

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

# PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES

---

2<sup>e</sup> SÉRIE — TOME 46

---

67<sup>e</sup> SESSION — 1978  
(19-22 septembre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

Dépositaire : OFFILIB, 48 rue Gay-Lussac, F-75005 Paris

ISBN 92-822-2052-4

## NOTICE HISTORIQUE

### Les organes de la Convention du Mètre

*Le Bureau International, le Comité International et la Conférence Générale des Poids et Mesures*

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 au moins une fois tous les six 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 au moins une fois tous les deux 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.

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. La dotation du Bureau International pour l'année 1978 est de l'ordre de 6 000 000 de francs-or, soit environ 2 400 000 dollars U.S.

---

(1) Au 31 décembre 1978, quarante-cinq 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), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

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 modifications à apporter aux définitions et aux valeurs des 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 (*Procès-Verbaux CIPM*, **31**, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé d'un délégué 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 sept :

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* (CEMRI), 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.

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 rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicopiés).

Le Bureau International publie de temps en temps, sous le titre *Les récents progrès du Système Métrique*, un rapport sur les développements du Système Métrique (SI) dans le monde.

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 22 SEPTEMBRE 1978

---

### *Président*

1. J. V. DUNWORTH, Ancien Directeur du National Physical Laboratory (Grande-Bretagne); aux bons soins du Directeur du BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92310 *Sèvres* (France).

### *Vice-Président*

2. P. HONTI, Ancien Vice-Président de l'Office National des Mesures, Németsvölgyi ut. 37-39, 1124 *Budapest*.

### *Secrétaire*

3. J. DE BOER, Directeur de l'Institut de Physique Théorique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, *Amsterdam-C*.

### *Membres*

4. E. AMBLER, Directeur du National Bureau of Standards, *Washington D.C. 20234*.
5. L. CINTRA DO PRADO, Professeur à l'Université de São Paulo, Alameda Rocha Azevedo 1274 (Apt. 71), *São Paulo, S.P. 01410*.
6. B. GUINOT, Astronome titulaire de l'Observatoire de Paris, 61 avenue de l'Observatoire, 75014 *Paris*.
7. B. M. ISSAEV, Vice-Président du Comité d'État des Normes du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S., Leninski prosp. 9 b, 117049 *Moscou*.
8. H. H. JENSEN, Professeur, H. C. Ørsted Institutttet, Universitetets Fysiske Laboratorium 1, Universitetsparken 5, 2100 *København Ø*.

9. D. KIND, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 *Braunschweig*.
10. F. J. LEHANY, Directeur du National Measurement Laboratory, P. O. Box 218, Bradfield Road, *Lindfield*, N.S.W. 2070 (Australie).
11. J. M. OTERO, Ancien Président de la Junta de Energia Nuclear, Alfonso XII, 32, *Madrid* 14.
12. A. PERLSTAIN, Directeur de l'Office Fédéral de Métrologie, Lindenweg 24, 3084 *Wabern* (Suisse).
13. H. PRESTON-THOMAS, Directeur Associé de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, *Ottawa* K1A OS1.
14. Y. SAKURAI, Directeur du National Research Laboratory of Metrology, 10-4, 1-Chome, Kaga, Itabashi-ku, *Tokyo*.
15. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 *Uppsala* 1 (Suède).
16. R. STEINBERG, Chef du Département de Physique et Métrologie, Instituto Nacional de Tecnologia Industrial, 1101 *Buenos Aires*.
17. A. R. VERMA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, *New Delhi* 12.
18. ...

#### *Membres honoraires*

1. A. V. ASTIN, Director-Emeritus, National Bureau of Standards, *Washington* D.C. 20234.
2. G. D. BOURDOUN, Institut de Métrologie, Chaire de Métrologie, Vadkovski per. 3 a, Stankin, *Moscou* A-55.
3. L. M. BRANSCOMB, Old Orchard Road, *Armonk*, N.Y. 10504.
4. L. DE BROGLIE, de l'Académie Française, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, 94 rue Perronet, 92200 *Neuilly-sur-Seine*.
5. N. A. ESSERMAN, 2/29 A Stawell Street, *Kew*, Victoria 3101.
6. R. H. FIELD, 32 Highgate Gardens, *St. Michael* (Barbados).
7. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, *Ottawa*, Ontario K2P 2G2.
8. M. KERSTEN, Knappstrasse 8, 3300 *Braunschweig*.
9. M. SIEGBAHN, Frescati, Fack, 104 05 *Stockholm*. \*
10. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, 1180 *Wien*.

---

\* Le Bureau International des Poids et Mesures a appris avec un vif regret le décès de M. Siegbahn survenu le 24 septembre 1978.

---

# LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1<sup>er</sup> JANVIER 1979

---

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

## LABORATOIRES

### *Physiciens Chercheurs principaux*

A. Allisy, A. Rytz, P. Carré.

### *Physiciens et Métrologistes*

G. Leclerc, A. Sakuma, J. Hamon,  
J. W. Müller, J. Bonhoure,  
T. Witt, V. D. Huynh, G. Girard,  
J.-M. Chartier, P. Bréonce,  
D. Reymann, J. Azoubib.

### *Techniciens et Calculateurs*

L. Lafaye, J. Hostache, C. Colas,  
C. Veyradier, D. Carnet, F. Lesueur,  
R. Felder, R. Pello,  
M<sup>me</sup> M.-J. Coarasa, D. Avrons,  
C. Garreau, D. Bournaud,  
M<sup>me</sup> A. Chartier, M<sup>me</sup> M. Czerwonka.

### *Atelier de mécanique*

R. Michard.  
G. Boutin, B. Bodson, J. Leroux,  
C. Gilbert, J. Dias, F. Perez,  
D. Rotrou.

## ADMINISTRATION ET SERVICES

### *Métrologiste rédacteur*

H. Moreau.

### *Administrateur*

J. Gaillard.

### *Secrétaires*

M<sup>lle</sup> J. Monprofit, M<sup>mes</sup> D. Müller,  
M. Petit, L. Coquan-Delfour,  
M.-J. Martin.

### *Gardiens*

A. Montbrun, L. Lecoufflard.

### *Services d'entretien généraux*

A. Gama.  
4 employés (contractuels).

*Directeurs honoraires* : Ch. Volet, J. Terrien

---

## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

---

1. Ouverture de la session; quorum; ordre du jour.
  2. Rapport du Secrétaire du CIPM.
  3. Rapports des Comités Consultatifs (CCT, CCU, CCE) et enquêtes du BIPM (masses, pressions, évaluation des incertitudes).
  4. Présidences et réunions futures des Comités Consultatifs.
  5. Préparation de la 16<sup>e</sup> CGPM.
  6. Travaux du BIPM.
  7. Visite des laboratoires et du Dépôt des prototypes métriques.
  8. Affaires administratives.
  9. Questions diverses.
-

67<sup>e</sup> SESSION (SEPTEMBRE 1978)

---

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES À SÈVRES

Présidence de Mr J. V. DUNWORTH

---

Le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) s'est réuni au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, pour sa 67<sup>e</sup> session, du mardi 19 au vendredi 22 septembre 1978. Il a tenu sept séances.

Étaient présents : MM. AMBLER, DE BOER, CINTRA DO PRADO, DUNWORTH, GUINOT, HONTI, JENSEN, KIND, LEHANY, PERLSTAIN, PRESTON-THOMAS, SAKURAI, SIEGBAHN \*, STEINBERG, GIACOMO (directeur du BIPM).

Assistaient aussi aux séances :

Mr QUINN (sous-directeur du BIPM);

invités : MM. DEAN (directeur du NPL, Teddington) et TERRIEN (directeur honoraire du BIPM),

interprète : Mr Vigoureux,

secrétaire : Mlle Monprofit.

Excusés : MM. ISSAEV et OTERO.

Absent : Mr VERMA.

Pendant sa session, le CIPM a reçu la triste nouvelle du décès de l'un de ses membres, E. DJAKOV, survenu le 15 septembre 1978; quelques instants de silence ont été observés à sa mémoire.

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

Le *Président* ouvre la séance en constatant que le quorum est atteint et que le CIPM peut délibérer valablement. Il souligne que c'est la première réunion à laquelle assistent Mr Giacomo comme directeur du BIPM et Mr Quinn comme sous-directeur.

---

\* Mr Siegbahn n'a pu assister aux deux dernières séances.

Il est heureux de voir que Mr Lehany peut à nouveau reprendre ses activités après une grave maladie. Il salue aussi la nomination de Mr Ambler comme directeur du NBS. Il accueille enfin Mr Dean (directeur du NPL, Teddington) qui a été invité à participer à la présente session du CIPM.

Le *Président* accueille tout particulièrement les trois nouveaux membres élus au CIPM.

Mr Guinot, de nationalité française, est bien connu déjà du CIPM comme spécialiste du temps et des fréquences et comme directeur du Bureau International de l'Heure; en 1976, il avait été invité à parler devant le Comité des problèmes posés par la mise en pratique du TAI.

Mr Jensen, de nationalité danoise, est un spécialiste des questions d'unités. Il est le porte-parole de l'ISO/TC 12 au Comité Consultatif des Unités depuis la création de ce Comité. Sa collaboration au CIPM sera précieuse.

Enfin, Mr Steinberg, de nationalité argentine, qui est un spécialiste de la métrologie appliquée, apportera au CIPM sa connaissance des problèmes spécifiques de l'Amérique du Sud.

Le *Président* transmet au Comité les excuses qu'il a reçues de MM. Issaev et Otero. Il craint que, pour des raisons différentes, ces membres n'aient plus à l'avenir la possibilité de prendre part aux travaux du CIPM.

A l'intention des nouveaux membres, le *Président* précise que le Comité essaie de travailler de façon la moins formaliste qui soit. Il souligne l'intérêt que présentent, à son avis, les discussions qui peuvent avoir lieu entre les membres en dehors des séances. L'une des tâches essentielles du CIPM est d'essayer d'anticiper les situations et de prendre les mesures qui s'imposent.

Le *Président* rappelle que, compte tenu de l'important développement de la technologie, les besoins en métrologie ne font que croître. Des laboratoires de métrologie se créent dans de nombreux pays et s'orientent naturellement vers les applications. C'est ainsi que, pour répondre à la demande, le Bureau International a créé sa section des rayonnements ionisants il y a un peu plus de quinze ans. A l'heure actuelle, de nouveaux problèmes se posent pour le CIPM. Convient-il, par exemple, d'étendre aux forces et aux pressions le travail actuel du BIPM dans le domaine des masses? Convient-il de créer un comité consultatif pour traiter ces questions? Il est évident qu'il y a une demande de plus en plus forte pour tout ce qui concerne la métrologie appliquée. Il faut aussi garder présent à l'esprit que le BIPM ne dispose que de moyens très limités et ne peut se consacrer qu'à un nombre restreint de travaux expérimentaux.

La Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) est l'autorité responsable des organes de la Convention du Mètre. Le CIPM était à l'origine chargé des problèmes techniques. Depuis sa création, l'éventail

des questions techniques s'est élargi considérablement; aujourd'hui, les questions techniques sont traitées par les Comités Consultatifs et le CIPM traite des problèmes d'organisation, du rôle et des besoins de la métrologie.

Le projet d'ordre du jour est adopté.

Le secrétaire du CIPM, Mr *de Boer*, présente ensuite son rapport.

## 2. Rapport du Secrétaire du CIPM

(septembre 1977 — septembre 1978)

1. *États membres de la Convention du Mètre.* — La liste des États membres est restée inchangée; elle comporte toujours 45 États.

### 2. Membres du CIPM

*Démissions.* — Mr A. Maréchal, par lettre du 24 octobre 1977, et Mr J. Stulla-Götz, lors de notre dernière session, nous ont annoncé leur décision de se retirer du CIPM, Nous n'avons pu que nous incliner devant les raisons personnelles qui ont motivé leur décision et leur exprimer nos regrets.

*Élections.* — A la suite de trois votes par correspondance à scrutin secret, trois nouveaux collègues ont été élus membres du Comité International:

Mr Bernard GUINOT a été élu le 25 janvier 1978 au siège laissé vacant par A. Maréchal;

MM. Henning Højgaard JENSEN et Rafael STEINBERG ont été élus le 7 septembre 1978 aux sièges laissés vacants par J. Stulla-Götz et M. Sandoval Vallarta.

Mr B. Guinot, astronome à l'Observatoire de Paris et directeur du Bureau International de l'Heure, a représenté l'Union Astronomique Internationale au Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde depuis 1968. Mr H. H. Jensen, professeur à l'Université de Copenhague, a représenté le Comité Technique 12 de l'ISO au Comité Consultatif des Unités depuis sa création. Mr R. Steinberg est chef du département de physique et métrologie de l'Institut National de Technologie Industrielle de Buenos Aires.

### 3. Réunions de Comités Consultatifs

— La Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants s'est réunie les 12 et 13 décembre 1977, sous la présidence de Mr W. A. Jennings, pour compléter sa 4<sup>e</sup> réunion (mai 1977); exceptionnellement, cette réunion complémentaire a eu lieu au NBS, à Gaithersburg, la plupart des membres de la Section I se trouvant réunis aux États-Unis d'Amérique à l'occasion d'un symposium de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique.

— Le Comité Consultatif de Thermométrie a tenu sa 12<sup>e</sup> session les 9 et 10 mai 1978 sous la présidence de Mr H. Preston-Thomas.

— Le Comité Consultatif des Unités a tenu sa 6<sup>e</sup> session du 17 au 19 mai 1978 sous la présidence de Mr J. de Boer.

— Le Comité Consultatif d'Électricité a tenu sa 15<sup>e</sup> session les 13 et 14 septembre 1978 sous la présidence de Mr F. J. Lehany. Auparavant, le Groupe de travail « pour les Grandeurs aux radiofréquences » a tenu sa 5<sup>e</sup> réunion du 25 au 27 juillet 1978 sous la présidence de Mr A. E. Bailey.

Ces quatre dernières réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

4. *Bureau du CIPM.* — Le bureau du CIPM s'est réuni plusieurs fois au Pavillon de Breteuil; les diverses questions soulevées à ces réunions ont en outre fait l'objet d'une correspondance suivie entre les membres du bureau. La préparation de la prochaine Conférence Générale des Poids et Mesures et de la présente session du CIPM, le fonctionnement du BIPM, des Comités Consultatifs et des différents Groupes de travail y ont été régulièrement discutés, ainsi que les propositions en vue de l'élection des nouveaux membres du CIPM. Les propositions qui vous seront présentées par le bureau du Comité résultent de ces discussions.

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 :

	1975	1976	1977	1978
Fonds ordinaires .....	4 448 364,62	5 455 315,24	5 304 386,84	6 944 249,39
Caisse de retraites .....	682 419,48	855 396,40	1 096 293,67	1 366 601,28
Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique .....	39 465,59	39 465,59	0,00	441 792,00
Caisse de prêts sociaux .....	7 156,34	10 811,45	31 968,15	11 968,68
Totaux .....	5 177 406,03	6 360 988,68	6 432 648,66	8 764 611,35

Ce rapport ne donne lieu à aucune remarque particulière, sinon à un échange de vues sur le problème posé par la parité du franc-or, qui est demeurée inchangée depuis 1969 par rapport au franc français et depuis 1971 et 1973 respectivement par rapport au franc suisse et au dollar.

### 3. Rapports des Comités Consultatifs et enquêtes du BIPM

#### Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)

Mr *Preston-Thomas*, président du CCT, signale que le rapport envoyé à tous les membres du CIPM est un résumé des décisions prises lors de la 12<sup>e</sup> session du CCT, les 9 et 10 mai 1978 (*voir* p. T 1). Un rapport beaucoup plus complet a été rédigé à l'intention des participants; il sera distribué aux membres du CIPM qui le souhaiteraient.

Mr *Preston-Thomas* rappelle qu'à sa session de 1976 le CIPM avait approuvé les grandes lignes d'une échelle des basses températures et donné au CCT l'autorisation de la mettre en application. En effet, la situation était telle que chaque laboratoire national avait son échelle propre. Il était donc urgent de se mettre d'accord pour choisir une échelle acceptée de tous. L'établissement de cette échelle (« Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K (EPT-76) ») a demandé plus de temps que prévu et elle n'a été prête que peu de temps avant la session de 1978 du CCT (1). Elle a pu être diffusée aux participants à la « XV<sup>e</sup> Conférence internationale sur la physique à basse température » qui s'est tenue à la fin du mois d'août 1978 à Grenoble (2).

Le Comité Consultatif de Thermométrie a par ailleurs fait un certain nombre de recommandations en vue du remplacement de l'EIPT-68.

(1) Ce volume, p. T 7; *Metrologia*, 15, 1979, p. 65 (texte anglais).

(2) *J. Phys.*, 39, 1978, Colloque C-6, Vol. III, p. 1631.

D'après le programme de travail envisagé, le CCT prévoit qu'une nouvelle échelle pourrait être proposée à la CGPM en 1987.

Il serait souhaitable d'avoir l'approbation de la 16<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures pour l'EPT-76 et son accord sur le programme envisagé pour le remplacement de l'EIPT-68.

Après discussion, le Comité International approuve les divers points de la Recommandation T 1 (1978) du CCT et convient qu'aucune résolution formelle ne sera présentée à la CGPM. La situation sera exposée dans le rapport que fera Mr Preston-Thomas devant la CGPM, ce qui permettra aux délégations de donner leur avis.

En ce qui concerne la composition du CCT, Mr *Preston-Thomas* est d'avis que tout laboratoire qui souhaite participer aux travaux du CCT puisse le faire. La façon dont travaille le CCT par petits groupes chargés d'un domaine bien particulier permet d'éviter l'écueil que constituerait un Comité trop nombreux.

#### **Comité Consultatif des Unités (CCU)**

Mr *de Boer*, président du CCU, indique que lors de sa 6<sup>e</sup> session qui s'est tenue du 17 au 19 mai 1978, le CCU s'est surtout occupé de la révision de la 3<sup>e</sup> édition (1977) de la brochure du BIPM « Le Système International d'Unités (SI) » (voir le rapport p. U 1).

Un point particulièrement délicat est celui des unités à maintenir temporairement avec le SI (tableau 10). Ce point a été longuement discuté. C'est au CIPM qu'il appartient de prendre la décision d'éliminer de ce tableau les unités qu'il estime maintenant périmées.

Mr *de Boer* aborde ensuite la question du *symbole du litre*, question que le CIPM avait déjà discutée en 1976. Les opinions semblent avoir un peu évolué. Un plus grand nombre de membres du CIPM paraissent favorables à l'adoption du symbole L en plus du symbole actuel l. Il subsiste toutefois certaines réticences.

Mr *Perlstein* craint qu'une demande semblable ne soit faite pour toute une liste de symboles dont les ordinateurs s'accommodent mal, puisqu'ils n'acceptent le plus souvent d'écrire que les majuscules de l'alphabet latin, exclusivement. Il y a là une question de principe et il craint que l'adoption de L ne constitue un précédent grave.

Mr *Lehany* indique que l'Australie, qui se trouve comme les États-Unis d'Amérique et le Canada dans la période de passage aux mesures métriques, a adopté L comme second symbole.

Mr *Honti* note que, si l'on autorise l'emploi de L comme second symbole, les pays qui passent aux mesures métriques pourront utiliser L, mais les autres pays pourront conserver l et ne seront pas dans l'obligation de modifier leur législation.

Mr *Guinot* est favorable à l'utilisation de L, mais il pense que le

CIPM doit prendre une décision; à son avis, il est dangereux de laisser un choix entre deux symboles, cela créerait un précédent.

Mr *Steinberg* considère aussi l'unification des symboles comme fondamentale; c'est pour lui la philosophie même du SI qui est en cause.

On remarque cependant que le litre n'est pas une unité SI mais une unité en usage avec le SI (tableau 8).

Le *Président* résume la situation. En 1976, le CIPM était opposé à l'adoption de L. Aujourd'hui, il est net que la tendance est d'accepter aussi L. Par ailleurs, un certain nombre de pays, dont l'U.R.S.S., sont opposés à l'élimination du symbole l.

Mr *de Boer* pense qu'à ce stade de la discussion il convient de faire une proposition à soumettre au vote de la CGPM (*voir* p. 13 le projet de résolution E).

Le CCU a aussi donné son avis sur la question du changement de définition de l'unité SI photométrique, la *candela*, et recommandé que le nom spécial *sievert* (symbole Sv) soit adopté pour l'unité joule par kilogramme dans le domaine de la radioprotection. Deux projets de résolutions dans ce sens seront présentés à la 16<sup>e</sup> CGPM (*voir* p. 12 et p. 13).

#### **Comité Consultatif d'Électricité (CCE)**

Mr *Lehany*, président du CCE, rend compte des travaux de ce Comité Consultatif qui s'est réuni du 13 au 15 septembre 1978 (*voir* p. E 1).

