Ne sur le Lamb dip.

Mlle A. Razet et Mr Y. Millerioux (INM, Paris) ont participé du 11 au 15 avril 1988 à la comparaison d'un de leurs lasers asservis sur l'iode à  $\lambda = 633$  nm aux lasers de référence du BIPM.

Mr N. J. Hargrave (ARL, Yallambie) a participé, du 11 au 20 avril 1988, à une comparaison indirecte des étalons d'exposition de son laboratoire avec ceux du BIPM (rayons X de moyenne énergie et rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ ).

Mr Ma Hongchang (Institute of Atomic Energy, Beijing) a visité la section des rayonnements ionisants les 20 et 21 avril 1988.

Mr H. Pirée (Service de la métrologie, Bruxelles) est venu le 1<sup>er</sup> juin puis du 4 au 8 juillet 1988, pour se documenter sur la construction de lasers asservis.

Mr S.I. Oshima (NRLM, Tsukuba) est venu du 10 au 14 septembre 1988, pour visiter les sections des échelles de temps et des longueurs.

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

— Mr D. Charbonneau (NRC, Ottawa), le 5 octobre 1987 (lasers) ;



- MM. Bogdanovic et Maricic (BFMMP, Belgrade), le 6 octobre 1987 (électricité) ;
- Mr K. Carneiro (Institut danois de métrologie fondamentale), le 14 octobre 1987 (électricité), le 16 octobre 1987 (lasers) ;
- Mme J. Daures et Mr T. Sollier (LMRI, Saclay), le 16 octobre 1987 (rayonnements ionisants) ;
- Mr A. H. L. Aalbers (RIVM, Bilthoven), le 20 octobre 1987 (rayonnements ionisants) ;
- MM. N. J. Buch et K. S. Mukesh (Electrical Research and Development Association, Baroda, Inde), le 26 octobre 1987 (électricité) ;
- Mr Lepek (Time and Frequency Ltd., Israël), le 30 octobre 1987 (GPS) ;
- Mr H. A. Frøysten (NJV, Oslo), le 3 novembre 1987 (électricité) ;
- Mr U. Feller (OFMET, Berne), le 3 novembre 1987 (électricité) ;
- Mr P. Immonen (VTT, Helsinki), le 6 novembre 1987 (électricité) ;
- Mr W. Klepczynski (USNO), le 17 novembre 1987 (expérience de synchronisation LASSO) ;
- Mr Knight (NPL, Teddington), le 19 novembre 1987 (temps, lasers) ;
- MM. E. Nano et P. Galliano (IEN, Turin), le 20 novembre 1987 (organisation du symposium sur les algorithmes pour échelles de temps, Turin, septembre 1988) (temps) ;
- Mr L. Ribeiro (LNETI, Lisbonne), le 23 novembre 1987 (électricité) ;
- MM. Barbier et Koch (Aérospatiale, Association française de qualité), le 23 novembre 1987 (électricité) ;
- Mr S. Libermann (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay), le 24 novembre 1987 (lasers) ;
- MM. C. Salomon (ENS, Paris), C. Bréant (ETCA, Arcueil) et A. Clairon (LPTF, Paris), le 25 novembre 1987 (lasers) ;
- Mr G. M. Stefan (Université de Rennes), les 27 novembre 1987 et 1<sup>er</sup> avril 1988 (lasers) ;
- Mr R. Dzuiba (NBS, Gaithersburg), le 7 décembre 1987 (électricité) ;
- Mr R. G. Jones (NPL, Teddington), le 9 décembre 1987 (électricité) ;
- MM. Lecat et Gouin, (CEB-III) le 15 janvier 1988 (rayonnements ionisants) ;
- Mr P. Cevc (Institute of Oncology, Ljubljana), le 2 février 1988 (rayonnements ionisants) ;
- Mr Vaucher (OFMET, Wabern), le 17 mars 1988 (radiophotométrie, thermométrie) ;
- Mr R. Turner (CSIRO, Pretoria), le 21 mars 1988 (lasers) ;
- Mr M. Kozlov (IMM, Leningrad), le 29 mars 1988 (électricité) ;
- Mr A. Kravchenko (IMM, Leningrad), le 14 avril 1988 (électricité) ;

- Mr Krempasky (CSMU, Tchécoslovaquie), du 18 au 22 avril 1988 (radiophotométrie);
- Mr O. Power (EOLAS/ex-IIRS, Dublin), le 20 avril 1988 (électricité);
- Mr L. Érard (LCIE, Fontenay-aux-Roses), le 26 avril 1988 (électricité);
- Mr W. Penzes (NBS, Gaithersburg), le 2 mai 1988 (lasers);
- Mr P. Bölöni (OMH, Budapest), le 26 mai 1988 (longueurs);
- Mr S. Baytaroglu (National Physical and Technical Measurement Standards Centre, Gebze-Kocaeli, Turquie), le 1<sup>er</sup> juin 1988 (longueurs);
- Mr C. Veale (NBS, Gaithersburg), le 13 juin 1988 (longueurs);
- Mme J. M. Bennett (Michelson Laboratory, China Lake, Californie), le 30 juin 1988 (longueurs);
- Mr H. A. Klein (NPL, Teddington), le 11 juillet 1988 (longueurs);
- Mr A. Rosen (Department of Physics, Chalmers University of Technology, Suède), le 11 juillet 1988 (longueurs);
- Mr Yin Lifang (Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica), le 15 septembre 1988 (longueurs);
- Mr A. Shenhar (NPL, Jérusalem), le 19 septembre 1988 (longueurs);
- Mr J.-M. Alunni (Société Quantel, Vélizy), le 20 septembre 1988 (longueurs);
- MM. K. Isobe, H. Yoshida, K. Heinz Kraln, D. Levebre (NEC, Japon), le 21 septembre 1988 (longueurs);
- Mr P. Cerez (LHA, Orsay), le 22 septembre 1988 (longueurs);
- Mr J. A. Hall (JILA, Boulder), le 23 septembre 1988 (longueurs);
- Mr A. Corney (Physics and Engineering Laboratory, Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), le 30 septembre 1988 (longueurs).

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 1987.

Compte I. — Fonds ordinaires\*

RECETTES		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1987.....		15 550 507,07
Recettes budgétaires.....		15 785 364,34
Taxes sur les achats remboursés.....		802 494,87
Différences de change.....		12 277,04
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1987.....		<u>508 028,34</u>
Total.....		<u><u>32 658 671,66</u></u>

DÉPENSES		francs-or
Dépenses budgétaires.....		17 918 846,77
Taxes sur les achats remboursés.....		996 286,54
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1987.....		<u>13 743 538,35</u>
Total.....		<u><u>32 658 671,66</u></u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES		francs-or
Versements de contributions :		
au titre de l'exercice 1987.....	13 152 760	} 14 694 745 } 14 753 545,00
au titre de l'exercice 1986.....	1 242 091	
au titre de l'exercice 1985.....	260 547	
au titre de l'exercice 1984 et antérieurs..	38 898	
au titre de l'exercice 1988.....	449	
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États ».....	58 800	
Intérêts des fonds.....		911 114,69
Taxes de vérification.....		22 195,95
Recettes diverses { cession de prototype (kg) . 97 295,76.....		} 98 508,70
{ divers ..... 1 212,94.....		
Total.....		<u><u>15 785 364,34</u></u>