Entre autres questions on a étudié le programme de travail du BIPM. Plusieurs suggestions conduisent à développer ce programme. L'idée qui a présidé à ces suggestions était de doter le BIPM d'un solide service d'étalonnage pour les pays demandeurs. Si le programme suggéré est accepté par le CIPM il sera incorporé dans le programme général qui doit être soumis à la CGPM. En plus des comparaisons traditionnelles des étalons « primaires » avec ceux du BIPM, le CCE s'est aussi préoccupé des comparaisons d'étalons des grandeurs dérivées. Il est en général difficile de passer des unités de base aux unités dérivées; il est donc nécessaire de s'appuyer sur des comparaisons pour assurer l'uniformité des mesures des grandeurs dérivées. Cela existe dans une certaine mesure pour les grandeurs électriques aux radiofréquences. Mais il est souhaitable que ces comparaisons puissent être ouvertes à tous.

Le CCE a fait trois recommandations (p. E 7). La recommandation E 1 (1978) demande de poursuivre les recherches sur les différentes réalisations des unités électriques. En effet, il semble que les déterminations indirectes utilisant les constantes physiques fondamentales soient plus exactes que les déterminations directes et qu'il existe entre ces deux types de déterminations des désaccords inexplicables; il faut élucider l'origine de ces désaccords.

La recommandation E 2 a été faite à la suite d'une discussion détaillée

sur l'intérêt que présenterait une méthode uniforme pour exprimer l'exactitude des résultats. En attendant les conclusions de l'étude du Groupe de travail du CIPM sur les incertitudes, qui a été amorcée en 1977, le BIPM devrait établir pour chaque comparaison une règle conventionnelle pour l'expression des résultats.

La recommandation E 3 fait suite à l'information parvenue au CCE de la création par l'Organisation Internationale de Métrologie Légale d'un secrétariat chargé d'assurer l'uniformité des étalons primaires nationaux utilisés pour étalonner les instruments de mesure électriques. Le CCE a pensé qu'il lui appartenait d'attirer l'attention du CIPM sur le risque d'interférence avec les activités du BIPM et du CCE. Ce risque vient de ce que, dans plusieurs pays, ce ne sont pas les mêmes personnes qui sont en relation avec le BIPM et avec l'OIML.

Le *Président* ne pense pas que le CIPM doive approuver officiellement la recommandation E 3. C'est une question qui doit être traitée directement entre le directeur du BIPM et le directeur du Bureau International de Métrologie Légale.

En revanche, la recommandation E 1 doit faire l'objet d'un projet de résolution à présenter à la 16<sup>e</sup> CGPM (*voir* p. 13).

#### **Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)**

Il n'y a pas eu de réunion du CCDM depuis 1973, mais le BIPM a envoyé, fin octobre 1977, un questionnaire sur les lasers asservis et la définition du mètre. Un second questionnaire concernant plus spécifiquement la définition du mètre a été envoyé en mars 1978.

Mr *Giacomo* présente le rapport (*voir* p. A 1), rédigé par le BIPM et approuvé par correspondance, sur les réponses à ces deux questionnaires. Dans l'ensemble, les laboratoires sont favorables à un changement de la définition du mètre; mais il ne ressort pas encore clairement dans quelle direction ce changement doit être fait, ni comment la nouvelle définition serait mise en pratique. C'est là un aspect important du problème. Il semble prématuré pour le moment de proposer une nouvelle définition du mètre si l'on n'est pas en mesure d'indiquer les moyens de la mettre en œuvre.

Le CCDM devra se réunir prochainement, mais l'on ne peut envisager de proposition à présenter à la CGPM que pour 1983.

#### **Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)**

Mr *Giacomo* présente au CIPM, à titre d'information, le rapport du Groupe de travail pour le pilotage du TAI. Ce Groupe s'est réuni en août 1978 à Helsinki à l'occasion de l'Assemblée Générale de l'URSI. Tous les membres du Groupe de travail ont approuvé les initiatives prises par le BIH pour le pilotage du TAI.

## Enquêtes du BIPM

### *Groupes de travail sur les masses*

Mr *Giacomo* présente trois rapports provisoires donnant l'état d'avancement des travaux des trois Groupes de travail créés à la suite de la réunion internationale sur les masses (voir *Procès-Verbaux CIPM*, 1977, pp. 8 et 9).

Le *Groupe de travail 1* est chargé d'étudier et de proposer une formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide, formule conventionnelle qui permettrait d'uniformiser le calcul de la correction de poussée de l'air. En effet, dans l'état actuel des choses, chaque laboratoire utilise sa propre formule et l'on obtient des résultats différents pour des conditions expérimentales identiques. Les divergences, qui portent en particulier sur la teneur de l'air en argon et sur la valeur de la constante des gaz, viennent sans doute du fait que très peu de mesures ont été faites dans ces domaines au cours des 50 dernières années.

On espère qu'un accord interviendra assez rapidement entre les membres du Groupe de travail. Mr *Giacomo* souligne l'intérêt d'une formule conventionnelle. La situation est comparable à celle qui existe en thermométrie pour l'EIPT. Une formule conventionnelle permettrait au moins de comparer les résultats des mesures de masse faites dans les différents laboratoires.

Le *Groupe de travail 2* est chargé de rassembler des renseignements sur les méthodes de mesure de la poussée de l'air. Il n'a malheureusement pas recueilli beaucoup d'informations pour le moment. Deux études relativement récentes ont été faites sur cette question, l'une en U.R.S.S., l'autre au NBS (une autre est en cours au Danemark). L'exactitude est assez faible. Elle est inférieure à ce qui est souhaitable ( $1 \times 10^{-5}$ ).

Le *Groupe de travail 3* est chargé d'étudier l'influence de l'atmosphère ambiante, du nettoyage et des conditions de conservation sur la stabilité à long terme des étalons de masse. Un questionnaire a été envoyé à un certain nombre de laboratoires et à quelques fabricants d'étalons de masse. Pour ce qui est de l'étude de la conservation des étalons en Pt-Ir, le BIPM est assurément le mieux placé car il est le seul à posséder plusieurs étalons de travail de ce type. Certains laboratoires ont fait des études sur la conservation des étalons en acier inoxydable, mais les méthodes ne sont pas du tout normalisées. Des précautions sont prises par tous les laboratoires, sans que celles-ci soient fondées sur des analyses systématiques. Les laboratoires sont d'accord pour souhaiter que l'on étudie l'influence des conditions ambiantes. L'influence de la poussière est bien établie, mais il n'en est pas de même pour l'influence de l'humidité par exemple. Il serait intéressant de savoir s'il existe vraiment des influences à long terme, mais il est difficile de soumettre deux objets à des influences différentes au cours d'une même pesée. Les problèmes de nettoyage méritent aussi une étude car les techniques sont très différentes

d'un laboratoire à l'autre. Certains laboratoires ont émis le vœu que le Groupe de travail 3 fasse des recommandations sur la façon de conserver et de nettoyer les étalons de masse. Le NRLM (Japon) souhaite même qu'un manuel soit rédigé sous les auspices du BIPM.

### *Enquête sur les pressions*

Mr *Giacomo* présente ensuite un résumé des réponses à un questionnaire que le BIPM avait envoyé sur les mesures de pression. La situation dans les différents laboratoires est très variable; cela va d'une activité quasi nulle dans certains laboratoires à des recherches fondamentales dans d'autres. De même, le domaine des pressions auxquelles s'intéressent les laboratoires est très varié. Des comparaisons ont déjà été faites entre quelques laboratoires. La plupart pensent qu'il serait utile d'organiser d'autres comparaisons. Certains proposent de jouer le rôle de laboratoires pilotes et sont prêts à fournir des étalons de transfert. La réunion d'un groupe d'experts au BIPM est souhaitée par la majorité des laboratoires.

A ce point, le *Président* pose une question au CIPM : ne conviendrait-il pas de créer un nouveau comité consultatif qui s'occuperait des problèmes posés par les masses, les pressions et les forces?

Mr *Preston-Thomas* se rallie à cette proposition. A son avis, il ne serait pas nécessaire que ce comité se réunisse fréquemment.

Mr *Kind* dit qu'en général il est peu favorable à la création de nouveaux comités ou de nouvelles commissions; il a toutefois, dans ce cas particulier, l'impression que ce serait une excellente occasion de montrer que les organes issus de la Convention du Mètre s'estiment compétents dans ce domaine.

Mr *Lehany* est favorable à la création d'un comité consultatif; il lui paraît important que le CIPM ait une action dans ce domaine.

Mr *Ambler*, tout en tenant compte de la charge de travail qui pèse déjà sur le BIPM, pense que dans le domaine des masses un comité consultatif aurait sa raison d'être. En revanche, dans le domaine des forces et des pressions il convient d'être très prudent et de définir le domaine d'action.

Pour Mr *Preston-Thomas*, la situation est comparable à celles du CCE et du CCT. Un comité consultatif peut créer des groupes de travail pour différents domaines; c'est ce qu'a fait le CCT.

Mr *Ambler* estime essentiel d'établir des priorités.

Afin d'être en mesure de faire une proposition sur les domaines précis d'intérêt et de compétence du nouveau comité consultatif envisagé, Mr *Kind* souhaite discuter de cette question avec les responsables dans son laboratoire.

Le *Président* résume la discussion en demandant que les éléments de cette proposition soient communiqués au bureau du CIPM avant la prochaine session.

### *Questionnaire sur les incertitudes*

Le BIPM avait envoyé en février 1978 un questionnaire sur l'évaluation et l'expression des incertitudes des mesures. Ce questionnaire a suscité un grand intérêt. Les réponses, dont le dépouillement complet n'est pas encore achevé, sont très détaillées et riches en information. Si tout le monde est d'accord sur la nécessité de fournir le plus possible de détails sur les incertitudes pour les usages scientifiques, les difficultés surgissent dès qu'on veut soumettre ces incertitudes à un traitement mathématique. Les opinions deviennent très divergentes lorsqu'on cherche à caractériser l'incertitude globale par un nombre unique. Il sera vraisemblablement nécessaire d'envoyer un second questionnaire pour cerner davantage certains aspects du problème. Le but ultime serait d'arriver à une convention utilisable pour les besoins pratiques, par exemple pour les services d'étalonnage ou de métrologie légale. C'est un aspect que l'on ne peut négliger, même si l'on reconnaît que pour des buts purement scientifiques il convient de donner un maximum d'informations sur les différentes composantes de l'incertitude.

Mr *Cintra do Prado* souhaite qu'au terme de l'enquête on fasse circuler une bibliographie, car il est souvent difficile de faire la différence entre ce qui est convention et ce qui est fondé sur une certitude scientifique.

#### **4. Présidence et réunions futures des Comités Consultatifs**

U. Stille avait présidé par intérim le CCDM, jusqu'à son décès en 1976; ce Comité Consultatif est toujours sans président. Sur la proposition du *Président*, le Comité désigne à l'unanimité Mr Kind pour assurer la présidence du CCDM.

Le *Président* demande à être déchargé de la présidence du CCDS et il propose que cette tâche soit confiée à Mr Guinot qui est particulièrement qualifié. Le Comité donne son accord unanime sur cette proposition.

Mr Maréchal avait donné sa démission de la présidence du CCPR lors de la session de 1977 du CIPM. La présidence a déjà été assurée par intérim par Mr Terrien, directeur honoraire du BIPM, qui accepte de continuer à assurer cet intérim.

Mr *Ambler* signale que Mr Campion souhaite quitter la présidence de la Section II (Mesures des radionucléides) du CCEMRI. Il sera remplacé par Mr Weiss, représentant de la PTB à la Section II, dont les publications dans le domaine des étalons radioactifs sont bien connues; c'est une personnalité particulièrement qualifiée pour prendre cette charge.

Mr *Ambler* signale aussi que l'Australian Atomic Energy Commission a demandé à faire partie de cette Section II. C'est en effet un organisme qui a une activité fondamentale en Australie dans ce domaine. Par

ailleurs, l'Australian Radiation Laboratory souhaite participer aux travaux de la Section I.

Mr *Honti* propose que l'Országos Mérésügyi Hivatal (Hongrie) fasse partie de la Section II du CCEMRI. Mr *Ambler* souhaite que cette demande soit faite officiellement par écrit.

#### *Réunions futures*

Mr *Lehany* n'envisage pas qu'il soit nécessaire de réunir le CCE avant 1981.

Mr *Preston-Thomas* pense qu'il est utile que le CCT se réunisse tous les deux ans compte tenu du programme de travail qui a été envisagé pour le remplacement de l'EIPT-68. Cela laisse prévoir une réunion du CCT en 1980.

Étant donné la situation quant à une nouvelle définition du mètre, Mr *Kind* envisage une réunion du CCDM en juin 1979.

Le CCDS se réunira en 1980 suivant la demande du Groupe de travail pour le pilotage du TAI. Mr *Dean* qui avait souhaité une réunion prochaine est d'accord sur cette proposition. Mr *Guinot* ne prévoit en effet aucun changement important dans la technologie des horloges dans les deux années à venir.

Aucune réunion du CCPR n'est envisagée dans le proche avenir.

Le CCEMRI se réunira en juillet 1979, et ses trois Sections en avril et mai 1979.

### **5. Préparation de la 16<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures**

L'une des tâches les plus importantes de cette session du CIPM est la préparation de la 16<sup>e</sup> CGPM, qui doit se réunir en 1979.

Mr *Giacomo* rappelle que la Convocation officielle doit être adressée aux Ambassades des États membres de la Convention du Mètre environ un an à l'avance. Cette Convocation doit comprendre le texte des projets de résolutions qui seront soumis au vote de la Conférence Générale.

Il n'est pas encore possible de donner avec certitude les dates et le lieu de réunion de la CGPM, aucun arrangement définitif n'ayant pu encore être établi avec le Ministère des Affaires Étrangères de France qui, d'habitude, met gracieusement ses locaux et ses moyens d'interprétation simultanée à la disposition de la Conférence. En principe, la CGPM se réunirait du 8 au 12 octobre 1979. Il conviendrait alors que le CIPM se réunisse le 4 et le 5 octobre; une brève réunion du CIPM devrait encore se tenir après la fin de la CGPM.

#### *Projets de résolutions à soumettre à la 16<sup>e</sup> CGPM*

Une discussion s'engage au préalable sur l'importance pratique des résolutions de la CGPM; les opinions sont assez divergentes. Dans cer-

tains pays, les résolutions n'ont que peu d'impact sur le programme de travail du laboratoire national; il semble même que dans certains cas les recommandations des Comités Consultatifs ont plus de poids. Dans d'autres pays, au contraire, les résolutions de la CGPM servent de critère pour le choix du programme de travail et ont une grande influence sur l'attribution de crédits aux laboratoires.

Le premier projet de résolution résulte de la Recommandation P 4 (1977) du CCPR. Lors de sa réunion de septembre 1977, le CCPR avait émis quatre recommandations qui ont été présentées à la dernière session du CIPM. Les Recommandations P 1, P 3 et P 4 touchant à des questions d'unités, le CIPM avait demandé l'avis du Comité Consultatif des Unités; celui-ci a approuvé les Recommandations P 1 et P 4.

### *Projet de résolution C*

#### Définition de la candela

La Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures,

#### *considérant*

que la réalisation du corps noir étalon primaire de la candela est une entreprise ingrate donnant une précision limitée sans espoir d'amélioration sensible,

que les techniques radiométriques se développent rapidement, autorisant des précisions qui sont déjà analogues à celles de la photométrie et que ces techniques sont déjà en usage dans des laboratoires nationaux pour réaliser la candela sans avoir à construire un corps noir,

que la relation entre les grandeurs photométriques et les grandeurs radiométriques adoptée par le Comité International des Poids et Mesures en 1977, à savoir la valeur 683 lumens par watt pour la radiation monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  hertz, est reconnue comme suffisamment exacte par tous les laboratoires intéressés,

que le moment est donc venu de donner à la candela une définition susceptible d'améliorer la facilité d'établissement des étalons photométriques et leur précision,

#### *décide*

1. La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian.

2. La candela ainsi définie est l'unité de base applicable aux grandeurs photopiques, aux grandeurs scotopiques, et aux grandeurs à définir dans le domaine mésopique.

3. La définition de la candela (à l'époque appelée bougie nouvelle) décidée par le Comité International des Poids et Mesures en 1946 en vertu des pouvoirs conférés par la 8<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) en 1933, ratifiée par la 9<sup>e</sup> CGPM en 1948, puis amendée par la 13<sup>e</sup> CGPM en 1967, est abrogée.

Le CIPM a exprimé une nette préférence pour ne donner la fréquence qu'avec trois chiffres significatifs. Le CCPR sera consulté par correspondance sur ce point.

Le second projet de résolution reprend la Recommandation E 1 (1978) du CCE avec quelques modifications mineures.

### Projet de résolution B

#### Réalisation des unités électriques SI

La Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant*

l'importance pour toutes les applications des mesures électriques d'une réalisation plus exacte des unités SI, en particulier du volt et de l'ampère, les progrès récents accomplis dans ces réalisations, soit par des méthodes directes, soit indirectement par des déterminations de constantes physiques, les divergences qui subsistent entre les résultats donnés par ces différentes méthodes,

la nécessité de pouvoir comparer des réalisations indépendantes entre elles pour élucider l'origine de ces divergences,

l'amélioration de l'exactitude que l'on obtiendra dès qu'une meilleure cohérence permettra de fixer des valeurs plus exactes pour les différentes réalisations de ces unités,

*recommande* de poursuivre et d'intensifier les recherches sur la réalisation directe des unités électriques aussi bien que sur leur réalisation indirecte par des déterminations de constantes physiques.

Le troisième projet concerne le sievert, nom spécial du joule par kilogramme proposé conjointement par l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) et l'International Commission on Radiological Protection (ICRP), puis par le Comité Consultatif des Unités dans sa Recommandation U 1 (1978).

### Projet de résolution D

#### Sievert

La Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant*

l'effort fait pour introduire les unités SI dans le domaine des rayonnements ionisants,

les risques que peuvent encourir des êtres humains soumis à des irradiations sous-estimées, risques qui pourraient résulter de la confusion entre dose absorbée et équivalent de dose,

que la prolifération des noms spéciaux représente un danger pour le Système International d'Unités et doit être évitée dans toute la mesure du possible, mais que cette règle peut être transgressée lorsqu'il s'agit de sauvegarder la santé humaine,

*adopte* le nom spécial *sievert*, symbole Sv, pour l'unité SI d'équivalent de dose ou d'indice d'équivalent de dose, dans le domaine de la radioprotection. Le sievert est égal au joule par kilogramme.

Le Comité Consultatif des Unités a réitéré sa demande relative à l'adoption du symbole L pour le litre. Après en avoir délibéré longuement (*voir plus haut*), le CIPM s'est mis d'accord sur le projet suivant.

### Projet de résolution E

#### Symbole du litre

La Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*reconnaissant* les principes généraux adoptés pour l'écriture des symboles des unités dans la Résolution 7 de la 9<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (1948),

*considérant* que le symbole l pour l'unité litre a été adopté par le Comité International des Poids et Mesures en 1879 et confirmé dans cette même Résolution de 1948,

*considérant* aussi que, afin d'éviter un risque de confusion entre la lettre l et le chiffre 1, plusieurs pays ont adopté le symbole L au lieu de l pour l'unité litre,

*considérant* que le nom litre, bien qu'il ne soit pas inclus dans le Système International d'Unités, doit être admis pour l'usage général avec ce Système,

*décide*, à titre exceptionnel, d'adopter les deux symboles l et L comme symboles utilisables pour l'unité litre.

Compte tenu de l'intérêt accru porté depuis quelques années aux problèmes posés par la conservation des étalons de masse, le CIPM juge opportun de soumettre à la CGPM le projet de résolution suivant.

### *Projet de résolution A*

#### Travaux concernant les étalons de masse

La Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant*

que l'exactitude des mesures de masse suppose une parfaite conservation des étalons de masse, en particulier des Kilogrammes prototypes en platine iridié,

que la transmission de cette exactitude aux étalons de masse constitués d'autres matériaux comme les aciers inoxydables est limitée par une connaissance insuffisante de la poussée de l'air,

que cette poussée de l'air est le plus souvent calculée à partir des conditions ambiantes, mais qu'il existe des divergences significatives entre les formules utilisées pour ce calcul dans différents laboratoires,

*recommande*

que les laboratoires étudient l'influence des conditions ambiantes sur les étalons de masse et les moyens d'améliorer leur conservation,

que les laboratoires intensifient les travaux en vue d'une meilleure détermination de la poussée de l'air.

### *Dotation du BIPM*

Il appartiendra aussi à la CGPM de voter les dotations du BIPM pour les années 1981 à 1984. Dans cette période de forte inflation la nécessité de prévoir le budget si longtemps à l'avance entraîne le Comité dans de grosses difficultés. Il s'est avéré que les 12 % d'augmentation prévus pour les années 1977 à 1980 étaient insuffisants. En fait, la situation avait été envisagée puisque la Résolution 11 de la 15<sup>e</sup> CGPM avait prévu la possibilité de tenir une réunion ultérieure s'il l'avait fallu. Deux éléments ont permis d'éviter d'y avoir recours. Le précédent directeur, Mr Terrien, a retardé depuis dix ans l'engagement de personnel supplémentaire qui avait été prévu. Par ailleurs, l'adhésion de la République Populaire de Chine a apporté au BIPM un complément de ressources et c'est en fait cette adhésion qui permet au BIPM de ne pas se trouver actuellement en difficulté.

L'augmentation annuelle de la dotation ne doit pas être absorbée entièrement par l'inflation. Il ne faut pas oublier que l'accroissement

du coût des équipements, par exemple, résulte de l'inflation mais aussi de leur sophistication qui se fait plus grande chaque année. Sur le plan des salaires, l'augmentation correspond à l'inflation et à l'attente du personnel qui souhaite de meilleures conditions de vie et de travail correspondant à l'amélioration continue de sa compétence et des services rendus.

La proposition qui est faite est de demander un accroissement de la dotation de 14% par an. Si l'on étudie la répartition de la dotation entre les pays selon notre mode habituel de calcul, le problème se pose ainsi : au montant de la dotation pour 1980 on ajoute le montant de la contribution de la République Populaire de Chine, et c'est le total qui sert de base pour le calcul des dotations de 1981 à 1984.

Les coefficients de répartition sont proportionnels aux coefficients ONU, mais limités à un maximum de 10 % et à un minimum de 0,5 %.

Avec une augmentation de 14% de la dotation entre 1980 et 1981, cette règle de répartition conduirait, pour les États qui sont au maximum ou au minimum, à une augmentation de leur contribution d'environ 22 %, alors qu'elle serait seulement de 7 % environ pour les autres États. Pour que l'augmentation de 14 % soit uniformément répartie entre les États, il faut modifier les limites maximale et minimale des pourcentages de répartition en les portant respectivement à 9,2 % et 0,46 % environ. MM. de Boer et Giacomo sont chargés d'étudier un projet dans ce sens.

Mr *Giacomo* présente ensuite la première ébauche du document présentant le programme de travail et le budget du BIPM dans les quatre années 1981-1984. Ce document sera modifié conformément à la discussion précédente avant d'être soumis à la CGPM à l'appui de la proposition de dotation.

Mr *Ambler* demande en particulier que l'utilisation de la cotisation de la République Populaire de Chine ressorte clairement.

#### *Rapports des présidents des Comités Consultatifs à la CGPM*

Au cours de la discussion des projets de résolutions à soumettre au vote de la CGPM, il a été convenu que chaque président de Comité Consultatif devra présenter à cette Conférence un rapport pour évoquer les travaux exécutés, les problèmes à résoudre et les directions dans lesquelles il convient de travailler.

Il a été décidé de ne présenter aucun projet de recommandation en ce qui concerne le mètre et sa définition; en revanche, un exposé détaillé de la situation actuelle sera présenté par Mr *Kind*. Il en sera de même pour Mr *Preston-Thomas* qui exposera le programme de travail précis que le CCT s'est donné pour le remplacement de l'EIPT-68.

Mr *Giacomo* souligne que si ces rapports des présidents des Comités Consultatifs sont essentiels pour rappeler à la Conférence Générale quelques problèmes scientifiques, il n'est pas nécessaire qu'ils soient très longs.

## 6. Travaux du BIPM

La troisième séance du CIPM a été consacrée à l'exposé des travaux du BIPM en présence du personnel scientifique (*voir* le Rapport du Directeur, p. 25). Mr *Giacomo* indique que cette année les travaux de bâtiment ont empêché le fonctionnement normal de la base géodésique et de la photométrie; ces deux laboratoires sont maintenant à nouveau en état de marche.

Dans le bâtiment des rayonnements ionisants, le percement de deux fenêtres à l'étage inférieur du bâtiment a permis l'extension, devenue indispensable, du local réservé à l'ordinateur. A l'occasion de la réfection de l'appartement occupé naguère par A. Sakuma, on a pu créer en sous-sol une extension de l'atelier de mécanique. Ce sont là certainement les dernières extensions possibles à l'intérieur des locaux actuels. A l'avenir, il est peu probable que le BIPM puisse trouver des solutions simples pour assurer une extension quelconque. Ce problème risque de devenir préoccupant dans une dizaine d'années.

Dans l'ensemble des sections, il convient de noter la généralisation de petites comparaisons entre deux ou trois laboratoires et le BIPM. Ce genre de comparaisons est extrêmement précieux pour vérifier le bon fonctionnement des installations, en particulier d'installations nouvelles. Ce genre d'activité aura tendance à se développer.

Mr *Quinn*, sous-directeur, présente les travaux. Il rappelle pour mémoire la comparaison internationale de mesures de *règles divisées* qui a commencé en 1976.

Dans le domaine des *masses*, on a enfin pu faire réviser les principales balances du BIPM. On étudie sur la balance Ruedprecht de 1 kg diverses améliorations. Il serait particulièrement intéressant de faire des mesures directes de la masse volumique de l'air.

Les travaux en *thermométrie*, *photométrie* et *radiométrie* n'ont que fort peu progressé cette année. En thermométrie, on a procédé à des mesures sur les points triples du méthane et de l'argon en cellules scellées. La quantité de gaz contenue dans chaque cellule reste constante; les résultats devraient donc être plus reproductibles. Le BIPM n'a pas l'intention d'étendre son activité vers les températures inférieures à 90 K.

Mr *Lehany* demande quelle est la durée de vie des cellules scellées. Le BIPM n'a d'expérience que sur deux ans. Mais, si une cellule donne des résultats reproductibles pendant les premières années, il y a de bonnes raisons d'espérer que ses qualités se conserveront plusieurs années et même davantage. Le BIPM a aussi l'intention d'étudier le point triple de l'argon comme étalon de pression.

En ce qui concerne les *mesures électriques*, il est fondamental que des comparaisons soient faites entre la représentation de l'unité de résistance

conservée par le BIPM ( $\Omega_{\text{BIPM}}$ ) et l'ohm déterminé en unité SI par les laboratoires qui possèdent des condensateurs calculables.

Mr Allisy présente ensuite les travaux de la section des *rayonnements ionisants*.

Dans le domaine des rayons X, le CCEMRI a envisagé de remplacer les étalonnages en terme d'exposition par des étalonnages en terme d'énergie (kerma). On a fait un calcul sur les corrections supplémentaires qui seraient nécessaires. Il ressort de ce calcul qu'il y aurait peu d'intérêt à changer le type d'étalonnage. Dans le domaine des comparaisons internationales, on a poursuivi la comparaison de dose absorbée. Au BIPM, on a fait ces mesures à l'aide de la méthode ionométrique; les autres laboratoires utilisent la méthode calorimétrique.

Dans le domaine des radionucléides, le BIPM s'occupe de mesures absolues aussi bien que de mesures relatives par rapport à un étalon stable. En octobre 1978, vingt-quatre laboratoires prendront part à une comparaison de  $^{134}\text{Cs}$ ; un mois plus tard commencera une comparaison de  $^{137}\text{Cs}$  à laquelle participeront neuf laboratoires seulement à cause des difficultés de cette comparaison. Toujours dans ce domaine, le système international de référence a eu beaucoup de succès.

La comparaison internationale des mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques, organisée par le BIPM, est maintenant complètement terminée.

La séance du mercredi après-midi 20 septembre a été consacrée à la visite des laboratoires et du Caveau des Prototypes métriques.

## 7. Visite du Dépôt des Prototypes métriques

### *Procès-Verbal*

Le 20 septembre 1978, à 16 heures, en présence des membres du Comité International des Poids et Mesures et du personnel scientifique du Bureau, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clefs qui ouvrent le Dépôt : celle qui est confiée au Directeur du Bureau, celle qui est déposée aux Archives Nationales, à Paris, et que Monsieur Le Pesant avait apportée, celle enfin dont le Président du Comité International a la garde.

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

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

Température actuelle . . . . .	20,5 °C
» maximale . . . . .	22 °C
» minimale . . . . .	20 °C
État hygrométrique . . . . .	79 %

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

*Le Directeur  
du Bureau,*  
P. GIACOMO

*Le Conservateur en Chef  
des Archives de France,*  
M. LE PESANT

*Le Président  
du Comité,*  
J. V. DUNWORTH

## 8. Affaires administratives

### *Exercice 1977*

En introduisant la présentation des dépenses de l'exercice 1977, Mr *Giacomo* rappelle que 1977 était la première des quatre années (janvier 1977 à décembre 1980) pour lesquelles la dotation a été votée par la 15<sup>e</sup> Conférence Générale (mai 1975). A l'époque, il paraissait possible que l'inflation sur les cinq années suivantes soit supérieure à ce que la Conférence pouvait raisonnablement envisager. En conséquence, il fut convenu que la Conférence pourrait être convoquée à nouveau si la situation financière l'exigeait. En fait, la République Populaire de Chine a adhéré à la Convention du Mètre en 1977 et les ressources complémentaires qui résultent de cette adhésion permettront de faire face à la situation, sauf circonstances imprévues, au moins jusqu'à la réunion de la prochaine Conférence Générale en 1979.

Un élément défavorable qui n'avait pas été prévu à l'époque de la Conférence Générale en 1975 concerne l'entretien des bâtiments. La plupart des bâtiments qui abritent les laboratoires et les bureaux du BIPM sont très anciens et il n'est devenu que trop évident récemment que les travaux d'entretien ont été insuffisants depuis de nombreuses années. Il est devenu essentiel de prendre des mesures immédiates, ce qui entraîne une augmentation considérable des dépenses annuelles consacrées à l'entretien des bâtiments. Il ne serait pas déraisonnable de doubler les sommes affectées à ce poste du budget pendant cinq ans au moins et vraisemblablement davantage; l'expérience a en effet montré que l'on ne pouvait évaluer l'importance globale des travaux de réfection que lorsque ceux-ci étaient effectivement commencés. A plusieurs reprises on a découvert que les bâtiments nécessitaient des travaux de consolidation. Dans le cas de l'atelier de mécanique on a profité des travaux pour améliorer la disposition générale des locaux qui n'était pas du tout satisfaisante.

Un autre élément défavorable qui risque de devenir de plus en plus important dans les dix prochaines années est la charge de la Caisse de Retraites. L'inflation constitue un problème immédiat, mais dans l'avenir la pyramide des âges du personnel et une tendance éventuelle à avancer l'âge de départ à la retraite risqueront de nécessiter un financement complémentaire.

Certains membres du Comité se sont inquiétés de voir des ressources prévues pour le travail quotidien du BIPM absorbées par les frais généraux, mais on a admis qu'étant donné les circonstances cela était inévitable. Mr *Ambler* a noté que les sommes prévues pour les travaux de laboratoire n'avaient pas été complètement utilisées; cela résulte de la gêne due aux travaux d'entretien effectués dans certaines parties des laboratoires.

Le Comité a approuvé le rapport de l'expert-comptable pour 1977 et a donné quitus au Directeur et à l'Administrateur.

### *Projet de budget pour 1979*

En présentant le projet de budget pour 1979, Mr *Giacomo* demande que soient confirmés les points suivants :

- 1) On n'essaiera pas d'obtenir des fonds supplémentaires pour 1979 et 1980 compte tenu de la contribution de la République Populaire de Chine.
- 2) Le recrutement de personnel pourra être repris (voir plus loin).
- 3) Les dépenses pour les travaux d'entretien des bâtiments pourront être maintenues à leur niveau actuel.

MM. *Ambler*, *Preston-Thomas* et *Cintra do Prado* souhaitent recevoir des informations complémentaires sur les travaux d'entretien des bâtiments et le programme de ces travaux pour 1979; ils demandent dans quelle mesure il est réaliste d'espérer un retour au niveau de dépenses des années antérieures. Pour y répondre, Mr *Giacomo* invite le Comité à inspecter les différents bâtiments afin que chacun puisse se faire sur place une idée de la situation. Il signale en particulier la toiture de l'Observatoire, le mur de soutènement à prévoir derrière l'Observatoire en raison des risques sérieux d'éboulement, le sous-sol du Petit Pavillon, les problèmes de gros œuvre qui se sont révélés lors de la rénovation de l'appartement du Directeur et la nécessité de renouveler l'installation de détection d'incendie dans les laboratoires.

Mr *de Boer* rappelle qu'il déplore depuis quelque temps la modicité du budget prévu pour les livres et les revues et demande à Mr *Giacomo* de revoir ce poste du budget. Tout en étant d'accord avec la remarque de Mr *de Boer*, Mr *Terrien* souligne

l'importance des voyages pour que les physiciens se maintiennent au courant des progrès actuels.

Le budget pour 1979 est finalement adopté comme suit :

**Budget pour 1979**

RECETTES		Francs-or
Contributions des États.....		7 214 000
Intérêts des fonds.....		500 000
Taxes de vérification.....		10 000
Remboursement des taxes sur les achats.....		246 000
		<u>7 970 000</u>
		<u>7 970 000</u>
DÉPENSES		
<i>A. Dépenses de personnel :</i>		
1. Traitements.....	3 600 000	} 4 710 000
2. Allocations familiales.....	250 000	
3. Sécurité sociale.....	225 000	
4. Assurance-accidents.....	35 000	
5. Caisse de Retraites.....	600 000	
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>		
1. Bâtiments (entretien et réparations).....	730 000	} 1 955 000
2. Mobilier.....	30 000	
3. Laboratoires et ateliers.....	610 000	
4. Chauffage, eau, énergie électrique.....	160 000	
5. Assurances.....	20 000	
6. Impressions et publications.....	75 000	
7. Frais de bureau.....	125 000	
8. Voyages et transports d'appareils.....	187 000	
9. Bureau du Comité.....	18 000	
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>		
1. Laboratoires.....	900 000	} 1 040 000
2. Atelier de mécanique.....	60 000	
3. Atelier d'électronique.....	50 000	
4. Bibliothèque.....	30 000	
D. <i>Frais divers</i> .....		215 000
E. <i>Utilisation de monnaies non convertibles</i> .....		50 000
		<u>7 970 000</u>
		<u>7 970 000</u>

*Personnel*

Mr de Boer informe le Comité que son bureau a pris deux décisions en harmonie avec ce qui se fait dans d'autres organisations internationales. Le BIPM versera une indemnité d'éducation pour les enfants des fonctionnaires étrangers qui poursuivent leurs études dans leur pays d'origine. La seconde décision est relative aux voyages familiaux : un voyage dans le pays d'origine sera remboursé tous les deux ans aux fonctionnaires étrangers, pour eux et leur famille.

Mr de Boer expose ensuite la situation du BIPM en personnel hautement qualifié. Il pense qu'il est temps pour le BIPM d'envisager de recruter de jeunes physiciens. Cela pour deux raisons. La première est que le BIPM sera appelé à faire davantage de travail et dans des domaines plus étendus que par le passé. En effet, le BIPM sera

appelé à prendre de nouvelles initiatives en ce qui concerne les unités dérivées directement d'une ou plusieurs unités de base. Déjà, dans les domaines de l'activité actuelle du BIPM, les développements récents conduisent à mettre en œuvre des méthodes et des techniques de plus en plus élaborées et le BIPM a un besoin urgent de personnel qualifié. Par ailleurs, il faut dès maintenant penser à la relève de certains responsables qui devront être remplacés dans une dizaine d'années. Mr *Giacomo* insiste sur le niveau auquel il est nécessaire de faire ces recrutements.

Le *Président* rappelle que l'on avait envisagé de procéder à des recrutements dans les dix années antérieures, mais que l'on s'en était abstenu pour faire face au rythme élevé de l'inflation. A son avis, l'adhésion de la République Populaire de Chine permet d'envisager à nouveau de procéder à des recrutements. Mr *Giacomo* souligne la charge de travail supplémentaire réelle qu'entraîne cette nouvelle adhésion; l'accroissement des ressources du BIPM qui en résulte doit servir, au moins en partie, à recruter du personnel plutôt qu'à faire face à l'inflation.

Mr *Ambler* est satisfait de cette proposition; il ne lui semblerait pas opportun, pour le moment, de demander à la Conférence Générale des fonds supplémentaires pour procéder à des recrutements. Ceux-ci ne devront pas être décidés à la hâte et le délai dans lequel ils devront être faits doit être laissé à l'appréciation du Directeur. Par prudence, Mr *Giacomo* n'envisage pas d'effectuer de recrutements avant que la CGPM n'ait voté les dotations pour 1981-1984. Il est d'ailleurs peu probable que le BIPM trouve plus d'un ou deux bons candidats avant un an. Ensuite il faudra, d'après l'augmentation votée des dotations, adapter le recrutement aux possibilités réelles de paiement.

## 9. Questions diverses

### *Rôle et composition du CIPM*

Mr *de Boer* présente un exposé sur les tâches, les activités et la composition du Comité International des Poids et Mesures; ce document a été rédigé principalement pour susciter la réflexion et la discussion. Il rappelle que le CIPM est chargé de mettre en application les décisions de la CGPM et se demande s'il n'y aurait pas lieu d'améliorer le travail du CIPM. Des pays de plus en plus nombreux adhèrent à la Convention du Mètre. Ces pays souhaitent être tenus au courant de façon détaillée de ce qui est fait au CIPM et au BIPM. La question est de savoir comment s'y prendre pour faire participer un plus grand nombre de pays. Une possibilité consisterait à élargir le CIPM. Mais le Règlement annexé à la Convention du Mètre fixe à dix-huit le nombre des membres du CIPM. Il serait très difficile d'apporter une modification au texte de la Convention du Mètre. On peut envisager d'avoir des membres adjoints. Ces membres seraient invités à prendre part à toutes les discussions mais n'auraient pas le droit de vote. Il resterait à fixer le nombre de ces membres adjoints. Le nombre maximal de sept a été proposé, mais ce n'est qu'une suggestion.

Mr *Preston-Thomas* remercie Mr *de Boer* pour son exposé, mais il souligne qu'il convient d'en étudier toutes les implications. En premier lieu, une augmentation du nombre des participants aux travaux du CIPM modifiera la façon même dont ces travaux sont conduits. L'expérience montre que plus un comité est nombreux, moins son travail est efficace. A son avis, le chiffre de dix-huit semble un maximum. Par ailleurs, les Comités Consultatifs permettent aux différents pays d'appor-

ter leur contribution. Si l'on élargit le CIPM pour satisfaire la demande de certains pays, on risque de s'engager sur une voie dangereuse. En un premier temps on passera à 25 membres, puis à 30, à 45 et même davantage. Le résultat ultime sera que le travail réel ne sera plus fait au sein du Comité. Enfin, Mr *Preston-Thomas* craint que si l'on commence à modifier la composition du Comité International des Poids et Mesures on risque d'en modifier le caractère. Jusqu'à maintenant ce sont des scientifiques qui siègent au Comité. Si l'on accepte des personnalités pour représenter les États, on risque de voir siéger des spécialistes de l'administration et non plus des hommes de science de large culture. On risque d'avoir un Comité qui devienne en quelque sorte un « intermédiaire » entre le monde politique et le monde scientifique.

Dans le passé et à la présente session, le CIPM a invité des personnalités à participer à ses débats. Cela paraît un mode opératoire plus souple. En conclusion, Mr *Preston-Thomas* souhaite que le CIPM ne prenne aucune décision sur ce point à cette session mais étudie encore le problème dans son ensemble.

Mr *Perlstein* se range à l'avis de Mr *Preston-Thomas*. Le Comité International de Métrologie Légale qui, au début, ne comprenait que dix-sept membres s'est considérablement élargi. Il a alors fallu créer un Conseil de la présidence.

Mr *Kind* est pour l'essentiel d'accord avec ce qu'a dit Mr *Preston-Thomas*. Toutefois, il est sensible au désir qu'ont certains pays d'être bien informés des travaux des organes de la Convention du Mètre. Il suggère qu'une circulaire d'information soit diffusée aux Pays membres une quinzaine de jours après la réunion du CIPM. On pourrait peut-être faire de même après les réunions des Comités Consultatifs.

Mr *de Boer* réfute l'argument de l'élargissement excessif du CIPM. Il n'était en rien dans ses intentions de suggérer qu'un représentant par pays puisse siéger au CIPM; il n'avait pensé qu'à un nombre maximum de sept membres adjoints.

Mr *Preston-Thomas* précise qu'il ne prêtait pas une telle intention à Mr *de Boer*. Ce qui l'inquiète, c'est que la tendance à accentuer encore l'élargissement du CIPM pourrait se manifester par la suite, par exemple lors d'une Conférence Générale.

Pour Mr *Ambler*, le Comité ne doit pas se sentir lié par la tradition. Mais si une modification doit être apportée ce ne peut être que pour une raison valable. Il comprend que le bureau du Comité soit l'objet de pressions de la part de divers pays. Il se demande quelles sont les informations que ces pays souhaitent connaître. S'il s'agit d'informations scientifiques, elles seront mieux obtenues auprès des Comités Consultatifs. Pour des informations générales d'ordre administratif, la suggestion de Mr *Kind* d'un bulletin d'information paraît appropriée. Il semble à Mr *Ambler* que les raisons qui ont amené certains pays à faire pression

sur le bureau du Comité sont très générales et non pas spécifiques. Le nombre de sept membres avancé par Mr de Boer lui semble déjà trop important. Il n'est pas favorable à la proposition telle qu'elle est présentée.

Mr *Lehany* est sensible à la plupart des arguments qui ont été avancés. Il lui paraît toutefois que le bureau du Comité doit jouir d'une certaine souplesse pour résoudre le problème particulier de la présidence des Comités Consultatifs par exemple. Il serait peut-être intéressant d'avoir des membres adjoints pour résoudre certains problèmes particuliers.