\* Dans ce tableau, ainsi que dans les suivants, on utilise le franc-or défini par l'équivalence 1 franc-or = 1,81452 franc français.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements .....	7 016 310,00	7 000 000	—	16 310,00
2. Allocations familiales et sociales .....	933 154,00	1 400 000	466 846	—
3. Sécurité Sociale .....	747 099,00	900 000	152 901	—
4. Assurance-accidents du travail .....	76 628,00	100 000	23 372	—
5. Caisse de retraites (a) .....	1 500 000,00	1 500 000	—	—
6. Traitements TAI (1 + 2 + 3 + 4) .....	794 945,75	670 000	—	124 945,75
7. Caisse de retraites TAI (a) .....	30 000,00	30 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier .....	38 148,09	50 000	11 851,91	—
2. Laboratoires et ateliers .....	1 067 445,63	1 100 000	32 554,37	—
3. Chauffage, eau, énergie électrique .....	355 299,56	500 000	144 700,44	—
4. Assurances .....	47 792,25	27 000	—	20 792,25
5. Impressions et publications .....	192 306,36	220 000	27 693,64	—
6. Frais de bureau .....	269 968,78	310 000	40 031,22	—
7. Voyages et transports d'appareils .....	276 213,92	330 000	53 786,08	—
8. Entretien courant .....	268 676,42	210 000	—	58 676,42
9. Bureau du Comité .....	55 000,00	55 000	—	—
10. TAI .....	52 661,87	98 000	45 338,13	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires .....	1 332 366,78	1 300 000	—	32 366,78
2. Atelier de mécanique .....	42 663,25	80 000	37 336,75	—
3. Atelier d'électronique .....	4 514,09	10 000	5 485,91	—
4. Bibliothèque .....	147 382,25	160 000	12 617,75	—
5. TAI .....	50 278,32	50 000	—	278,32
<i>D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation) (b) .....</i>				
	1 842 097,53	1 500 000	—	342 097,53
<i>E. Frais divers :</i>				
1. Divers (c) .....	103 204,38	—	—	—
2. Achat de platine .....	674 690,54	100 000	—	677 894,92
<b>Totaux .....</b>	<b>17 918 846,77</b>	<b>17 700 000</b>	<b>1 054 515,20</b>	<b>1 273 361,97</b>

(a) Virement au compte II (Caisse de retraites).  
(b) Comprenant un virement de 1 100 000 francs-or au compte V (Réserve pour les bâtiments).  
(c) Comprenant un virement de 15 544 francs-or au compte IV (Caisse de prêts sociaux).

**Compte II. — Caisse de retraites**

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1987.....	11 843 142,42
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1987.....	397 898,33
Retenues sur les traitements.....	376 829,54
Virement du Compte I.....	1 530 000,00
Intérêts des fonds.....	812 383,90
Total.....	<u>14 960 254,19</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies.....	1 756 538,41
Remboursement de versements.....	43 281,22
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1987.....	13 160 434,56
Total.....	<u>14 960 254,19</u>

**Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique**

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1987.....	523 857,79
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1987.....	6 483,84
Total.....	<u>530 341,63</u>

DÉPENSES

	francs-or
Rayons X et $\gamma$ .....	315 493,90
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1987.....	214 847,73
Total.....	<u>530 341,63</u>

**Compte IV. — Caisse de prêts sociaux**

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1987.....	96 139,92 }	
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 1987.....	108 631,42 }	204 771,34
Créances nouvelles en cours d'année.....		89 004,25
Amortissements partiels des prêts :		
Capital.....	115 430,73 }	
Intérêts.....	2 980,90 }	118 411,63
Virement du Compte I.....		15 544,00
Intérêts des fonds.....		7 423,21
<b>Total.....</b>		<u><u>435 154,43</u></u>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année.....		89 004,25
Créances amorties en cours d'année.....		115 430,73
Créances au 31 décembre 1987.....	82 204,94 }	
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1987.....	148 514,51 }	230 719,45
<b>Total.....</b>		<u><u>435 154,43</u></u>

**Compte V. — Réserve pour les bâtiments**

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1987.....		1 816 600,45
Alimentation par le Compte I.....		1 100 000,00
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1987.....		41 096,14
<b>Total.....</b>		<u><u>2 957 696,59</u></u>

DÉPENSES

		francs-or
Dépenses Nouveau pavillon.....		1 598 653,60
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1987.....		1 359 042,99
<b>Total.....</b>		<u><u>2 957 696,59</u></u>

**BILAN**

AU 31 DÉCEMBRE 1987

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	13 743 538,35
Compte II « Caisse de retraites » .....	13 160 434,56
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » .....	214 847,73
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	230 719,45
Compte V « Réserve pour les bâtiments » .....	1 359 042,99
ACTIF NET .....	<u>28 708 583,08</u>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF=0,551 109 935 FO) .....	1 912 257,63
2° En monnaie U.S.A. (1 USD=5,50 FRF=3,031 104 645 FO) .....	155 495,85
3° En monnaie suisse (1 CHF=4,16 FRF=2,292 617 331 FO) .....	4 093 640,19
4° En monnaie britannique (1 GBP=10,10 FRF=5,566 210 348 FO) .....	165 995,52
5° En monnaie allemande (1 DEM=3,39 FRF=1,868 262 681 FO) .....	8 452 020,37
6° En monnaie japonaise (100 JPY=4,34 FRF=2,391 817 120 FO) .....	4 052 440,80
7° En monnaie hongroise (1 HUF=0,11 FRF=0,060 622 093 FO) .....	5 291,59
8° En monnaie polonaise (100 PLZ=1,77 FRF=0,975 464 586 FO) .....	7 521,43
9° En monnaie néerlandaise (1 NLG=3,01 FRF=1,658 840 906 FO) .....	3 998 931,81
10° En ECU (1 XEU=6,99 FRF=3,852 258 449 FO) .....	5 816 910,26

b. Espèces en caisse .....