Mr *Ambler* reconnaît qu'il peut être difficile de trouver, au sein du CIPM, sept personnalités ayant chacune la spécialité requise pour présider l'un des sept Comités Consultatifs. Dans certains cas il serait plus facile de choisir un président hors du Comité; on pourrait alors l'inviter à présenter son rapport. C'est une raison valable de faire une invitation à assister au Comité. Par contre, pour ce qui est des problèmes financiers par exemple, un certain nombre de membres du CIPM ont l'impression que leur information n'est pas toujours aussi complète qu'ils le souhaiteraient et Mr *Ambler* ne pense pas qu'un Comité plus nombreux améliorerait quoi que ce soit à cet égard.

Pour Mr *Kind*, il semble que le sentiment général soit favorable à l'invitation de personnalités pour des raisons valables, mais non pas à la nomination de membres adjoints.

Mr *Ambler* aimerait connaître le nombre de demandes qui ont été faites pour élargir le CIPM. Le *Président* indique que depuis la 15<sup>e</sup> CGPM (1975) il a reçu dix demandes; il ne s'agissait que de demandes verbales, n'ayant aucun caractère officiel, mais leur nombre lui paraît important.

Résumant la discussion, le *Président* constate que le Comité n'est pas favorable, pour le moment, à l'introduction officielle d'une nouvelle catégorie de membres associés. Toutefois, le Comité est d'accord pour inviter à ses réunions quelques personnalités susceptibles d'apporter une contribution particulière à ses travaux. Par exemple, au cas où le président d'un comité consultatif ne serait pas membre du CIPM, il serait souhaitable qu'il participe, sur invitation, aux réunions du CIPM.

Pour répondre au besoin d'informations, Mr *Terrien* rappelle qu'il a toujours eu soin de publier régulièrement dans *Metrologia* les « News from the BIPM »; il pense que cette publication devrait apporter les informations souhaitées. Le manuscrit de ces « News from the BIPM » pourrait constituer le bulletin d'information à diffuser largement. D'autre part, des comptes rendus des réunions de la CGPM, du CIPM et des Comités Consultatifs sont parfois publiés dans diverses revues scientifiques, en allemand, en anglais ou en russe; c'est ainsi que notre collègue J. Stulla-Götz publiait régulièrement de tels comptes rendus dans une revue autrichienne. Il est souhaitable que les membres du CIPM maintiennent et généralisent cette pratique.

A cette occasion, Mr *Giacomo* indique que dans certains pays le BIPM n'a aucun correspondant et ignore tout des personnes ou des organismes

susceptibles d'être intéressés par les activités des organes de la Convention du Mètre. Il souhaite que tous les membres du CIPM encouragent tous les organismes intéressés à se faire connaître du BIPM.

Mr *Steinberg* se propose de diffuser les informations du BIPM en langue espagnole dans le cadre d'une organisation régionale qui intéresse environ quatorze pays d'Amérique latine, dont seulement quelques-uns sont membres de la Convention du Mètre.

#### *Voyage en Chine du Directeur et du Sous-Directeur*

Mr *Giacomo* rend compte du voyage qu'il a fait avec Mr Quinn en République Populaire de Chine pour répondre à l'invitation qui avait été faite. Ils y ont reçu un accueil très chaleureux. Ils ont été en particulier impressionnés de l'importance que les responsables qu'ils ont rencontrés attachent à établir des contacts avec les organes de la Convention du Mètre. Ils ont visité les trois laboratoires principaux de Pékin, Chengtu et Shanghai. Les physiciens sont bien au courant de ce qui est publié par le BIPM et des activités des Comités Consultatifs. Mr Giacomo et Mr Quinn ont été frappés par le haut niveau des physiciens qu'ils ont rencontrés, surtout au regard du niveau parfois modeste des équipements de laboratoire. La participation de membres chinois aux travaux des Comités Consultatifs ne devrait poser aucun problème. Ils sont bien au courant de toutes les techniques utilisées et ils disposent, en petite quantité, d'appareils de fabrication chinoise qui semblent d'excellente qualité.

Mr *Guinot* aimerait savoir si la République Populaire de Chine pourrait apporter sa collaboration à l'élaboration du temps atomique. Jusqu'ici, pour des raisons d'ordres diplomatique et politique, ils n'ont pas encore travaillé avec le BIH.

Mr *Giacomo* répond que, techniquement, les laboratoires chinois sont en mesure de collaborer avec le BIH. Ils ont déjà construit plusieurs masers à hydrogène et des horloges à rubidium; un étalon de fréquence à jet de césium est en construction à Pékin. Ils reçoivent les émissions de la chaîne Loran-C du Pacifique.

#### *Comparaison internationale d'étalons d'angles*

Mr *Kind* demande quelle est la position du CIPM sur le problème de la comparaison d'étalons d'angles. Cette question touche de près les unités de base. On a demandé à la PTB d'organiser des comparaisons de ce type, dans le cadre de la Communauté Européenne. La question n'est de la compétence d'aucun Comité Consultatif, mais en tout état de cause Mr *Kind* souhaite qu'il n'y ait pas de duplication de travail. La PTB serait prête à laisser l'initiative dans ce domaine au BIPM au cas où celui-ci se déclarerait compétent.

Le *Président* propose qu'un questionnaire portant sur le problème des mesures d'angles soit adressé aux laboratoires nationaux.

Mr *Giacomo* pense que, les techniques utilisées étant voisines de celles qu'on emploie pour les mesures de longueur, le CCDM pourrait créer un Groupe de travail pour étudier la question.

Mr *Preston-Thomas* appuie cette proposition. Au NRC, on n'a pas éprouvé le besoin de procéder à des comparaisons internationales; ce sont les mêmes personnes qui s'occupent des mesures de longueur et des mesures d'angles.

*Membre honoraire*

Mr *Terrien* propose que Mr J. Stulla-Götz, qui a démissionné du CIPM en septembre 1977, soit nommé membre honoraire. Il rappelle les fonctions de Mr Stulla-Götz au service de la métrologie internationale: membre du CIPM de 1954 à 1977, membre du CCDM de 1952 à 1969 et du CCU de 1965 à 1974 après avoir fait partie de la Commission du système d'unités qui a été remplacée par le CCU, représentant du CIPM auprès de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), ancien président (1962 à 1968) du Comité International de Métrologie Légale.

A l'unanimité, le titre de membre honoraire du CIPM est conféré à Mr Stulla-Götz.

Le *Président* souligne que Mr Stulla-Götz assure toujours le lien avec l'AIEA, mais qu'il convient sans doute de voir si quelque chose doit être fait à cet égard.

\* \* \*

Le Comité ayant épuisé son ordre du jour, le *Président* remercie ses collègues et déclare close la 67<sup>e</sup> session du CIPM. La prochaine session aura lieu du 4 au 13 octobre 1979.

---

**RAPPORT DU DIRECTEUR**  
**SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION**  
**DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**  
(septembre 1977 — septembre 1978)

---

**I. — PERSONNEL**

*Nominations*

J. AZOUBIB, assistant, a été nommé physicien.

D. BOURNAUD et C. GARREAU, techniciens, ont été nommés techniciens principaux; D. AVRONS et R. PELLO avaient été promus à ce grade en 1977 et M<sup>me</sup> M.-J. COARASA en 1976.

M<sup>me</sup> A. CHARTIER, calculatrice principale, a été nommée technicienne.

J. LEROUX, mécanicien, a été nommé mécanicien principal.

Conformément aux décisions prises par le Comité International dans sa séance du 30 septembre 1976, P. GIACOMO a pris les fonctions de directeur et T. J. QUINN celles de sous-directeur le 1<sup>er</sup> janvier 1978.

*Départs*

J. TERRIEN a pris sa retraite le 31 décembre 1977, après seize années de direction qui ont été marquées par des développements importants dans les activités du BIPM.

M<sup>me</sup> S. PEDRIELLI, aide-comptable contractuelle à mi-temps, a pris sa retraite le 31 décembre 1977.

J. ALMEIDA, aide-jardinier contractuel, a pris sa retraite le 28 février 1978.

*Engagements*

M<sup>me</sup> Marie-Jeanne MARTIN a été engagée le 1<sup>er</sup> janvier 1978, en qualité de secrétaire au service comptable, en remplacement de M<sup>me</sup> Pedrielli.

Thierry RIOTTE a été engagé le 1<sup>er</sup> février 1978, en qualité d'aide-jardinier contractuel, en remplacement de J. Almeida.

Ernesto RODRIGUÈS a été engagé le 1<sup>er</sup> mars 1978, en qualité d'agent d'entretien contractuel, en remplacement de M. Drouin qui avait pris sa retraite en 1974.

**II. — BÂTIMENTS**

*Observatoire*

Achèvement des travaux entrepris antérieurement (Rapport 1977, p. 21): mise en service du monte-charge (novembre 1977) et des salles 3

(rénovée) et 103 (en sous-sol). A la salle 103, on désire maintenir une température de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative de  $0,55 \pm 0,05$ , avec une bonne uniformité dans l'ensemble du local. Dans ce but, on a fait appel à un bureau d'étude spécialisé qui a fait réaliser l'installation adéquate. Cette installation a été prévue pour assurer aussi, ultérieurement, la régulation de la température et de l'humidité de la salle 104.

#### *Grand Pavillon*

Réfection de la peinture du couloir des bureaux du rez-de-chaussée.

#### *Petit Pavillon*

Refonte complète de l'appartement du rez-de-chaussée (côté jardin) en vue d'y loger des stagiaires ou hôtes de passage; création, par surélévation du plancher, d'un sous-sol destiné à l'extension de l'atelier de mécanique.

#### *Bâtiment principal du laboratoire des rayonnements ionisants*

Au rez-de-chaussée de l'aile sud, réinstallation de l'ordinateur, dans un local plus vaste et mieux adapté; ouverture de deux nouvelles fenêtres pour permettre l'aménagement d'un laboratoire.

#### *Dépendances*

Installation de l'alimentation au gaz (au lieu du charbon) de la chaudière des serres, pour raisons de sécurité et de commodité (février 1978).

Édification d'un bloc sanitaire (toilettes, douche, vestiaire) entre la menuiserie et le chenil, à l'usage du personnel des entreprises travaillant pour le BIPM.

### III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

#### **Remarques générales**

L'achèvement des travaux dans l'Observatoire a permis de remettre en service la base géodésique et la photométrie. L'espace gagné en sous-sol bénéficiera principalement à la thermométrie et à la photométrie, accessoirement aux mesures de longueur, aux mesures électriques et à la gravimétrie. Une extension de l'atelier de mécanique est en cours, ici encore par creusement en sous-sol.

Une part importante de l'activité du BIPM, en dehors des vérifications d'étalons, a été consacrée cette année à des comparaisons internationales. Le but de ces comparaisons est surtout d'obtenir des informations objectives sur la reproductibilité et l'exactitude des mesures. Certaines sont donc limitées à un petit nombre de laboratoires. Elles ont porté sur des règles divisées et des lasers, des points triples de l'eau, de l'argon et du méthane, des étalons de résistance, de force électromotrice (éléments Weston et étalons à effet Josephson), de dose absorbée (étalons ionométriques et calorimétriques), des mesures d'activité ( $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ) et de débit de fluence de neutrons.

Le BIPM a lancé plusieurs enquêtes : sur les mesures de longueur et un éventuel changement de la définition du mètre, sur les mesures de pression, et sur l'expression des incertitudes de mesure; il participe activement à plusieurs groupes de travail (conservation des masses, calcul de la masse volumique de l'air, pilotage du TAI).

Signalons en outre quelques résultats concernant la conservation de la masse des Kilogrammes prototypes, l'efficacité du nettoyage-lavage de ces Kilogrammes, la masse volumique de l'eau contenant des gaz dissous, le comptage des coïncidences, la reproductibilité de notre source  $\gamma$  de 170 TBq ( $^{60}\text{Co}$ ) et la mesure du taux d'émission de sources de neutrons par la méthode du bain de manganèse.

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.

### **Longueurs (P. Carré, J. Hamon)**

#### **Enquête auprès des membres du CCDM**

La dernière réunion du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM) ayant eu lieu en 1973, le BIPM a pris l'initiative d'adresser aux membres du CCDM le 28 octobre 1977 un questionnaire destiné à faire le point sur l'état d'avancement des études relatives aux lasers asservis et sur l'opportunité d'un changement de la définition du mètre. Un questionnaire complémentaire spécialement consacré à la définition du mètre a été envoyé le 3 mars 1978.

Le rapport établi par le BIPM sur la base des réponses reçues est publié en Annexe de ce volume et servira de document préparatoire pour la prochaine réunion du CCDM (1979).

#### **Comparateur photoélectrique et interférentiel**

Le principe de la mesure des températures à l'intérieur du caisson qui renferme le comparateur consiste à déterminer, avec un thermomètre à résistance de platine, la température d'un bloc de cuivre placé dans le caisson; ce bloc renferme les soudures « froides » de thermocouples cuivre-constantan dont les soudures « chaudes » sont situées aux endroits dont il faut mesurer la température, notamment en divers points de l'étalon (règle ou calibre) en cours d'étude. Cet ensemble, réalisé en 1964 (Rapport 1964, p. 47), a toujours été utilisé depuis cette date mais les thermocouples, constitués de fils nus simplement vernis, étaient fragiles et risquaient de présenter des défauts d'isolement électrique. Ils ont été refaits avec des fils de cuivre et de constantan, de 0,2 mm de diamètre, gainés de téflon. Les soudures ont été réalisées sous argon (Rapport 1977, p. 38). Les contacteurs qui permettent de sélectionner chaque thermocouple et d'inverser sa polarité ont été placés à l'intérieur du caisson où ils bénéficient d'une meilleure uniformité de température; leurs commandes mécaniques ont été adaptées à cette nouvelle disposition. Nous disposons maintenant de

treize thermocouples dont neuf sur le chariot mobile. L'isolement thermique du bloc de cuivre a été refait de même que les passages étanches à travers la paroi du caisson pour les commandes des contacteurs, le circuit de mesure des forces électromotrices des thermocouples et les lignes connectant le thermomètre à résistance de platine au pont de Smith.

Salle 103 (J. Hamon)

Les appareils (comparateur universel, comparateur Bariquand et machine à mesurer) qui avaient été démontés et sortis de la salle 3 avant le commencement des travaux entrepris dans le sous-sol de cette salle ont été soigneusement nettoyés, remontés, mis en place dans la salle 103 et réglés. Bien qu'utilisés assez rarement, ces appareils nous rendent encore service pour des mesures n'exigeant pas une très haute précision.

Étalons à traits

#### *Comparaisons internationales*

Les comparaisons internationales de mesure de règles divisées organisées par le BIPM (Rapport 1976, p. 29) se poursuivent. Les deux règles (N° 12924 de 1 m et N° 16806 de 0,5 m) ont été étudiées successivement par les laboratoires suivants :

- le NML, Australie (juillet 1976 à janvier 1977);
- le NRC, Canada (N° 12924, février à août 1977; N° 16806, février à octobre 1977);
- le NBS, États-Unis d'Amérique (N° 12924, août et septembre 1977; N° 16806, novembre 1977);
- le NRLM, Japon (N° 12924, octobre 1977 à mars 1978; N° 16806, décembre 1977 à mai 1978).

Le rapport du NBS sur l'étude effectuée nous est parvenu le 20 juin 1978.

La règle N° 12924 est arrivée au BIPM le 7 avril 1978; elle a été réétudiée en avril et mai 1978.

La règle N° 16806 est arrivée au BIPM le 1<sup>er</sup> juin 1978; elle a été réétudiée en juin et juillet 1978.

Pour les deux règles, la valeur trouvée pour le coefficient de dilatation à 20 °C confirme le résultat obtenu antérieurement (N° 12924, avril et mai 1968; N° 16806, avril et mai 1975). En revanche, les valeurs trouvées tant pour la longueur totale de la division principale que pour la position de certains traits s'écartent notablement des résultats obtenus avant le début de la circulation (N° 12924, mai 1976; N° 16806, mars et avril 1975). Pour la règle N° 12924, le plus grand écart est de 0,14  $\mu\text{m}$ . En ce qui concerne la règle N° 16806, les écarts sont encore plus grands (jusqu'à 0,53  $\mu\text{m}$ ), et dans une certaine mesure aléatoires.

Un projet de plan de circulation pour le second circuit (PTB, IMM, ASMW, NPL) a été établi (juillet 1978) et soumis aux laboratoires concernés. En raison des médiocres résultats obtenus avec la règle N° 16806, nous avons proposé d'interrompre la circulation de cette règle, tout au moins tant que nous n'aurons pas reçu les rapports attendus, et de poursuivre

les comparaisons internationales en cours en utilisant seulement la règle N° 12924.

Ensuite, un troisième circuit sera organisé; il concernera l'IMGC (Italie), l'OFM (Suisse), l'Institut National de Métrologie de la Rép. Pop. de Chine (ces deux derniers laboratoires ont récemment manifesté le désir de participer aux comparaisons) et probablement le NML (Australie) qui souhaite recommencer ses mesures.

### *Règles divisées*

Huit règles ont été étudiées au comparateur photoélectrique.

— Règle N° 12924 de 1 m en acier nickelé (BIPM). Cette règle participe aux comparaisons internationales. Nous en avons refait l'étude: détermination du coefficient de dilatation et de la longueur de l'intervalle principal, étalonnage des décimètres, des centimètres du premier et du dernier décimètre, des millimètres du premier et du dernier centimètre et des dixièmes de millimètre des deux millimètres supplémentaires.

— Règle N° 16806 de 0,5 m en acier nickelé (BIPM). Cette règle a participé au premier circuit des comparaisons internationales. Nous en avons refait l'étude: détermination du coefficient de dilatation et de la longueur totale, étalonnage des décimètres, des centimètres du premier et du dernier décimètre, des millimètres du premier et du dernier centimètre.

— Règle N° 12202 de 1 m en acier au nickel (Nigeria): équation de l'intervalle principal et étalonnage des décimètres; cette règle ayant déjà été mesurée au BIPM en 1965, on constate qu'elle s'est raccourcie de  $1,03 \mu\text{m}$  en douze ans.

— Règles de 0,2 m en acier nickelé N° 16223 (Centre d'Essais en Vol, Brétigny, France) et N° 10663 (BIPM): équation de l'intervalle principal et position du trait 100 mm. Ces règles n'ont pas varié de façon significative depuis leur précédente étude, respectivement en 1971 et en 1966.

— Règle N° 7497 de 1 m en acier (Office Fédéral de Métrologie, Suisse): détermination du coefficient de dilatation et de la longueur de la division principale; étalonnage de 189 traits.

— Règles N° 5729 et N° 7316 de 1 m en invar (Institut National de Métrologie, Rép. Pop. de Chine): détermination du coefficient de dilatation; étude de la division en cours.

### *Étalons à bouts (J. Hamon)*

#### *Calibres*

Deux calibres de 100 mm ont été mesurés au moyen de l'interféromètre Tsugami pour l'Institut National de Métrologie de la Rép. Pop. de Chine.

### *Étalons à bouts de forme cylindrique*

Fin de l'étude au comparateur photoélectrique et interférentiel (Rapport 1977, p. 25) de six étalons en acier (Société Moore, États-Unis d'Amérique) qui ont aussi été mesurés au NBS, au NPL et à la PTB. Nous attendons les résultats de ces diverses mesures.

### Base géodésique (G. Girard)

Les travaux, entrepris au sous-sol de l'Observatoire pour la pose de canalisations d'évacuation des eaux usées et qui avaient nécessité le démontage total des installations de la Base (Rapport 1977, p. 25), ont été terminés en mars 1978 après une réfection générale des peintures et la pose d'un revêtement de sol.

Le dilatomètre de 24 m a été réinstallé et l'on a pu procéder aussitôt à la détermination du coefficient de dilatation d'échantillons de fil d'invar en vue de la réception d'une nouvelle coulée d'alliage; la valeur suffisamment négative de ce coefficient nous a permis d'accepter cette coulée et de commander 300 kg de fil.

La demande de fil géodésique est toujours très forte: en huit mois nous en avons fourni plus de 150 kg.

### Interférométrie

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

##### *Généralités*

— Une importante partie de notre activité a été consacrée à la construction et à la mise au point de deux asservissements destinés aux lasers à He - Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane ( $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ).

— La méthode de comptage réversible fonctionne de façon très satisfaisante pour la mesure des fréquences de battement de lasers asservis sur l'iode; des essais satisfaisants ont été faits pour les lasers asservis sur le méthane.

— Un laser à He-<sup>20</sup>Ne(<sup>129</sup>I<sub>2</sub>) a été construit à l'aide d'une cuve à <sup>129</sup>I<sub>2</sub> remplie au NBS et d'un tube laser CW Radiation que nous avons régénéré. Le BIPM possède ainsi les trois sortes de lasers à He-Ne asservis sur l'iode à  $\lambda = 633 \text{ nm}$ : He-<sup>20</sup>Ne (<sup>127</sup>I<sub>2</sub>), He-<sup>22</sup>Ne(<sup>129</sup>I<sub>2</sub>) et He-<sup>20</sup>Ne (<sup>129</sup>I<sub>2</sub>); nous avons pu préciser certaines valeurs des intervalles de fréquence entre ces lasers, par rapport aux valeurs données en 1973 (CCDM, 1973, pp. M 25-26).

— La mise au point d'une méthode de récupération des tubes lasers usagés a été poursuivie; nous avons maintenant plusieurs lasers fonctionnant avec de tels tubes. Cette méthode est décrite par ailleurs (1).

— Nous avons confié une cuve à iode à Mr V. Navratil (Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava).

— Nous avons vérifié l'insensibilité à la lumière de retour de notre laser à iode à fréquence décalée (FD 1); un miroir plan (jusqu'à  $\rho \approx 0,3$ ) renvoyant le faisceau sur lui-même ne modifie pas la fréquence de façon appréciable; cette qualité est intéressante pour l'utilisation de ce type de lasers en association avec un interféromètre.

---

(1) Voir Publications extérieures, p. 77.

## Lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode ( $\lambda = 633 \text{ nm}$ )

### Décalages de fréquence

a) L'influence de la pression d'iode sur la fréquence du laser BIPM2 (laser de référence) a été déterminée à nouveau. Lorsque la température du point froid de la cuve à iode varie de 15 à 20 °C (pression de 17,3 à 26,9 Pa) la fréquence varie de 13,4 kHz/K (7,0 kHz/Pa), ce qui confirme, à 0,6 kHz/K près, les valeurs mesurées antérieurement (Rapport 1974, p. 36). La cuve de ce laser, remplie au BIPM en septembre 1972, semble donc avoir conservé ses qualités initiales.

b) L'influence du réglage de la cavité sur la fréquence d'un laser possédant deux miroirs concaves (rayons de courbure 60 cm, longueur de la cavité 45 cm) a été de nouveau constatée. Cette influence semble croître avec la puissance nominale du tube. On a observé des écarts de 25 kHz avec un tube de 1 mW, de 40 kHz avec un tube de 2 mW. Lorsqu'on remplace le miroir concave, côté cuve à iode, par un miroir plan, cet effet est fortement réduit. Des études plus systématiques doivent être entreprises.

### Améliorations

— Les résultats prometteurs obtenus au LHA sur les lasers comportant une cuve à iode à parois chaudes <sup>(2)</sup> nous ont conduits à transformer un de nos lasers pour munir la cuve d'un chauffage. Lorsque la température du corps de la cuve passe de 30 °C à 110 °C, le contraste des pics d'absorption saturée est multiplié par quatre. Cette augmentation de contraste devrait soit se traduire par une amélioration de la stabilité du laser soit permettre de réduire la pression d'iode et, par conséquent, d'améliorer la reproductibilité.

— Nous avons réalisé un bâti de laser composé de barres en « Zerodur » et de deux flasques en invar supérieur. Ce laser sera enfermé dans un caisson étanche et sera muni d'une cuve à parois chaudes; on espère ainsi améliorer la stabilité à court terme qui est actuellement de l'ordre de  $1 \times 10^{-11}$  sur 1 s.

### Comparaisons

a) Les lasers BIPM2, BIPM3 et BIPM4, du type He-<sup>20</sup>Ne(<sup>127</sup>I<sub>2</sub>), sont comparés entre eux périodiquement; les écarts observés confirment une stabilité de  $\pm 4 \times 10^{-11}$  sur quatre années.

Pour déterminer l'écart de fréquence entre deux de ces lasers, la méthode habituelle consiste à mesurer tous les intervalles de fréquence entre les deux lasers asservis chacun sur une composante différente parmi les 7 composantes d à j de <sup>127</sup>I<sub>2</sub>. Nous avons utilisé aussi la méthode de comptage réversible <sup>(3)</sup> qui permet de mesurer directement la différence de fréquence entre

---

<sup>(2)</sup> CÉREZ (P.), BENNETT (S.) et AUDOIN (C.), Stabilité de fréquence du laser He-Ne comportant une cuve d'iode à parois chaudes, *C.R. Acad. Sc., Paris*, 286, 1978, pp. 53-56.

<sup>(3)</sup> ROWLEY (W. R. C.), Bidirectional counting for the measurements of laser beat frequencies, *Journal of Physics E: Sc. Instr.*, 8, 1975, pp. 223-226.

deux lasers asservis sur la même composante. Cette méthode utilise le déphasage entre les signaux de battement recueillis sur chacun des deux faisceaux délivrés par la lame mélangeuse (miroir semi-transparent métallique). Les résultats obtenus par les deux méthodes ne diffèrent pas de plus d'un kilohertz.

b) Nous avons eu l'occasion de vérifier la fréquence d'un laser asservi sur l'iode appartenant à l'Institut d'Automatisme et d'Électronique de Sibérie (Académie des Sciences de l'U.R.S.S.) en le comparant au laser BIPM2. Ce laser servait de référence de longueur d'onde pour un gravimètre absolu transportable. La différence de fréquence entre les deux lasers était de l'ordre de 75 kHz soit  $1,6 \times 10^{-10}$ .

c) En novembre 1977, une comparaison entre le laser LPTF1 du Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences, Paris, et notre laser de référence BIPM2 a été faite au BIPM. Cinq déterminations, comportant chacune la mesure de 42 intervalles de fréquence (composantes d à j) ont conduit aux résultats suivants :

(LPTF1) — (BIPM2) = — 15,7 kHz avec un écart-type d'une détermination de 14,6 kHz (écart important dû à des instabilités de LPTF1).

Les effets de température du point froid et d'amplitude de modulation ont été déterminés sur le pic e de LPTF1 :

effet de température : 10,5 kHz/K (autour de 15 °C),

effet d'amplitude de modulation : 5,2 kHz par MHz de modulation crête à creux.

#### *Mesures d'intervalles entre composantes hyperfines de I<sub>2</sub>*

Nous disposons de trois types de lasers à 0,633 μm :

He-<sup>22</sup>Ne(<sup>129</sup>I<sub>2</sub>), laser NBS/BIPM (don du NBS, 1973),

He-<sup>20</sup>Ne(<sup>129</sup>I<sub>2</sub>), laser BIPM5,

He-<sup>20</sup>Ne(<sup>127</sup>I<sub>2</sub>), laser BIPM2.

Les composantes hyperfines sur lesquelles on peut asservir chacun de ces lasers constituent trois groupes distincts. Nous avons mesuré :

a) les intervalles entre les composantes de référence de chacun des trois groupes :

$$\begin{array}{ll} (^{129}\text{I}_2, \text{k}) - (^{127}\text{I}_2, \text{i}) = 95,762\ 1\ \text{MHz} & \delta = 3,0\ \text{kHz} \\ (^{129}\text{I}_2, \text{B}) - (^{129}\text{I}_2, \text{k}) = 892,563\ 4 & \delta = 9,1 \\ (^{129}\text{I}_2, \text{B}) - (^{127}\text{I}_2, \text{i}) = 988,320\ 3 & \delta = 3,1 \end{array}$$

δ = écart entre les deux déterminations.

Les conditions de mesure étaient les suivantes :

— amplitude de modulation : 6 MHz crête à creux,

— chaque série de mesures comprenait des mesures à trois températures des points froids des cuves à iode : 6, 8 et 10 °C, la température des trois points froids étant identique pour chaque mesure,

— on a pris la moyenne de deux déterminations comportant chacune la mesure des trois intervalles aux trois températures.

Par rapport aux valeurs antérieures (CCDM, 1973, pp. M 25-26), la première des valeurs obtenues est inférieure de 0,28 MHz et la troisième est supérieure de 0,19 MHz.

La valeur de l'intervalle ( $^{129}\text{I}_2, k$ ) — ( $^{127}\text{I}_2, i$ ) a été confirmée ensuite à deux reprises à quelques kilohertz près.

b) les intervalles de fréquence entre composantes du même groupe :

$$^{129}\text{I}_2 (^{22}\text{Ne}) \quad \begin{cases} (A-B) = -19,853 \text{ MHz} \\ (C-B) = 17,813 \end{cases}$$

ces valeurs diffèrent respectivement de — 10 et — 14 kHz de la moyenne des six déterminations effectuées de 1974 à 1977 (écart-type d'une détermination : 8 kHz pour (A-B) et 15 kHz pour (C-B).

$$^{129}\text{I}_2 (^{20}\text{Ne}) \quad \begin{cases} (l-k) = -17,531 \text{ MHz} & \delta = 29 \text{ kHz} \\ (m-k) = -42,170 \text{ 0} & \delta = 4,6 \\ (n-k) = -55,610 \text{ 0} & \delta = 11,7 \\ (o-k) = -78,640 \text{ 4} & \delta = 5,1 \end{cases}$$

on a pris la moyenne de deux déterminations (octobre 1977 et janvier 1978);  $\delta$  = écart entre les deux déterminations; la composante l est une composante faible; la valeur des deux premiers intervalles a été confirmée à nouveau en juin 1978 à 5 kHz près.

#### *Étalonnage de lasers asservis sur le Lamb-dip*

Les deux lasers Spectra-Physics, type 119, utilisés aux sections interférométrie et longueurs ont été réétalonnés par battement avec un laser asservi sur l'iode.

Laser N° 3734-512 (Interférométrie)  $\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 632\,991\,413,6 \text{ fm} \quad \text{mars 1978} \\ (411,9) \quad \text{juin 1977} \end{array} \right.$

Laser N° 418 (Longueurs)  $\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 632\,991\,426,3 \text{ fm} \quad \text{janvier 1978} \\ (418,9) \quad \text{octobre 1977} \end{array} \right.$

L'augmentation rapide de la longueur d'onde laisse présager un arrêt de fonctionnement prochain du laser N° 418.

#### *Lasers asservis sur l'absorption du méthane*

##### *Situation générale*

##### 1 — Lasers

##### a) BICH4.2, BICH4.3

Ces deux lasers précédemment décrits (Rapport 1977, p. 28) ont été modifiés. Les miroirs ( $\tau = 0,26$ ) ont été remplacés par des miroirs de facteur de transmission plus faible ( $\tau = 0,03$ ) afin de réduire les effets de couplage entre lasers.

Les vis calantes permettant l'orientation et le réglage du faisceau de sortie ont été supprimées et remplacées par des bandes de caoutchouc, ce qui a pour effet de diminuer la sensibilité des lasers aux perturbations mécaniques.

Le tube amplificateur de BICH4.3 a été remplacé par un tube du même fabricant mais rempli sous une pression différente permettant d'obtenir un meilleur centrage du pic du méthane sur le sommet de la courbe de gain.

b) BICH4.4

Ce laser sans cuve d'absorption, construit par nos soins, est utilisé comme laser esclave dans les systèmes à décalage de fréquence.

Ses caractéristiques sont :

- cavité : longueur 22 cm, miroirs (Spectra-Physics)  $\tau = 0,26$ , rayon de courbure 60 cm;
- tube CW Radiation, type LT2;
- translateurs piézoélectriques tubulaires : type PZT5A (Brusch-Clevite) et type P<sub>160</sub> (Quartz et Silice).

c) BICH4.6

Nous avons construit ce laser afin d'une part, d'avoir un laser de rechange pour les comparaisons à venir, et d'autre part, de tester un nouveau système de porte-miroir. Nous espérons ainsi obtenir des fréquences de résonance mécanique du laser plus élevées, ce qui permettrait d'augmenter la fréquence de modulation et la bande passante des asservissements.

Les caractéristiques actuelles sont :

- cavité : longueur 56 cm, miroirs (Spectra-Physics)  $\tau = 0,26$ , rayons de courbure 300 cm (côté cuve) et 120 cm (côté tube);
- tube Jodon, type CE 2902-3CS;
- translateurs piézoélectriques : type PZT4, tubulaire (Brusch-Clevite), et type P<sub>168</sub>, empilement de disques (Quartz et Silice);
- cuve à méthane N° 6, pression de remplissage  $\approx 1,33$  Pa.

2 — Électronique

Deux asservissements ont été construits et mis au point pour stabiliser BICH4.2 et BICH4.3. Ils se présentent sous forme de baies de type industriel, avec tiroirs par fonction, interchangeables. Caractéristiques principales : bruit en sortie de détection synchrone  $< 1$  mV, bruit en sortie de l'amplificateur haute tension  $< 10$  mV.

Une boucle d'asservissement a été réalisée pour asservir la fréquence de BICH4.4 à suivre celle des lasers BICH4.3 ou BICH4.2 avec un décalage constant de 10 MHz. Elle utilise le principe de la conversion fréquence-tension. Caractéristiques principales : constante de temps : 10  $\mu$ s, bruit en sortie du convertisseur : 0,1 V correspondant à une fluctuation de fréquence de 10 kHz, stabilité du convertisseur : quelques  $10^{-4}$  sur 24 heures.

*Comparaisons de lasers à  $\lambda = 3,39 \mu$ m*

— Des mesures de battement ont été faites entre BICH4.2 et le laser JILA/BIPM. Des écarts de fréquence ont été constatés; ils ont été attribués aux dissymétries de la détection synchrone du laser JILA/BIPM et à l'utilisation de l'asservissement en dérivée première.

— Une précomparaison avec le LPTF a été effectuée en novembre 1977. Elle a servi à la mise au point des asservissements des lasers en présence.

— Lors d'une comparaison BICH4.2 — BICH4.3, nous avons constaté entre les deux lasers un décalage de fréquence de 13 kHz indépendant des asservissements. Ce décalage est vraisemblablement dû au mélange gazeux du tube du laser BICH4.2 : le maximum de la courbe de gain de ce dernier tube est anormalement décalé par rapport à la fréquence d'absorption du méthane.

— Une comparaison BIPM-NPL a eu lieu du 7 au 28 juillet 1978. Le NPL disposait de deux lasers avec cuve (NPL1, NPL2); le BIPM disposait de deux lasers : BICH4.3, BICH4.6. Quatre des fréquences de battement entre les quatre lasers disponibles ont été mesurées. Chacune de ces mesures était effectuée par l'intermédiaire d'un laser auxiliaire (du NPL ou du BIPM) dont la fréquence était décalée de 5 ou 10 MHz par rapport à celle de l'un des lasers principaux. Les résultats suivants ont été obtenus ( $n$  désigne le nombre de séries de mesures) :

$$\begin{aligned} (\text{NPL1}) & - (\text{BICH4.6}) = + 1,65 \text{ kHz}, & \sigma & = 0,80 \text{ kHz}, & n & = 21, \\ (\text{NPL1}) & - (\text{NPL2}) = + 1,55 \text{ kHz}, & \sigma & = 0,93 \text{ kHz}, & n & = 47, \\ (\text{NPL2}) & - (\text{BICH4.6}) = + 0,58 \text{ kHz}, & \sigma & = 0,39 \text{ kHz}, & n & = 10, \\ (\text{BICH4.3}) & - (\text{BICH4.6}) = + 2,29 \text{ kHz}, & \sigma & = 0,86 \text{ kHz}, & n & = 7, \end{aligned}$$

ce qui correspond à des écarts relatifs de fréquence de  $0,7$  à  $2,6 \times 10^{-11}$ .

Nous avons aussi déterminé l'effet d'amplitude de modulation; les résultats (provisoires) sont :

$$\left. \begin{array}{l} \text{NPL1} : - 249 \text{ Hz} \\ \text{NPL2} : + 111 \text{ Hz} \\ \text{BICH4.3} : - 220 \text{ Hz} \\ \text{BICH4.6} : - 82 \text{ Hz} \end{array} \right\} \text{ pour une variation de l'amplitude de modulation} \\ \text{crête à creux de } + 100 \text{ kHz.}$$

#### Comparaisons de longueurs d'onde (J. Hamon)

Un laser à hélium-néon asservi sur un pic de l'iode dans l'orangé ( $\lambda = 0,612 \mu\text{m}$ ) nous a été confié par le Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay) pour la mesure de sa longueur d'onde. Cette mesure a été effectuée dans l'interféromètre de Michelson, sous vide, réglé à une différence de marche de  $\pm 375 \text{ mm}$ , par comparaison à la longueur d'onde du pic  $i$  de l'iode d'un de nos lasers. P. Cérez du LHA et S. Bennett du NPL ont assuré la mise en œuvre du laser en étude. Le résultat moyen de six séries de mesure est :

$$\lambda = 611\,970\,458,6 \text{ fm (écart-type : } 0,2 \text{ fm).}$$

#### Masses (G. Girard)

##### *Kilogrammes prototypes*

A l'occasion de l'étude du Kilogramme prototype N° 18 (Royaume-Uni), nous avons effectué une nouvelle détermination de nos prototypes d'usage courant N° 9 et N° 31 par rapport au prototype d'usage exceptionnel N° 25. Le Kilogramme en platine iridié N° 63 (non attribué), dont le poli est meilleur que celui des étalons précédents, leur a été associé. Les comparaisons ont été effectuées à la balance NBS-2.

Le Kilogramme N° 63 a d'abord été comparé aux prototypes N° 9 et N° 31, puis il a été nettoyé au benzène et à l'alcool et lavé sous un jet de vapeur d'eau bidistillée. Il a ensuite servi de référence dans les comparaisons où intervenaient les quatre autres étalons (N°s 9, 31, 18 et 25) avant puis après leur nettoyage-lavage.

L'effet du nettoyage-lavage (avril 1978) a été de  $- 20 \mu\text{g}$  pour le N° 25; pour les trois autres étalons, cet effet est indiqué dans la dernière colonne du tableau ci-après.

Nous avons pensé qu'il était préférable de soumettre le prototype N° 25 à un nettoyage-lavage plutôt que de le laisser dans l'état où il se trouvait depuis sa précédente détermination, effectuée en 1965 par comparaison aux deux témoins N° 8 (41) et N° 43. Notre expérience montre en effet que, même après plusieurs nettoyages-lavages, un étalon conserve la valeur de la masse qu'il avait après son précédent nettoyage-lavage à condition qu'il ait été peu utilisé, ce qui est le cas pour le N° 25.

On a donc admis pour le prototype N° 25 après lavage, la masse qu'il avait en mai 1965 :

$$\text{N}^\circ 25 \quad 1 \text{ kg} + 0,157 5 \text{ mg.}$$

On en a déduit les masses des quatre autres étalons. Elles sont données dans le tableau ci-dessous, dans lequel on a rappelé les résultats de déterminations antérieures.

	Janvier 1961	Mai 1965	Avril 1978	Effet du nettoyage-lavage
9 (BIPM)		1 kg + 0,278 mg	1 kg + 0,282 mg	— 25 $\mu\text{g}$
31 (BIPM)		+ 0,092	+ 0,103	— 58
63			+ 0,335	
18 (Roy.-Uni)	1 kg + 0,059 mg		+ 0,059	— 47

Les valeurs obtenues pour les étalons N° 9 et N° 31 en mai 1965 et en avril 1978 présentent des différences non significatives; en effet, elles ont été obtenues respectivement avec la balance Rueprecht N° 1 et avec la balance NBS-2 et les écarts-types sur ces valeurs sont évalués à  $7 \mu\text{g}$  (1965) et à  $1 \mu\text{g}$  (1978) en admettant une erreur nulle sur l'étalon de départ.

Après ces comparaisons, le Kilogramme N° 63 a été placé dans un étui spécial (Rapport 1977, p. 31); l'atmosphère communique avec l'intérieur de cet étui à travers un premier filtre (pores de  $0,8 \mu\text{m}$ ) puis un second à pores plus fins ( $0,1 \mu\text{m}$ ) séparé du premier par un long tube enroulé autour du capot.

### *Balances Rueprecht*

Les balances Rueprecht de portée 20 g et 50 g ont été envoyées en mars 1978 à Chyo Balance Corporation, Kyoto, Japon, pour y être révisées.

La balance Rueprecht de portée 1 kg sera aussi envoyée au Japon lorsque les modifications que l'on souhaite lui apporter seront terminées :

— le fléau sera maintenu en position fixe par un servo-mécanisme utilisant un détecteur et une commande électrostatique;

— les échanges de masse ne se feront que sur un plateau et nous utiliserons la double pesée de Borda;

— les couteaux et les plans resteront sous charge pendant les échanges.

D'autre part, la balance sera placée dans une enceinte étanche.

### *Conservation des étalons de masse*

*Milieu dépoussiéré.* — Parallèlement à l'étude d'un étui spécial pour la conservation des étalons de masse (Rapport 1977, p. 30), nous avons pensé mettre les cages de balances dans un flux laminaire d'air dépoussiéré. Nous avons fait des essais de fonctionnement de la balance Rueprecht de 200 g avec un « plafond soufflant ». Les oscillations du fléau de la balance n'ont pas été perturbées par le flux d'air se déplaçant verticalement à une vitesse de 3 m/s environ. A la suite de ces essais positifs, nous avons acquis une telle installation qui fonctionnera pour commencer au-dessus de la balance Rueprecht de 1 kg.

*Polissage.* — En vue d'obtenir des étalons de masse plus stables, nous avons cherché à mieux polir les surfaces de platine iridié. Des essais de polissage avec un outil à pointe de diamant ont été effectués par la Compagnie des Métaux Précieux, Ivry, près de Paris, sur un cylindre en platine iridié destiné à constituer un futur étalon. Les résultats n'ont pas confirmé nos espérances à cause d'une mauvaise homogénéité de l'alliage.