30 278,69

ACTIF BRUT .....

28 690 784,14

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux .....

82 204,94

à déduire : Provision pour remboursement aux États (1) .....

64 406,00

ACTIF NET .....

28 708 583,08

(1) *Compte « Remboursement aux États »*

	francs-or
Situation au 1 <sup>er</sup> janvier 1987 .....	123 206,00
Virement au Compte I (compensation du remboursement d'avances faites pour le Pakistan) .....	— 58 800,00
Situation au 31 décembre 1987 .....	<u>64 406,00</u>





## INDEX \*

- Anglaise (utilisation de la langue), 17 (42)
- Balances (*voir* Masses)
- Bâtiments
- appartement du directeur (réfection), 49
  - dépendances (remplacement des arbres dans l'allée du Mail et l'allée des neutrons, mise en service des nouveaux garages), 49
  - Nouveau Pavillon, achèvement des travaux et début d'emménagement, 5 (30); inauguration, 16 (41)
  - Observatoire (réfection de la toiture), 49
- BIH (*voir* Temps)
- Certificats et Notes d'étude, 105
- Comités consultatifs
- composition, 22
  - électricité, rapport, 8 (34), 80
  - étalons de mesure des rayonnements ionisants (Section I: rayons X et  $\gamma$ , électrons et Section III: mesures neutroniques), rapport, 6 (32)
  - masse et grandeurs apparentées, rapport, 7 (33)
  - réunions futures, 11 (36)
- Comité international
- bureau du Comité, 4 (30)
  - composition, XI
  - prochaine session, 18 (43)
  - rapport du secrétaire, 2 (28)
- Comparaisons internationales
- étalons électriques, résistances de 1 ohm, 77
  - lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode (entre l'OMH et le BIPM), 53, (entre l'INM, l'ETCA et le BIPM), 53, (entre le NRLM et le BIPM), 54, (entre le CSMU, le CSAV, l'ASMW, l'IMM/VNIIM, l'OMH et le BIPM), 54; à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane (avec le NRLM), 56
  - mesures neutroniques, mesures de débit de kerma, 89
  - photométrie, conséquences de la comparaison d'étalons d'intensité et de flux lumineux, 82
  - radionucléides ( $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{125}\text{I}$ ), 92
  - rayons X, étalons d'exposition (entre l'ARL et le BIPM), 86
  - rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  (entre l'ARL et le BIPM), 84; (entre le NPL et le BIPM), 86
- Dépôt des prototypes métriques (pas de visite du), 13 (38)
- Dosimétrie, 83
- Échelle internationale de température (*voir* Thermométrie)
- Électricité,
- conservation du volt, 79
  - effet Hall quantique, 74; mesures de résistance, 74; nouveaux échantillons, 75; comparateur cryogénique de courants, 77
  - effet Josephson, 80
- Étalons,
- longueur, à bouts plans, 52; règles divisées, 52
  - masse en Pt/Ir, 58; en acier inoxydable, 59; en Nicral D, 59; en Immaculate V, 59
  - pires, 80
  - photométrie, intensité lumineuse, 83
  - rayonnements ionisants, chambres d'ionisation, 84; exposition, 84
  - temps, de fréquence à pompage optique, 73
  - tension à diode de Zener, 80
- Fibres optiques, Groupe de travail commun CCE-CCPR, 9 (35)
- Gravimétrie, variation à long terme de l'accélération due à la pesanteur, 66

\* The page numbers into brackets in italics refer to the English version of the Report.