La question du polissage intéresse aussi la section des masses du NPL, Teddington. Une collaboration s'est instaurée avec ce laboratoire qui nous a fourni des photographies prises au microscope électronique sur les cylindres en platine iridié que nous possédons. D'autre part, Johnson-Matthey a proposé de réaliser un alliage de platine iridié suivant une nouvelle technique qui devrait améliorer son homogénéité et permettre un meilleur poli. Nous envisageons de commander deux ébauches d'étalons de 1 kg fabriquées suivant ce procédé.

### *Masse volumique de l'eau*

Dans le Rapport de 1976 (p. 43) nous avons donné les résultats, que nous considérons comme définitifs, de l'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique.

L'objectif suivant est la détermination de l'influence de la teneur en gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau. L'année dernière, nous avons acheté une chaîne de titrage (Rapport 1977, p. 32) pour mesurer la teneur de l'eau en oxygène dissous (on sait en effet qu'il suffit de titrer l'oxygène pour connaître la teneur totale en gaz atmosphériques dissous). De nombreux essais ont été effectués avec cette chaîne de titrage afin d'obtenir des résultats très reproductibles.

Pour étudier la variation de la masse volumique de l'eau en fonction de sa teneur en gaz atmosphériques dissous, nous avons repris la méthode de la pesée hydrostatique, déjà utilisée pour déterminer l'influence de la composition isotopique.

Des mesures préliminaires ont été effectuées à deux températures, 4 °C et 22 °C, à partir d'eau dégazée que l'on laissait se saturer soit naturellement soit artificiellement en la faisant traverser par un léger courant d'air. On a pu ainsi faire des mesures avec des échantillons d'eau dont le taux de saturation en oxygène dissous variait entre 0,1 et 0,95.

Le corps immergé est un cylindre en « Zerodur », de coefficient de dilatation négligeable, ce qui diminue l'importance des corrections.

On a constaté que la masse volumique de l'eau décroît régulièrement quand le taux de saturation en gaz augmente jusqu'à environ 0,8. Au delà,

les résultats ne sont plus aussi cohérents, surtout à 22 °C, et il est possible que des microbulles se forment à la surface du cylindre en « Zerodur ».

De ces mesures préliminaires, il ressort que la différence de masse volumique entre un échantillon d'eau ne contenant pas de gaz atmosphériques dissous et le même échantillon saturé en ces gaz est de l'ordre de 0,004 kg/m<sup>3</sup> à 4 °C et de 0,0025 kg/m<sup>3</sup> à 22 °C.

### *Études courantes*

— Détermination de la masse et de la masse volumique d'un étalon de masse de 1 kg N° 82 en acier inoxydable « Nicral D » (Agence Internationale de l'Énergie Atomique, Wien, Autriche).

— Détermination de la masse d'un étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable (Ile Maurice).

### *Hygrométrie*

L'hygromètre à point de rosée « EG and G » nous a servi à étalonner les autres hygromètres (électrique et à cheveux) utilisés au BIPM. L'enceinte à état hygrométrique variable (voir *Divers*) nous permettra d'effectuer ces étalonnages pour toute valeur de l'état hygrométrique.

### *Divers*

Le BIPM ne disposait pas jusqu'à maintenant de microscope permettant d'examiner les surfaces (d'étalons de masse par exemple). Le prêt par la Société Wild + Leitz France d'un appareil adapté à nos besoins nous a permis de reconnaître l'utilité d'un tel achat. Le BIPM dispose donc maintenant d'un microscope stéréoscopique M 8 (grossissement 6 à 80, éclairages épiscopiques coaxial et latéral) avec lequel nous pouvons examiner les surfaces et prendre des photographies soit en système Polaroid soit sur pellicule en format 24 mm × 36 mm.

Nous avons acheté une enceinte, d'une capacité de 250 litres, à humidité relative et température variables. Cet appareil est destiné à l'étude de l'influence de l'humidité de l'air sur la masse des étalons.

### *Suite donnée à la réunion internationale sur les masses (novembre 1976)*

Les activités des Groupes de travail créés à cette réunion (Rapport 1977, p. 32) sont les suivantes :

*Groupe de travail 1 : Formule pour le calcul de la correction de poussée de l'air.* — A la suite d'échanges de documents d'étude, la rédaction d'un rapport a pu être commencée. Ce rapport proposera une formule pour l'usage international.

*Groupe de travail 2 : Mesure directe de la poussée de l'air.* — Nous n'avons que peu de renseignements sur les travaux de ce groupe.

*Groupe de travail 3 : Conservation des étalons de masse.* — Un questionnaire a été envoyé à 26 laboratoires et 5 constructeurs au mois de

novembre 1977. Nous avons reçu et analysé 17 réponses de laboratoires et 3 réponses de constructeurs.

### Échelles de temps (J. Azoubib)

Conjointement avec le BIPM, le BIH a continué à établir le Temps Atomique International (TAI) et à gérer le système du Temps Universel Coordonné (UTC). Ces travaux ont été poursuivis régulièrement sans aucun incident. Les méthodes pour comparer les horloges n'ont pas changé. Les incertitudes liées à ces méthodes constituent une limitation sévère à l'amélioration du TAI. Pour cette raison, le BIH porte une attention particulière aux autres moyens de comparaison, particulièrement les méthodes de comparaison de temps par satellite.

#### *Temps Atomique International*

Pour utiliser au mieux les données expérimentales disponibles, on est conduit à traiter séparément les problèmes de la stabilité et de l'exactitude du TAI.

La *stabilité* est assurée par un nombre croissant d'horloges à césium (environ 100 en 1978) comparées entre elles au moyen du LORAN-C et de la télévision, avec des incertitudes de l'ordre de 0,1 à 0,2  $\mu$ s. Malgré la Recommandation S 5 (1974) du CCDS et les demandes pressantes du BIH, aucune donnée d'horloge autre que celles d'horloges à césium n'a été fournie au BIH. Le nombre d'horloges traité par le programme ALGOS allant croissant, il a été nécessaire de se pencher à nouveau sur ce programme. Une solution qui n'a pas encore été adoptée consiste à éliminer les liaisons redondantes. Il en résulterait un gain en temps de calcul. Durant la fin de l'année 1977, une étude a été entreprise en vue d'introduire les horloges du Japon dans le réseau du BIH. Parmi les deux types de liaisons existantes entre le Japon et l'U.S. Naval Observatory, aucune ne s'est révélée utilisable par le BIH.

L'*exactitude* est assurée par les étalons primaires à césium du NBS, du NRC et de la PTB qui fournissent la réalisation physique de la seconde du SI. La conformité pratique de la durée de l'intervalle unitaire du TAI à la seconde du SI peut être réalisée en tenant compte des informations des étalons primaires. Dans ce but, le 1<sup>er</sup> janvier 1977, la durée de l'intervalle unitaire du TAI a été allongée de  $10 \times 10^{-13}$  s; et depuis avril 1977, le TAI est obtenu à partir de l'Échelle Atomique Libre (EAL) au moyen d'une méthode de pilotage. L'EAL, calculée à l'aide du programme ALGOS, diffère du TAI depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1977. La méthode de pilotage provisoirement choisie consiste à effectuer des ajustements de fréquence par sauts de  $0,2 \times 10^{-13}$  en valeur relative lorsque cela se révèle nécessaire, mais à des intervalles qui ne sont jamais inférieurs à deux mois. Cette méthode est en accord avec la Recommandation S 1 (1977) du CCDS. L'EAL sert de référence pour les étalonnages par les étalons primaires. Après estimation de la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL, des ajustements de fréquence lui sont appliqués pour obtenir le TAI. Le tableau I donne les différences de fréquences normées entre l'EAL et le TAI.

TABLEAU I

*Différences de fréquences normées  
entre l'Échelle Atomique Libre (EAL)  
et le Temps Atomique International (TAI)*

Intervalle	$f(EAL) - f(TAI)$ (en $10^{-13}$ )
jusqu'au 1 <sup>er</sup> janvier 1977	0
janvier-avril 1977	10,0
mai-juin 1977	9,8
juillet-août 1977	9,6
septembre-octobre 1977	9,4
novembre 1977-...	9,2

La figure 1 permet de comparer la durée de l'intervalle unitaire de l'EAL à celle de l'intervalle unitaire du TAI obtenu par pilotage.

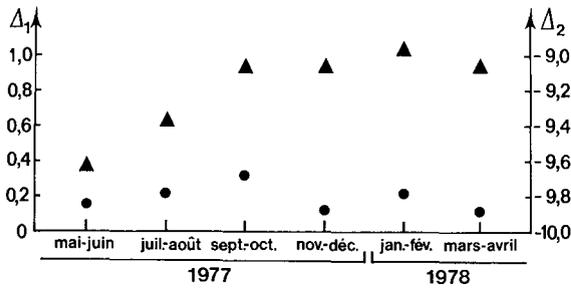


Fig. 1. — Excès  $\Delta_1$  et  $\Delta_2$  de la durée de l'intervalle unitaire respectivement du TAI (●) et de l'EAL (▲) par rapport à la durée de la seconde prise au niveau de la mer (unité:  $10^{-13}$  s).

### Transmission du temps par satellite

La couverture mondiale par un réseau de satellites, la grande précision et la grande exactitude attendues d'un tel système permettraient d'améliorer le TAI.

Parmi les expériences en cours de comparaison de temps par satellite, le BIH participe à deux d'entre elles qui utilisent les satellites NTS-1 et « Symphonie ».

NTS-1 est un satellite expérimental lancé en vue d'étudier la faisabilité du GPS (Global Positioning System), système conçu conjointement par la marine et l'armée de l'air américaines. Équipé d'une horloge à quartz et de deux horloges à rubidium, il est actuellement utilisé pour effectuer des comparaisons de temps entre plusieurs laboratoires situés en Amérique du Nord, en Europe, en Australie et au Japon.

Le projet franco-canadien actuellement en cours consiste à effectuer entre la France et le Canada des comparaisons de temps à l'aide du satellite géostationnaire Symphonie. Celui-ci est utilisé comme relais au cours de la comparaison. Cette expérience fait suite à la comparaison de temps effectuée avec le même satellite en décembre 1976 entre la Rép. Féd. d'Allemagne et la France. Lors de cette expérience, la précision de 5 ns a été atteinte.

Les résultats des expériences actuellement en cours seront analysés vers la fin de l'année 1978.

### *Les corrections relativistes*

La correction gravitationnelle des fréquences est automatiquement prise en compte par le programme ALGOS où elle est incluse dans la correction systématique des marches des horloges. Cette correction est appliquée explicitement lorsqu'on utilise les données des étalons primaires pour évaluer la durée de l'intervalle unitaire du TAI.

Les corrections aux comparaisons d'horloges peuvent atteindre quelques 0,1  $\mu$ s. Le BIH a mis au point un formulaire et un programme pour les traiter.

### **Gravimétrie** (A. Sakuma)

#### *Gravimètre absolu transportable.*

Dans le but d'améliorer les résultats obtenus avec le gravimètre absolu transportable construit en collaboration avec l'IMGC (Turin), nous avons étudié les modifications qu'il serait souhaitable d'apporter à une nouvelle version de cet appareil.

Ces améliorations pourraient être les suivantes :

— réalisation mécanique de la catapulte plus soignée, plus grande maniabilité de son chargement et meilleur ajustement de la position de l'axe de lancement (cet axe doit passer par le centre de gravité du trièdre mobile);

— contrôle systématique de la verticalité et de l'absence de rotation du trièdre durant le vol;

— protection accrue de l'interféromètre et du sismomètre de référence contre les variations extérieures de température et de champ magnétique; elle serait obtenue en rendant tous les réglages accessibles de l'extérieur du caisson étanche, en remplaçant la masse principale en laiton du sismomètre par une masse en « Alacrite » dont les qualités amagnétiques sont supérieures et enfin en enfermant tout l'ensemble dans un blindage magnétique;

— amélioration du réglage de la verticalité du faisceau laser (une méthode interférentielle permettrait une reproductibilité de ce réglage meilleure que trois secondes);

— adoption d'une nouvelle méthode de mesure dans laquelle le nombre de stations à la montée et à la descente serait considérablement augmenté. Ces stations seraient équidistantes (par exemple distantes de  $1\ 000 \lambda/2$ ); le décalage d'altitude des stations entre la montée et la descente interviendrait comme un paramètre qu'il serait possible de calculer. L'électronique de mesure, considérablement simplifiée, serait pratiquement réduite à un chronomètre capable de mesurer des intervalles de temps successifs; les incertitudes sur la position des stations, dues au comptage réversible des franges d'interférence nécessaire dans la méthode des deux stations, seraient fortement diminuées. L'acquisition et la mémorisation des indications successives du chronomètre, le traitement de ces données et la sortie des résultats seraient réalisés par un microprocesseur.

La construction de la partie supérieure du nouvel appareil (comportant le sismomètre, la séparatrice et les miroirs de renvoi réglables) est dès maintenant terminée.

### **Thermométrie** (J. Bonhoure)

Les travaux de bâtiment effectués dans l'Observatoire n'ont pris fin qu'au début de 1978; ils ont eu des conséquences diverses sur l'activité de la section de thermométrie.

Le gain de place disponible a permis d'installer les cryostats et les fours dans deux salles différentes; ce réaménagement, souhaitable pour la qualité des mesures, a en revanche retardé notablement le développement du programme de travail. De plus, comme nous l'indiquions déjà dans le Rapport de 1977 (p. 35), l'étude par pyrométrie infrarouge des températures thermodynamiques dans l'intervalle 419-630 °C a encore été retardée.

### *Échelle Internationale Pratique de Température*

*Cellules scellées pour thermomètres du type capsule.* — Ces cellules, construites en acier inoxydable et remplies soit d'argon, soit de méthane, sont destinées à l'étalonnage des thermomètres du type capsule à la température des points triples. Elles sont placées au centre d'un cryostat et utilisées en régime adiabatique; elles présentent l'avantage de n'avoir aucune liaison avec l'extérieur du cryostat, à l'inverse de la chambre de mesure classique.

Les résultats dont on dispose à ce jour sont très encourageants :

— Si l'on prend pour référence les valeurs moyennes des points triples réalisés précédemment dans un cryostat à chambre de mesure, les cellules scellées donnent une température supérieure de 0,2 mK pour l'argon et une température inférieure de 0,2 mK pour le méthane. Ces écarts sont à la limite de l'incertitude admise ( $\pm 0,2$  mK) sur les points triples de l'argon et du méthane.

— Les points triples sont mieux reproductibles dans les cellules scellées que dans la chambre de mesure; ce résultat, attendu, vient du fait que dans une cellule scellée on travaille toujours sur le même échantillon de gaz, donc toujours avec les mêmes impuretés en quantités immuables.

— La température des points triples ne montre pas d'évolution dans le temps, tout au moins au cours des quatre premiers mois; il y a donc une bonne conservation de la pureté des gaz sous forte pression (7 MPa pour l'argon, 5 MPa pour le méthane) dans les cellules en acier inoxydable.

*Température des points triples de l'argon et du méthane.* — A la suite des échanges de thermomètres étalonnés ou de cellules scellées qui ont eu lieu entre plusieurs laboratoires au cours des trois dernières années, on commence à mieux voir les causes des désaccords sur les températures de ces points fixes. Comme on le présumait, les larges dispersions observées aux points triples de l'argon et du méthane ( $\pm 1,8$  mK dans les deux cas) proviennent de la réalisation imprécise du point d'ébullition de l'oxygène pris pour référence. La dispersion sur l'intervalle de température « point triple de l'argon — point triple du méthane » est de  $\pm 0,4$  mK seulement.

Une comparaison internationale, par circulation de cellules scellées, doit être organisée par l'IMGC (Italie) sous les auspices du CCT.

*Cellule scellée pour thermomètres à tige.* — Cette cellule, destinée à l'étalonnage des thermomètres à tige au point triple de l'argon, a été remplie en juillet 1975. Elle n'est pas utilisée en régime adiabatique, mais fonctionne à flux de chaleur constant (Rapport 1976, p. 53). Les paliers de température observés ont une durée de quatre heures environ et la pente du palier est au maximum de 0,5 mK/h. On savait déjà que le point triple de l'argon obtenu dans cette cellule était reproductible à quelques 0,1 mK près, mais on manquait d'expérience à long terme. On dispose maintenant des deux valeurs suivantes de la résistance réduite  $W$  du thermomètre T 226 322 :

avril 1976	0,216 071 2
décembre 1977	0,216 071 0

La différence correspond à un écart de température inférieur à 0,1 mK, tout à fait négligeable. Ce résultat montre à nouveau que l'argon, conservé sous forte pression dans une enceinte en acier inoxydable, reste pur.

*Cryostats.* — Le transfert de l'étude et de la mesure des températures inférieures à 0 °C dans une nouvelle salle d'expérimentation a conduit à reconstruire le réseau des canalisations nécessaires au fonctionnement des cryostats; le dispositif de remplissage des cellules scellées fait maintenant partie du même ensemble de mesure. On a aussi prévu l'installation d'un cryostat spécialement destiné à la réalisation d'un point triple de l'argon étudié comme point fixe de pression (voir *Manométrie*).

On a acheté un détecteur de fuites et un analyseur de gaz. Ces nouveaux équipements, très utiles à la section de thermométrie, rendront aussi des services appréciés dans d'autres sections.

*Point triple de l'eau.* — Le contrôle fréquent du  $R_0$  de thermomètres à résistance de platine offre l'occasion de comparer des cellules à point triple de l'eau d'origines différentes. Dans le Rapport de 1977 (p. 37), nous indiquions des résultats de comparaison entre des cellules de fabrication italienne (IMGC) et de fabrication américaine (Jarrett). Après l'achat de cellules de fabrication anglaise (NPL), de telles comparaisons ont été reprises en formant deux groupes de trois cellules. Nous avons obtenu, pour les différences entre chaque cellule et la moyenne des trois cellules du groupe, les valeurs suivantes :

NPL 51	— 0,10 mK	NPL 53	— 0,06 mK
IMGC 12	— 0,05	IMGC 12	— 0,03
Jarrett 759	+ 0,15	Jarrett 759	+ 0,08

Ces résultats portent sur un petit nombre de mesures; on ne peut donc pas considérer qu'ils montrent l'existence d'écarts significatifs.

L'IMGC a récemment fait don au BIPM de deux nouvelles cellules; la PTB doit aussi céder gracieusement des cellules au BIPM. Nous procéderons alors à une comparaison complète de toutes les cellules disponibles.

*Ponts de mesure.* — Le BIPM dispose de deux ponts Guildline; l'un est utilisé à la section d'électricité, l'autre à la section de thermométrie. On a comparé les deux ponts en mesurant la résistance d'un thermomètre placé dans une cellule à point triple de l'eau; l'accord est de  $1 \times 10^{-7}$  sur la résistance, soit l'équivalent de  $25 \mu\text{K}$ .

Le pont ASL a été révisé; on a, en outre, remplacé le dispositif d'affichage numérique à tubes électroniques par un dispositif à diodes.

Le pont de Smith, encore utilisé par plusieurs sections (longueurs, interférométrie, gravimétrie, électricité), sera très prochainement supprimé et remplacé par des ponts Tinsley à comparateur de courants.

#### *Températures thermodynamiques: étude par pyrométrie infrarouge*

Le but des nouvelles mesures est de faire la comparaison des deux cavités « corps noir » dans l'intervalle de température 419-630 °C, au lieu de 630-1 064 °C précédemment (Rapport 1976, p. 55). Pour cela, on a jugé souhaitable de remplacer le tube photoélectrique par un photomultiplicateur refroidi et les thermocouples platine/platine rhodié par des thermomètres à résistance de platine. La plupart des modifications nécessaires sont terminées: adaptations mécanique et optique, essai de refroidissement du photomultiplicateur, reconstruction des fours avec adjonction d'un tube en acier inoxydable pour guider et protéger les thermomètres.

#### *Études courantes*

Le BIPM a étalonné quatorze thermomètres à résistance de platine et cinq thermocouples platine/platine rhodié, appartenant à l'Institut National de Métrologie (Rép. Pop. de Chine), à l'Office Fédéral de Métrologie (Suisse), à l'Office Métrologique Tchécoslovaque, au Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux (Yougoslavie) et au BIPM.

On a aussi effectué:

— l'étude de la position du point zéro d'un thermomètre à mercure (Centre d'Essais en Vol, Brétigny, France);

— la mesure du coefficient de pression extérieure et l'étalonnage par comparaison à un thermomètre à résistance de platine de quatre thermomètres à mercure à échelle réduite (Société Genevoise d'Instruments de Physique, Genève, Suisse);

— l'étude d'un thermomètre à mercure pour la section des rayonnements ionisants.

#### **Manométrie (J. Bonhoure)**

##### *Manobaromètre interférentiel*

Dans le Rapport de 1977, p. 39, nous indiquons que l'appareil prototype installé au BIPM en 1966 avait été complètement révisé par son constructeur (Établissements Jaeger). On a, ensuite, amélioré et remis en bon état de fonctionnement les équipements annexes du manobaromètre: pompes à vide, réservoirs-ballasts, etc. En particulier, on a renforcé

la protection thermique du circuit de canalisations qui permet de mettre en liaison avec le manobaromètre tout appareil à lui comparer.

Un manobaromètre identique à celui du BIPM a été installé au Centre d'Essais en Vol, Brétigny (France) en 1970; cet appareil a fonctionné sans défaillance pendant sept ans, avant que n'apparaisse un dérèglement — d'ailleurs inexplicable — de la partie interférométrique. Suivant les accords conclus avec les Établissements Jaeger, le BIPM a procédé à un nouveau réglage de l'appareil.

#### *Instrument de transfert de pression*

Un point triple peut aussi bien servir de point fixe de pression que de point fixe de température; or on cherche depuis longtemps un appareil transportable pour comparer avec précision des manobaromètres à mercure qui, du fait de leur masse et de leur encombrement, sont pratiquement intrasportables.

Le point triple de l'argon est intéressant parce que sa pression est de l'ordre de 69 kPa, donc peu éloignée de la pression atmosphérique; de plus, on sait qu'il est reproductible à mieux que 1 Pa. On espère disposer ainsi d'un instrument de transfert pratique pour une pression donnée; les points triples d'autres corps purs, donc d'autres points fixes de pression, sont envisageables pour l'avenir.

On a commencé la construction du cryostat et acquis le capteur différentiel qui sera utilisé comme appareil de zéro pour établir, dans le manobaromètre à contrôler, une pression égale à celle du point triple. Dans un premier temps, on veut étudier la répartition des températures le long du tube vertical (en cuivre et acier inoxydable) qui relie la chambre de mesure (84 K) au réservoir (300 K). Il faut en effet connaître avec précision la correction de pression due à la colonne de gaz au-dessus du point triple.

#### *Enquête sur les mesures de pression*

Bien que la pression ne soit pas une grandeur de base du SI, il semble qu'une certaine coordination des mesures dans ce domaine soit souhaitée par les laboratoires concernés.

Le BIPM a adressé un questionnaire à un certain nombre de laboratoires pour mieux connaître les problèmes qui se posent. Les premières réponses demandent toutes l'organisation au BIPM d'une réunion de spécialistes pour déterminer les travaux à entreprendre.

#### *Études courantes*

On a contrôlé la jauge Texas utilisée à la section des masses, ainsi qu'une jauge en service à la section des lasers.

#### **Électricité** (G. Leclerc, T. Witt)

#### *Exactitude de la représentation de l'ohm conservée par le BIPM*

Dans le but d'estimer l'exactitude de la valeur de référence  $\Omega_{69-BI}$  du BIPM, nous avons, depuis deux ans, entrepris de comparer  $\Omega_{69-BI}$

aux représentations de l'ohm (déterminées en valeur absolue par rattachement au farad) de plusieurs laboratoires nationaux. Les résultats déjà obtenus sont les suivants :

$$\begin{aligned}\Omega_{69-BI} &= \Omega - 1,40 \mu\Omega \pm 1,0 \mu\Omega && \text{(comparaison à } \Omega_{LCIE}), \\ &= \Omega - 1,19 \mu\Omega \pm 0,4 \mu\Omega && \text{(comparaison à } \Omega_{ETL}), \\ &= \Omega - 1,02 \mu\Omega \pm 0,2 \mu\Omega && \text{(comparaison à } \Omega_{NML}).\end{aligned}$$

Il semble donc, qu'en moyenne, la représentation de l'ohm conservée par le BIPM soit trop faible d'environ  $1,2 \times 10^{-6}$ . Des comparaisons à  $\Omega_{NML}$  (dédié du farad depuis 1964), il apparaît aussi que  $\Omega_{69-BI}$  diminue de  $7 \times 10^{-8}$  par an.

*Comparaisons de représentations nationales de l'ohm.*

*Rattachement de  $\Omega_{NPL}$  à  $\Omega_{69-BI}$ .* — En mars 1978, B.P. Kibble (NPL) a apporté au BIPM deux étalons de 1  $\Omega$  de premier ordre, de type classique, et l'étalon de transfert spécial de 1 000  $\Omega$  qu'il a construit. Cet étalon est conservé en permanence à environ 30 °C dans une enceinte thermorégulée dont la température peut être mesurée au moyen d'un thermomètre à résistance.

On a obtenu les résultats suivants :

$$\begin{aligned}\text{— avec les étalons de 1 } \Omega: & \quad \Omega_{NPL} = \Omega_{69-BI} + 0,16 \mu\Omega, \\ & \quad \quad \quad = \quad \quad \quad + 0,14 \mu\Omega, \\ \text{— avec l'étalon de 1 000 } \Omega: & \quad \Omega_{NPL} = \Omega_{69-BI} + 0,22 \mu\Omega.\end{aligned}$$

C'est la relation fournie par les étalons de 1  $\Omega$ , c'est-à-dire  $\Omega_{NPL} = \Omega_{69-BI} + 0,15 \mu\Omega$ , que nous considérons comme le résultat définitif de la comparaison. Cependant, la bonne concordance entre les résultats fournis par les étalons de 1  $\Omega$  et par l'étalon de 1 000  $\Omega$  montre qu'au NPL, comme au BIPM, on effectue le passage de 1 à 1 000  $\Omega$  avec une précision satisfaisante.

*Rattachement de  $\Omega_{ASMW}$  à  $\Omega_{69-BI}$ .* — En l'absence de comparaison internationale périodique, l'ASMW (Rép. Dém. Allemande) contrôle régulièrement l'évolution de son groupe de référence national par comparaison au groupe du BIPM. Cette année, l'ASMW nous a fait parvenir deux étalons de transfert de 1  $\Omega$  et un étalon de transfert de  $10^4 \Omega$ . Les mesures sont en cours.

*Rattachement de  $\Omega_{NBS}$  à  $\Omega_{69-BI}$ .* — Aucune comparaison entre les représentations de l'ohm conservées par le NBS et par le BIPM n'ayant eu lieu depuis cinq ans, nous avons profité du passage d'un physicien du NBS pour lui confier deux étalons de 1  $\Omega$  de premier ordre. Après retour des étalons au BIPM, on a obtenu :

$$\text{au 20 juin 1978, } \Omega_{NBS} = \Omega_{69-BI} + 0,31 \mu\Omega.$$

Si l'on admet que  $\Omega_{NBS} = \Omega - 0,817 \mu\Omega$ , on en déduit  $\Omega_{69-BI} = \Omega - 1,13 \mu\Omega$ , valeur qui confirme les résultats ci-dessus déduits des comparaisons de  $\Omega_{69-BI}$  à  $\Omega_{LCIE}$ ,  $\Omega_{ETL}$  et  $\Omega_{NML}$ .

*Étalons de résistance en alliage or-chrome*

Malgré le temps écoulé, la vitesse d'évolution de ces instruments ne se ralentit pas (fig. 2 et 3). A une exception près, leur résistance diminue,

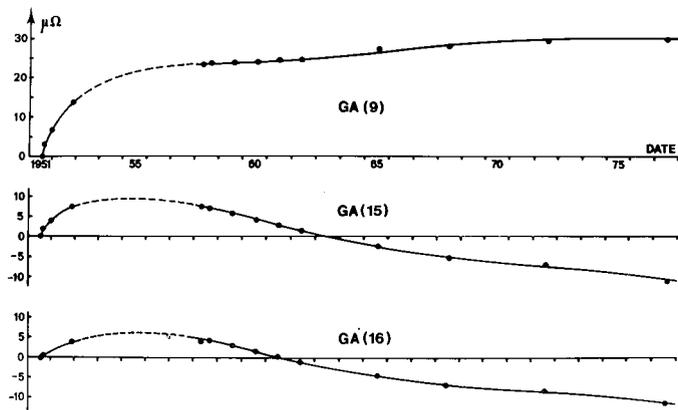


Fig. 2. — Évolution, depuis 1951, de la résistance à 20 °C d'étalons de 1  $\Omega$  en alliage or-chrome.

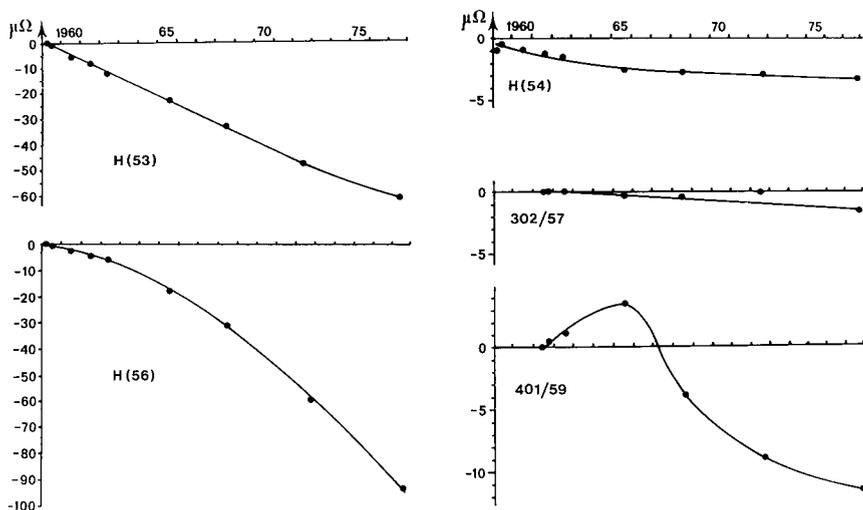


Fig. 3. — Évolution, depuis 1960 et 1961, de la résistance à 20 °C d'étalons de 1  $\Omega$  en alliage or-chrome.

très rapidement d'ailleurs pour trois d'entre eux. Deux seulement, GA(9) et N° 302/57, dont les variations annuelles sont respectivement de + 0,11  $\mu\Omega$  et - 0,06  $\mu\Omega$ , paraissent donc pouvoir, pour l'instant, constituer des étalons satisfaisants.

Ces instruments ont cependant l'avantage d'avoir des coefficients de température négligeables, ce qui les rend précieux pour certaines expériences.

*Dispositif pour la détermination du coefficient de pression des étalons de résistance*

Le dispositif décrit antérieurement (Rapport 1976, p. 58) ne nous ayant pas donné entière satisfaction, nous l'avons modifié de façon à pouvoir :

- 1 — soumettre l'étalon en cours d'étude à des pressions inférieures ou supérieures à la pression atmosphérique,
- 2 — conserver l'étalon de référence à une pression constante pendant toute la durée de l'expérience.

Le nouveau dispositif (*fig. 4*) comporte donc deux récipients étanches

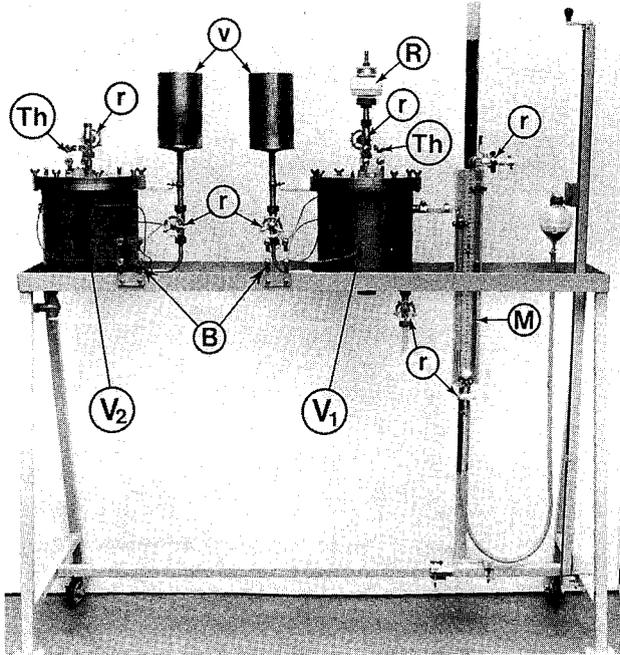


Fig. 4. — Dispositif pour la détermination du coefficient de pression des étalons de résistance.

$V_1$  et  $V_2$ , récipients étanches remplis d'huile de paraffine dans lesquels on place respectivement l'étalon à étudier et l'étalon de référence;  $v$ , vases utilisés pour le remplissage des récipients  $V$ ;  $R$ , réservoir dans lequel on crée la surpression ou la dépression souhaitée par injection d'argon comprimé ou par détente sur une réserve de vide (non représentée);  $r$ , vannes et robinets assurant la fermeture étanche des deux récipients;  $B$ , bornes de sortie des prises de courant et de potentiel des résistances comparées;  $Th$ , bornes de sortie des thermomètres à résistance de platine;  $M$ , manomètre à mercure.

remplis d'huile de paraffine, le premier contenant l'étalon à étudier et le second l'étalon de référence. La température de chaque étalon est mesurée au moyen d'un thermomètre à résistance de platine.

L'étalon étudié est soumis à des pressions comprises entre 70 et 120 kPa environ, pressions qui sont mesurées, comme auparavant, avec un manomètre à mercure.

### *Conservation des piles étalons*

Pour essayer de conserver des piles dans de bonnes conditions sans être obligé de les porter à 30 °C, ce qui augmenterait leur coefficient de température, nous avons entrepris de construire deux enceintes à grande inertie thermique. Elles seront placées dans un puits dont la température varie peu et surtout très lentement au cours de l'année. L'une des enceintes contiendra 15 piles, l'autre 6. La première enceinte sera cependant équipée d'un dispositif de thermorégulation pour le cas où les résultats obtenus en laissant la température dériver ne seraient pas satisfaisants.

Nous avons par ailleurs modifié l'une de nos enceintes thermorégulées à 30 °C (Rapport 1977, p. 41) en rapprochant les éléments de chauffage du thermomètre qui commande la régulation de température, en remplaçant la sonde à platine utilisée pour mesurer cette température par un thermomètre étalon à résistance de platine et une thermistance étalonnée, enfin en construisant un support des piles qui évite l'établissement de courants de convection.

### *Conservation de l'unité de force électromotrice*

Notre référence de force électromotrice (f.é.m.) est conservée, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1976, en mettant en œuvre l'effet Josephson et en admettant que la fréquence qui correspond à  $1 V_{76-BI}$  a pour valeur 483 594,0 GHz.

Depuis octobre 1977, nous avons effectué onze séries de mesures. Normalement, une série de mesures comporte quatre déterminations d'une pile étalon saturée du groupe BIRD et quatre déterminations d'une pile non saturée du groupe BINS. L'écart-type de la moyenne des quatre déterminations est de l'ordre de  $5 \times 10^{-9}$  en valeur relative. Pour apprécier la reproductibilité des mesures d'une série à l'autre, nous avons calculé l'écart-type d'une mesure d'après les différences entre la valeur mesurée pour la f.é.m. moyenne de chaque groupe et la valeur calculée au moyen d'un ajustement faisant intervenir l'ensemble des mesures; il est de l'ordre de 11 nV pour BIRD et 15 nV pour BINS. Nous faisons le rattachement entre les piles mesurées par l'effet Josephson et les autres piles du même groupe, ainsi que le rattachement entre les deux groupes, au moyen d'un potentiomètre commercial.

La reproductibilité d'une série à l'autre est influencée, entre autres, par les facteurs suivants :

- 1 — la reproductibilité du potentiomètre,
- 2 — la stabilité de la température de l'enceinte BIRD (les piles non saturées du groupe BINS ont de très faibles coefficients de température et on obtient une stabilité de température suffisante avec une enceinte commerciale),
- 3 — la stabilité propre des piles étalons.

Ces deux groupes, rattachés directement aux mesures par l'effet Josephson, permettent d'étalonner un groupe de référence (4BIPM2) qui est utilisé pour les rattachements aux autres piles du BIPM et aux piles de l'extérieur.

Nous donnons ici quelques détails sur le groupe BIRD et les comparaisons entre ses piles et les piles du groupe BINS. Nous avons changé le

groupe BIRD en mai 1977 à cause des instabilités des piles qui le constituaient alors. Depuis septembre 1977, nous avons constaté un ralentissement de la dérive qui est à présent quasiment nulle. Pendant cette période de 9 mois, la température de cette enceinte a baissé puis remonté, la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale étant de 3,2 mK. Cette variation est lente et n'a jamais dépassé 0,1 mK par jour. A partir des variations de la température, on a pu déterminer un coefficient de température pour ces piles, en très bon accord avec le coefficient de  $- 56,7 \mu\text{V/K}$  admis à 30 °C. Dans la même période de 9 mois, on a effectué une centaine de comparaisons entre elles des piles de BINS et de BIRD. La résolution de ces mesures est de 5 à 10 nV. L'erreur de fermeture lors de la comparaison des six piles de BINS avec les six de BIRD est, en moyenne, 6 nV.

#### *Comparaisons de représentations nationales du volt*

*Rattachement de  $V_{\text{NPL}}$  à  $V_{76\text{-BI}}$  par comparaison de « dispositifs Josephson » (\*)*. — Le 29 mars 1978, nous avons transporté notre « système Josephson » à Teddington, pour effectuer des comparaisons directes avec le système cryogénique du NPL. Le but de cette opération était de vérifier l'exactitude des deux systèmes par des mesures directes ou, sinon, de mesurer des piles étalons successivement avec chacun des deux systèmes et d'en déduire l'accord entre eux.

Nous avons fait d'abord onze séries de mesures sur des piles étalons; cinq ont été rejetées à cause des variations de la température des enceintes thermorégulées ou des variations des piles. Le 27 avril, nous avons réussi à faire une comparaison directe des deux systèmes en connectant ensemble les deux entrées « 1 V ». Malheureusement, des problèmes d'asservissement du courant dans le système du NPL, de variations du courant du comparateur du BIPM et de niveau du bruit sur le galvanomètre des jonctions du BIPM n'ont pas permis d'obtenir la précision ultime des appareils ( $\approx 1 \times 10^{-8}$  en valeur relative), mais nous avons pu démontrer que cette technique peut être mise en œuvre.

Les comparaisons indirectes (en passant par des piles étalons) donnent le résultat

$$\frac{V_{76\text{-BI}} - V_{\text{NPL}}}{V_{76\text{-BI}}} = - 7 \times 10^{-8}, \quad \sigma = 2 \times 10^{-8},$$

où l'incertitude indiquée traduit la reproductibilité des mesures.

Les mesures directes donnent

$$\frac{V_{76\text{-BI}} - V_{\text{NPL}}}{V_{76\text{-BI}}} = - 9 \times 10^{-8}, \quad \sigma = 5 \times 10^{-8}.$$

Puisque l'exactitude ( $1\sigma$ ) admise de ces mesures est de l'ordre de  $4,4 \times 10^{-8}$ , la différence de  $7 \times 10^{-8}$  indique la présence probable d'erreurs systématiques.

Afin de protéger les jonctions contre les champs électromagnétiques

---

(\*) Les détails de cette comparaison ont été présentés à la Conférence sur les mesures électromagnétiques de précision, 26-29 juin 1978, Ottawa.

de l'environnement, lors de la comparaison avec le NPL, nous avons construit et éprouvé des *filres* passe-bas pour les fils de polarisation des jonctions et les fils du potentiel entre les jonctions et le comparateur de tensions, en respectant les exigences imposées pour cette application (grande résistance d'isolement et faibles forces thermoélectromotrices).

*Rattachement de  $V_{ASMW}$  à  $V_{76-BI}$ .* — Pour effectuer ce rattachement, l'ASMW a envoyé au BIPM un groupe de six piles nues définies à 20 °C. Pendant le voyage, ces piles sont conservées à 20 °C dans une enceinte thermorégulée. Les mesures sont en cours.

#### *Recherche des erreurs systématiques dans l'installation Josephson*

Nous avons fait une série de mesures sur les effets des coefficients de charge (auto-échauffement) des résistances du comparateur de tensions. Nous estimons cette erreur à  $4 \times 10^{-9}$  environ (en bon accord avec des mesures précédentes). Des mesures à différentes températures autour de 26 °C n'ont pas permis de mettre en évidence une variation de cet effet avec la température.

Nous avons fait des essais sur les jonctions afin de déceler l'existence des forces électromotrices parasites en série avec les jonctions, associées à la puissance de la radiation hyperfréquence. Avec deux jonctions branchées en opposition, nous avons ajusté les courants de polarisation pour obtenir le même palier sur chaque jonction. La f.é.m. mesurée dans ce cas n'est donc que celle de la force thermoélectromotrice des fils plus, éventuellement, une force thermoélectromotrice associée à la radiation. En faisant varier la puissance de la radiation entre 0 et 20 mW environ (puissance à laquelle on obtient des paliers correspondant à 5 mV sur chaque jonction), nous n'avons pas décelé (dans la limite de résolution de notre galvanomètre habituel) de force thermoélectromotrice liée à la puissance de la radiation.

Des mesures faites au BIPM avec les jonctions et l'ensemble du système utilisés au NPL n'ont pas montré d'écart systématique par rapport aux résultats obtenus avec le système normalement utilisé au BIPM.

#### *Fabrication des jonctions*

On a construit un système de chauffage électrique des jonctions pour maintenir les substrats à température constante pendant l'oxydation. De nouvelles jonctions ont été faites, parmi lesquelles celles qui ont été utilisées lors de la comparaison au NPL. Les jonctions qui servent pour les mesures courantes de l'effet Josephson depuis février 1976 ont été fabriquées en février 1975. Ces jonctions restent à la température de l'azote liquide grâce à un système de remplissage automatique.