Laboratoires (visite des), 13 (38)

Lasers,

à He-Ne asservis sur l'iode en cuve interne, à  $\lambda = 633$  nm, 53, à  $\lambda = 612$  nm, 55; lasers à argon, 55; laser à He-Ne asservi sur l'absorption saturée du méthane à  $\lambda = 3,39$   $\mu$ m, 56; laser asservi sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à  $\lambda = 543$  nm, 58

Longueurs, 51

Manométrie, 67

manobaromètre normal, 67; jauges de pression, 67

Masses,

balance à suspensions flexibles, 61  
balance Mettler de portée 1 kg, 61  
balance NBS-2, 59  
balances Rueprecht de portée 1 kg, 50 g et 20 g, 59  
prototype international du kilogramme (conservation), 18 (43); troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme, 8 (33)

*Metrologia*, 6 (32), 101

Notice

Le BIPM et la Convention du Mètre, IX

Personnel,

chercheurs associés, 48  
départs, 48; cérémonie en l'honneur du départ de Mr Giacomo, 16 (41)  
distinctions, 51  
engagements, 6 (31), 47  
liste du, XIII  
nominations, 47; adjoints, 16 (41); directeur honoraire (P. Giacomo), 2 (26)  
titularisation, 47

Photométrie, 82

Publications

du BIPM, 100  
brochure sur le BIPM et la Convention du Mètre, réimpression, 6 (31)  
extérieures, 101  
rapports internes, 103

Questions administratives, 13 (39)

Questions financières, 13 (39)

actif du BIPM, 3 (29)

comptes, 117

contributions (recouvrement des), 13 (30)

projet de budget pour 1989, 15 (40)

Radiométrie, 81

Radionucléides

activité (mesures d'), 92; ( $^{109}\text{Cd}$  et  $^{125}\text{I}$ ), 92

statistiques de comptage, 96

Rayonnements ionisants, 83

Rayons X, 83; rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , 84

Recommandations

1 (CI-1988): Représentation du volt au moyen de l'effet Josephson, 19 (44)

2 (CI-1988): Représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique, 20 (45)

3 (CI-1988): Mise au point de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90), 21 (46)

Système international de référence (SIR), 96

Temps

algorithmes, 71

atomique international (TAI), traitement des mesures, 67; étalonnage de retards de récepteurs, 70; réfraction ionosphérique, 70; théories dynamiques, 73

Échelles de temps, 67

Global Positioning System (GPS), 68

LASSO, 71

universel coordonné (UTC), 67

Thermométrie, 100

Échelle internationale de température (EIT-90), 10 (35)

Travaux du BIPM, 11 (37)

Travaux en liaison avec les organismes internationaux et nationaux, 107

Vase de Sèvres (don de Mr Savreux), 16 (41)

Visites et stages au BIPM, 113

Voyages, visites, conférences et exposés du personnel, 108

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

### COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

77<sup>e</sup> session (octobre 1988)

---

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le volume .....	V
Le BIPM et la Convention du Mètre .....	IX
Liste des membres du Comité international .....	XI
Liste du personnel du Bureau international .....	XIII
Ordre du jour de la session .....	XVI
<b>Procès-verbaux des séances, 4, 5 et 6 octobre 1988 .....</b>	<b>1</b>
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour .....	1
2. Rapport du secrétaire du CIPM .....	2
3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité .....	4
4. Comités consultatifs .....	6
4.1. pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants .....	6
4.2. pour la masse et les grandeurs apparentées .....	7
4.3. d'électricité .....	8
Réunion conjointe du CCPR et du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE .....	9
4.4. Rapport d'avancement de l'EIT-90 .....	10
4.5. Réunions futures .....	11
5. Travaux du BIPM : Rapport du directeur .....	11
6. Questions administratives et financières .....	13
7. Nouveau Pavillon .....	16
8. Questions diverses .....	17
8.1. Utilisation de la langue anglaise .....	17
8.2. Conservation du prototype international du kilogramme .....	18
8.3. Date de la prochaine session du CIPM .....	18

Recommandations adoptées par le CIPM à sa 77 <sup>e</sup> session .....	19
1 (CI-1988) : Représentation du volt au moyen de l'effet Josephson .....	19
2 (CI-1988) : Représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique ...	20
3 (CI-1988) : Mise au point de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) .....	21
Composition des comités consultatifs .....	22
<b>Proceedings of the sessions, 4, 5 and 6 October 1988</b> .....	27
1. Opening of the meeting ; quorum ; agenda .....	27
2. Report of the Secretary of the CIPM .....	28
3. Report on the activity of the bureau of the CIPM .....	30
4. Consultative Committees .....	32
4.1. CCEMRI .....	32
4.2. CCM .....	33
4.3. CCE .....	34
Joint meeting of the CCPR and CCE-GTRF .....	35
4.4. Report on the progress of the ITS-90 .....	35
4.5. Future meetings .....	36
5. Work of the BIPM ; Report of the Director .....	37
6. Administrative and financial questions .....	39
7. Nouveau Pavillon .....	41
8. Miscellaneous subjects .....	42
8.1. Use of English .....	42
8.2. Conservation of the kilogram prototype .....	43
8.3. Date of next CIPM meeting .....	43
Recommandations adopted by the CIPM during its 77th meeting .....	44
1 (CI-1988) : Representation of the volt by means of the Josephson effect ...	44
2 (CI-1988) : Representation of the ohm by means of the quantum Hall effect.	45
3 (CI-1988) : Preparation of the International Temperature Scale of 1990 (ITS- 90) .....	46
<b>Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures</b> (octobre 1987 — septembre 1988) .....	47
I. Personnel. — Nominations (V. D. Huynh, F. Delahaye, P. Bréonce, H. Konaté). Titularisations (C. Angot). Engagements (R. Köhler, J.-B. Caucheteux, J. Sanjaime, M. Boutillon, L. Robertsson, A. Picard). Départs (C. Gilbert, G. Boutin, J. Hamon, P. Giacomo) .....	47
II. Bâtiments. — Observatoire (réfection de la toiture). Nouveau Pavillon (achèvement des travaux, début d'emménagement). Dépendances (rempla- cement des arbres dans l'allée du Mail et l'allée des neutrons, mise en service des nouveaux garages). Réfection de l'appartement du directeur.	49
III. Instruments et travaux .....	49
Remarques générales .....	49
1. Longueurs, lasers .....	51
1.1. Longueurs .....	52
1.1.1. Règles divisées (règle N° 46 [Roumanie], règle N° 0114-77 [Hongrie]).	52
1.1.2. Étalons à bouts plans (8 calibres [Roumanie]) .....	52

1.2. Lasers .....	53
1.2.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 633$ nm (comparaisons de lasers du BIPM, comparaisons entre l'OMH et le BIPM, entre l'INM et le BIPM, entre le NRLM et le BIPM, entre le CSMU, l'ASMW, le VNIIM, l'OMH et le BIPM), remplissage et vérification des cuves à iode) .....	53
1.2.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 612$ nm .....	55
1.2.3. Lasers à argon (asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 515$ nm, étude de cuves à iode) .....	55
1.2.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane à $\lambda = 3,39$ $\mu\text{m}$ (lasers asservis en cuve interne : comparaison avec le NRLM, en cuve externe, étude des tubes à décharge et des cuves à méthane) .....	56
1.2.5. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 543$ nm .....	58
2. Masses et grandeurs apparentées .....	58
2.1. Masses .....	58
2.1.1. Étalons prototypes en platine iridié (fabrication des prototypes N° 69 [Portugal] et N° 70 [Rép. Féd. d'Allemagne], polissage et ajustage de N° 71 à N° 74) .....	58
2.1.2. Études d'étalons de masse (N2 et N3 en « Nicral D » [BIPM], LMN5 « Immaculate V » [Norvège], en acier inoxydable du BCMN [Belgique]) .....	59
2.1.3. Balances Ruelprecht de portée 1 kg, 50 g et 20 g .....	59
2.1.4. Balance NBS-2 (automatisation des lectures des positions d'équilibre) .....	59
2.1.5. Balance Mettler HK 1000 MC .....	61
2.1.6. Balance à suspensions flexibles (recherche d'une cinquième force liée à l'isospin nucléaire) .....	61
2.2. Gravimétrie (étude de la variation à long terme de l'accélération due à la pesanteur) .....	66
2.3. Manométrie .....	67
2.3.1. Manobaromètre normal .....	67
2.3.2. Études courantes (jauges de pression Ruska et Garrett, manomètre Crouzet) .....	67
3. Échelles de temps .....	67
3.1. Établissement du TAI et de l'UTC .....	67
3.2. Liaisons horaires par le Global Positioning System .....	68
3.2.1. Traitement des mesures .....	68
3.2.2. Étalonnage de retards de récepteurs du GPS .....	70
3.2.3. Réfraction ionosphérique .....	70
3.2.4. Autres travaux sur le GPS (programmes de poursuite des satellites du GPS, calcul de liaisons horaires par le GPS, comparaisons de récepteurs) .....	70
3.3. Expérience LASSO .....	71
3.4. Travaux sur les algorithmes (prédiction des marches d'horloges) .....	71
3.5. Temps atomique et théories dynamiques .....	73
3.6. Étalon de fréquence à pompage optique .....	73

4. Électricité .....	74
4.1. Effet Hall quantique .....	74
4.1.1. Mesures de la résistance de Hall quantifiée (à l'aide du comparateur cryogénique de courants continus) .....	74
4.1.2. Étude de nouveaux échantillons (hétérojonctions du type GaAs/AlGaAs, transistors MOS à effet de champ) .....	75
4.1.3. Construction d'un deuxième comparateur cryogénique de courants continus .....	77
4.2. Comparaison internationale restreinte d'étalons de résistance de $1\ \Omega$ (CSIRO, ETL, VNIIM, LCIE, NBS, NIM, NPL, NRC, OFMET, PTB, VSL, BIPM) .....	77
4.3. Conservation de $V_{76-B1}$ (à l'aide de l'effet Josephson) .....	79
4.4. Études courantes (22 piles étalons [Rép. Pop. de Chine, Roumanie, Irlande, Yougoslavie]) .....	80
4.5. Étude de l'effet Josephson dans $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .....	80
4.6. Activités relatives aux travaux du CCE .....	80
5. Radiométrie, photométrie .....	81
5.1. Radiométrie (techniques liées aux photodiodes autocalibrées) .....	81
5.2. Photométrie .....	82
5.2.1. Comparaison internationale (1985) (intensité et flux lumineux) ..	82
5.2.2. Études courantes (étalonnage de 6 lampes [Yougoslavie]) .....	83
6. Rayonnements ionisants .....	83
6.1. Dosimétrie .....	83
6.1.1. Rayons X (comparaison d'étalons d'exposition entre le BIPM et l'ARL, étalonnage de chambres d'ionisation [Yougoslavie], chambre d'ionisation de type PTW de l'AIEA) .....	83
6.1.2. Rayonnement $\gamma$ du $^{60}\text{Co}$ (comparaison d'étalons d'exposition de l'ARL et du BIPM, étalonnage de chambre d'ionisation [Yougoslavie], dose absorbée : remplacement de la source intense de $^{60}\text{Co}$ , dose absorbée dans le graphite, dans l'eau, équivalent de dose) .....	84
6.1.3. Mesures neutroniques (comparaison internationale de mesures de débit de kerma entre le BIPM, TNO, NPL, PTB, ETL, NBS, IAEB et NIM) .....	89
6.2. Radionucléides .....	92
6.2.1. Mesures d'activité (comparaisons internationales de mesures d'activité : $^{109}\text{Cd}$ et $^{125}\text{I}$ , participation du BIPM à la comparaison internationale de $^{125}\text{I}$ , SIR pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons $\gamma$ , automatisation des données) .....	92
6.2.2. Statistiques de comptage (effet d'un temps mort généralisé pour une source décroissante, dérivation élémentaire de la formule de Takács, autres travaux) .....	96
7. Thermométrie .....	100
7.1. Études courantes (contrôle de la résistance à $0^\circ\text{C}$ de thermomètres à résistance de platine, étalonnage de 2 sondes à résistance de platine). ..	100
8. Publications .....	100
Publications du BIPM .....	100
Metrologia .....	101
Publications extérieures .....	101
Rapports .....	103
9. Certificats et notes d'étude .....	105

IV. Activités et relations extérieures .....	107
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux .....	107
Voyages, visites, conférences, exposés du personnel .....	108
Visites et stages au BIPM .....	113
V. Comptes .....	117
Index .....	123

---

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal : Imprimeur, 1989, n° 6781  
ISBN 92-822-2104-0

ACHEVÉ D'IMPRIMER : JUIN 1989

Imprimé en France