#### *Équipement*

Nous avons acquis :

- une enceinte thermorégulée à 30 °C contenant quatre piles saturées, de type commercial, fabriquée par Elmeasco (Australie);
- un pont thermométrique pour la mesure rapide à 1 mK près de la température des résistances en cours de comparaison; dans ce pont, mis

au point par R. B. Knight (NPL) et construit par Tinsley, la mesure est effectuée en courant alternatif (435 Hz);

— plusieurs résistances ESI de haute qualité (grande stabilité, faible coefficient de température) de valeurs comprises entre  $10^2$  et  $10^5 \Omega$  pour constituer un nouveau pont double et, pour équiper les enceintes en cours de construction, plusieurs commutateurs à très faible force électromotrice de contact;

— un enregistreur (SEFRAM) à double voie pour compléter l'équipement de notre pont Guildline (pour comparaison de résistance);

— une calculatrice programmable et imprimante HP 97 pour la réduction des mesures Josephson et des comparaisons des piles intervenant dans ces mesures, ainsi que pour le traitement statistique des résultats;

— un écran anti-magnétique supplémentaire pour le cryostat qui a servi dans la comparaison avec le NPL.

### *Études courantes*

Ces études constituent toujours une partie importante de l'activité de la section électricité qui a étalonné cette année une quinzaine d'étalons de résistance (valeur à 20 ou 25 °C et quelquefois détermination du coefficient de température) et une cinquantaine de piles définies à 20 ou à 30 °C; ces étalons appartiennent à l'Autriche, la Rép. Pop. de Chine, la Finlande, la France, la Norvège, la Roumanie, la Suède et la Yougoslavie.

### **Photométrie** (J. Bonhoure)

Après une interruption de quinze mois, due aux travaux de bâtiment effectués dans l'Observatoire, les mesures photométriques sont à nouveau possibles.

On a contrôlé les circuits d'alimentation électrique des lampes; les réducteurs de tension, les résistances de 1  $\Omega$  et de 0,1  $\Omega$ , et les éléments Weston ont été réétalonnés. Toutes les lampes étalons de référence du BIPM ont été soigneusement nettoyées.

Un nouveau dispositif d'assèchement de l'air, à chlorure de lithium, a été installé dans la salle de photométrie, située en sous-sol; il remplace une installation hors d'âge, conçue et réalisée au BIPM en 1941 à partir d'un compresseur frigorifique.

### *Installations de mesure*

Le BIPM a fait l'acquisition d'un récepteur à cellule au silicium Lichtmesstechnik (Berlin); la surface sensible du récepteur est recouverte d'une mosaïque de filtres qui assure, pour un éclairage uniforme de la totalité de la surface, une sensibilité spectrale très voisine de la courbe  $V(\lambda)$ . Les premiers essais ont donné entière satisfaction.

### *Études courantes*

On a étudié trente-trois lampes à incandescence (étalons d'intensité lumineuse, de flux lumineux ou de température de répartition) appartenant

nant aux laboratoires nationaux de la Rép. Féd. d'Allemagne, de la Rép. Pop. de Chine, de Suisse et de Tchécoslovaquie.

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

#### Rayons X (M. Boutillon\*)

La Section I du CCEMRI ayant recommandé lors de sa 4<sup>e</sup> réunion (Recommandation R(I)-1 (1977)) d'explorer la possibilité de remplacer les étalons d'exposition par des étalons de kerma dans l'air, des calculs ont été effectués à ce sujet.

La relation entre l'exposition  $X$  et le kerma dans l'air  $K$  est

$$X = K (1 - G) \frac{e}{W},$$

où  $G$  est la fraction de l'énergie des électrons dissipée sous forme de rayonnement de freinage,

$e$  est la charge élémentaire,

$W$  est l'énergie moyenne pour produire une paire d'ions dans l'air.

Lorsqu'on mesure l'exposition, on peut donc en déduire le kerma si l'on connaît  $G$ .

En utilisant les tables de Berger et Seltzer (1964), on a calculé les valeurs de  $G$  pour l'air et l'eau, pour un ensemble de spectres de rayons X (fournis par le NPL), dont les énergies maximales varient entre 100 et 280 keV et les couches de demi-atténuation (CDA) entre 0,2 mm Cu et 5,5 mm Cu. On donne dans la figure 5 les valeurs de  $G$  pour l'air et pour l'eau en fonction de la CDA. Ces valeurs, bien qu'imprécises (incertitude d'environ 20 %), sont suffisamment faibles pour permettre une bonne détermination du kerma.

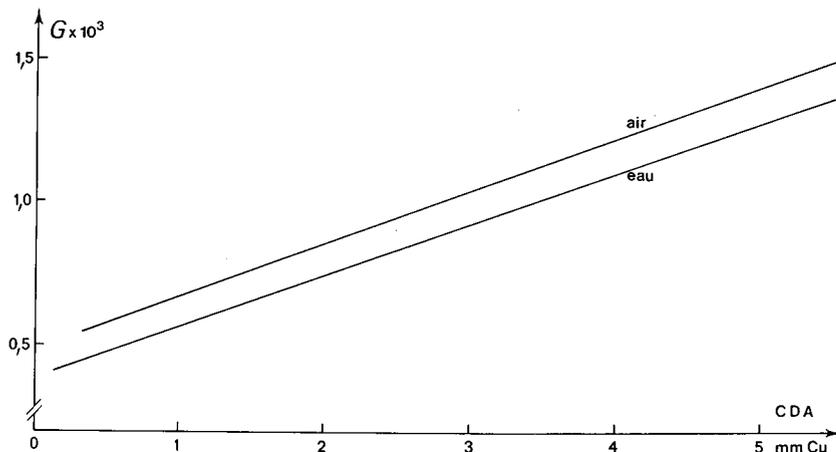


Fig. 5. — Valeurs de  $G$ , fraction de l'énergie des électrons dissipée sous forme de rayonnement de freinage, pour l'air et pour l'eau, en fonction de la couche de demi-atténuation, CDA.

D'autre part, la Section I du CCEMRI a aussi recommandé, dans sa Recommandation R(I)-1 (1977), d'étudier la possibilité d'utiliser des matériaux de référence différents de l'air pour la détermination du kerma. On s'est d'abord intéressé à la question de savoir si le kerma dans un matériau tel que l'eau ou le gaz équivalent au tissu (gaz TE) pouvait être déduit aisément de la mesure du kerma dans l'air. A partir des spectres de rayons X dont il a été question ci-dessus, on a calculé le rapport  $R$  des kermas dans l'air et dans un matériau différent (eau ou gaz TE). On donne la variation de ce rapport dans la figure 6.  $R$  varie assez vite avec la CDA et ne permet pas d'obtenir une précision meilleure que plusieurs  $10^{-3}$  pour la détermination du kerma dans l'eau ou le gaz TE à partir du kerma dans l'air.

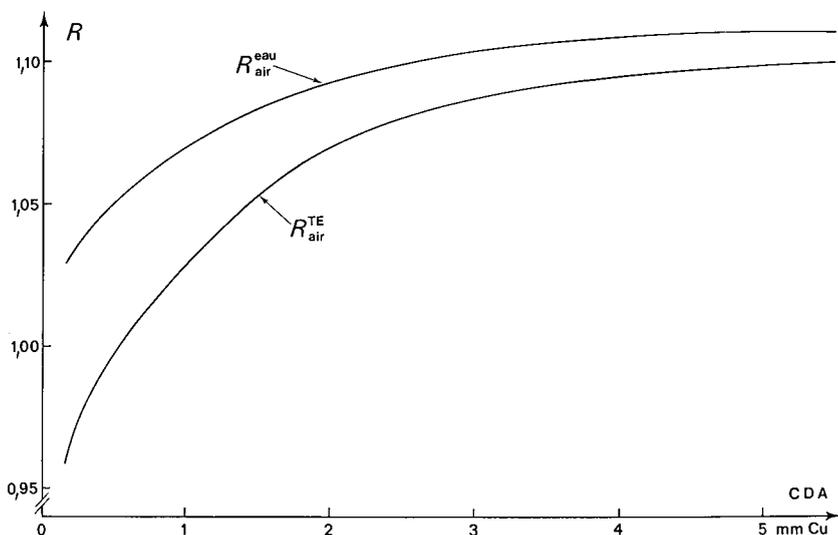


Fig. 6. — Rapport  $R$  des kermas dans l'eau ou le gaz TE, au kerma dans l'air, en fonction de la CDA.

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

#### Enregistrement automatique de données

Un système automatique d'enregistrement de données sur cassettes à bande magnétique est en cours d'élaboration. Il est destiné aux mesures de débit d'exposition  $\dot{X}$  et de débit de dose absorbée  $\dot{D}$ . Dans les deux cas, la grandeur obtenue expérimentalement, de laquelle on déduit  $\dot{X}$  ou  $\dot{D}$ , est le courant d'ionisation massique. Cela nous conduit à enregistrer les données suivantes :

- le temps  $\Delta t$  nécessaire à l'accumulation d'une quantité d'électricité  $C \cdot \Delta U$  due aux ions collectés dans la chambre irradiée,
- l'heure,
- l'écart  $\Delta p$  entre la pression atmosphérique  $p$  et la pression de référence  $p_R$ ,

— trois températures  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  (deux températures concernent la mesure d'ionisation et la troisième la mesure de pression).

Les valeurs des quatre dernières grandeurs seront affichées tour à tour sur le même voltmètre numérique. La centrale d'acquisition et d'impression des données doit donc aussi commander la commutation du voltmètre numérique vers les différents ponts de mesure ( $\Delta p$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ). La figure 7 présente un schéma synoptique du système qui est, pour l'essentiel, analogue à celui qui est décrit dans le Rapport BIPM-77/5. Le tout sera construit au BIPM, sauf le voltmètre numérique (Analog Devices), l'imprimante (REE) et l'unité d'enregistrement (Automatismes et Systèmes).

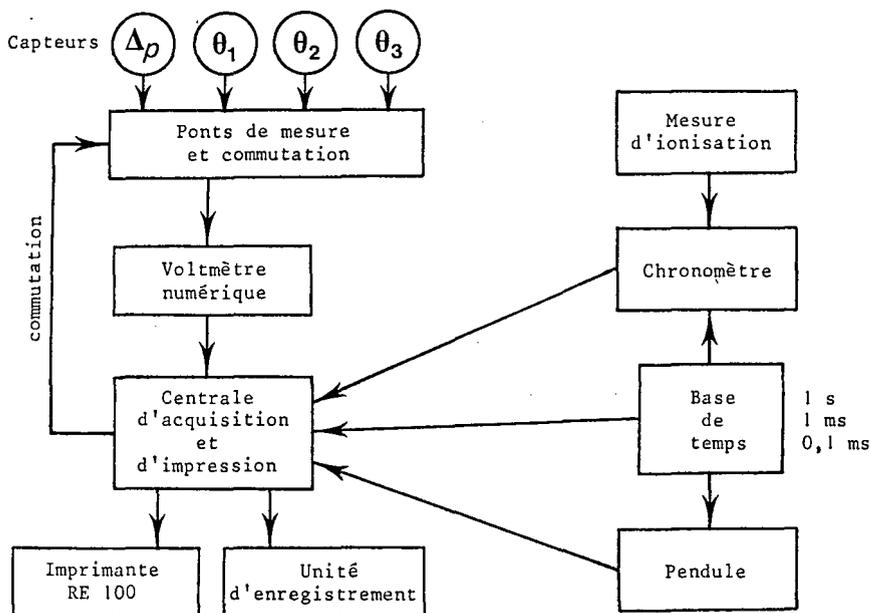


Fig. 7. — Schéma synoptique du système d'enregistrement automatique de données pour la mesure des débits d'exposition et de dose absorbée.

La mesure de  $\Delta p = p - p_R$  est effectuée au moyen d'un capteur différentiel Rosemount, la pression de référence  $p_R$  étant celle de l'air enfermé dans une boîte de laiton calorifugée et dont la température est mesurée.

### Mesure de l'exposition

a) *Calculs concernant le rayonnement de freinage dans la détermination de l'exposition.* — Lorsque l'exposition est mesurée à l'aide d'une chambre d'ionisation à cavité dont les parois sont en carbone, on suppose que le rayonnement de freinage produit dans la paroi de la chambre n'est pas réabsorbé et l'on n'en tient pas compte. En fait, une certaine proportion (faible) de ce rayonnement est réabsorbée et cette proportion augmente avec l'épaisseur des parois.

On a estimé théoriquement cette contribution pour le cas de la chambre

d'ionisation du BIPM placée dans le faisceau de  $^{60}\text{Co}$ . Les valeurs de sections efficaces pour la production du rayonnement de freinage ont été calculées d'après Koch et Motz (1959). On en a déduit, après pondération adéquate, le spectre du rayonnement de freinage produit par les électrons qui prennent naissance dans les parois de la chambre. Enfin, le calcul de la réabsorption de ce rayonnement a été fait par la méthode de Monte-Carlo. On obtient finalement une contribution égale à 0,02 %, valeur faible qui justifie l'approximation faite sur le rayonnement de freinage dans la mesure de l'exposition. On peut, d'autre part, supposer que cette contribution est éliminée expérimentalement en même temps que la contribution due au rayonnement diffusé.

b) *Correction d'humidité.* — À sa 4<sup>e</sup> réunion (1977), la Section I du CCEMRI a décidé de recommander des facteurs de correction à appliquer aux courants d'ionisation mesurés dans l'air humide. C'est pourquoi le BIPM a établi une courbe de correction pour les chambres à cavité, qui est une courbe moyenne obtenue à partir des mesures du LMRI et du RIV et des calculs du BIPM. Une courbe analogue a été établie pour les chambres à parois d'air utilisées avec les rayons X à partir des mesures du BIPM et du PKNM <sup>(5)</sup>.

L'intérêt de ces courbes ne se limite pas à la mesure de l'exposition (ou de la dose absorbée). Ainsi, ces courbes figureront dans le Rapport ICRU en préparation « Average energy required to produce an ion pair » (voir aussi le paragraphe *Électrons* ci-dessous).

c) *Correction de non-uniformité axiale.* — Cette correction, déterminée par les calculs de A. Allisy et M. Boutillon, tient compte de la variation, le long de l'axe du faisceau, de la fluence des photons, selon la loi de l'inverse du carré de la distance à la source. La correction devient donc plus importante si l'épaisseur de la cavité augmente ou si la chambre se rapproche de la source. On a construit une chambre expérimentale C, de même diamètre que la chambre étalon E, mais d'épaisseur plus grande : 4,5 mm au lieu de 2 mm pour chaque demi-cavité. On a mesuré le rapport des courants d'ionisation  $I_c/I_e$  à 1 m et à 2,44 m de la source. Alors qu'on s'attendait à un écart de  $1,1 \times 10^{-3}$  environ, on a trouvé la même valeur aux deux distances. On a effectué divers contrôles : recombinaison des ions, ionisation parasite (hors du volume collecteur), qui sont des quantités susceptibles de varier différemment pour les deux chambres, en fonction de la distance. Mais jusqu'ici on n'a pas trouvé d'explication satisfaisante.

En marge de ces mesures, on a mis au point une méthode pour déterminer la distance des chambres, qui évite le contact de la broche de mesure avec la face avant de la chambre, ce qui pouvait provoquer des déformations de la tige-support. À l'extrémité de la broche est fixée une pièce qui forme l'une des armatures d'un condensateur (avec anneau de garde), la face avant de la chambre constitue l'autre armature. La mesure d'une longueur est donc remplacée par la mesure d'une capacité électrique.

---

<sup>(5)</sup> Ces courbes sont données dans le Rapport du CCEMRI, Section I, 4<sup>e</sup> réunion (1977).

### Mesure de la dose absorbée dans le graphite

a) *Détermination ionométrique du débit de dose absorbée.* — Le calcul du facteur correctif  $K_p$  (qui tient compte de la perturbation due à la présence de la cavité au sein du graphite) a été révisé : on avait supposé que dans la cavité le rapport des kermas du rayonnement diffusé et du rayonnement direct reste constant, ce qui entraîne que le kerma du rayonnement diffusé diminue quand on s'éloigne de la source puisque le kerma du rayonnement direct suit la loi de l'inverse du carré de la distance à la source. Les calculs ont été refaits à partir de l'hypothèse du kerma du rayonnement diffusé constant dans la cavité. Les facteurs  $K_p$  sont maintenant compris entre 0,994 9 et 0,984 7 (au lieu de 0,995 1 et 0,985 6) quand la profondeur croît (masse surfacique de 1 à 17 g/cm<sup>2</sup>).

En ce qui concerne la source de <sup>60</sup>Co de 170 TBq, le problème du manque de reproductibilité des mesures quand on tourne le disque porte-source a été résolu. Pour expérimenter une commande manuelle de la rotation, on a supprimé le moteur et installé un système provisoire (engrenages et manivelle). Il est ainsi possible d'arriver en douceur sur les butées qui correspondent aux positions « repos » et « travail ». La rotation n'introduit plus alors d'erreur appréciable : les écarts-types sont les mêmes (environ  $2 \times 10^{-5}$  pour la moyenne d'une série de 5 mesures) si on laisse la source fixe ou si l'on tourne le disque après chaque mesure. Cela confirme l'hypothèse selon laquelle le manque de reproductibilité était dû à des déplacements des grains de cobalt à l'intérieur de la capsule, déplacements provoqués par les chocs contre les butées. Un système de commande manuelle à distance sera construit à la place du dispositif provisoire actuel.

b) *Comparaisons internationales d'étalons calorimétriques à l'étalon ionométrique du BIPM.* — L'étalon calorimétrique de dose absorbée de la PTB a été comparé à l'étalon ionométrique du BIPM. La géométrie de ce calorimètre ne permettait pas de placer (comme on l'avait fait dans les comparaisons avec le NBS et le LMRI) les mêmes disques de graphite devant le détecteur (calorimètre ou chambre d'ionisation). Les mesures ont été effectuées pour trois profondeurs, correspondant à 5, 7 et 8 g/cm<sup>2</sup>. Les mesures calorimétriques enregistrées sur bandes perforées sont exploitées après coup à la PTB et cette dernière ne nous a pas encore fait connaître ses résultats.

A la suite de la comparaison effectuée précédemment entre le BIPM et le NBS, des expériences annexes ont été effectuées pour le NBS : influence du rayonnement diffusé dû aux disques placés à l'arrière du fantôme, influence d'une fente entre le disque comportant le détecteur et le disque qui le précède.

Les résultats des comparaisons NBS-BIPM et LMRI-BIPM (Rapport 1977, p. 47) ont été révisés (introduction de la correction d'humidité, modification indiquée ci-dessus du facteur correctif  $K_p$ ). Ils sont présentés dans le tableau II.

Ces résultats ont aussi été exploités d'une autre manière (voir Document CCEMRI (I)/77-113). Au lieu de supposer connue  $W$  (énergie moyenne pour produire une paire d'ions dans l'air), on peut considérer que l'exac-

TABLEAU II

*Résultats révisés  
des comparaisons d'étalons de dose absorbée dans le graphite*

Masses surfaciques correspondant aux profondeurs de mesure (valeurs nominales)	Rapport des débits de dose absorbée*	
	$\dot{D}_{\text{NBS}}/\dot{D}_{\text{BIPM}}$	$\dot{D}_{\text{LMRI}}/\dot{D}_{\text{BIPM}}$
1 g/cm <sup>2</sup>	0,999 4	
3	0,997 6	0,997
5	0,999 1	0,998
6		0,998 <sub>5</sub>
7	0,998 9 <sub>5</sub>	1,000
8		0,998
10	1,001 3	0,998
12	1,002 1	0,998
15	1,002 4 <sub>5</sub>	1,002
17		0,996 <sub>5</sub>

\* $\dot{D}_{\text{BIPM}}$  (mesure ionométrique) est obtenu avec  $W/e = 33,73$  J/C et avec les valeurs de l'énergie moyenne d'excitation  $I$  de Berger et Seltzer pour le calcul des rapports moyens des pouvoirs de ralentissement.

titude des deux mesures (calorimétrique et ionométrique) est suffisamment bonne pour qu'on en déduise  $W$  :

$$W/ef = \bar{D}_{\text{cal}}/(I/m) \cdot \Pi k_i,$$

où

$e$  est la charge élémentaire,

$\bar{f}$  le rapport moyen des pouvoirs de ralentissement de l'air et du carbone,

$\bar{D}_{\text{cal}}$  le débit de dose absorbée mesuré par le calorimètre,

$I/m$  le courant d'ionisation massique mesuré par la chambre à cavité,

$\Pi k_i$  le produit des facteurs correctifs concernant la mesure d'ionisation (corrections pour fuites, saturation, humidité, perturbation due à la cavité, diamètre fini du fantôme).

On obtient pour l'ensemble des deux comparaisons la valeur moyenne  $W/e = 33,72$  J/C, avec un écart-type relatif de  $4,6 \times 10^{-4}$  (15 degrés de liberté) et une incertitude systématique relative de  $6,5 \times 10^{-3}$  (due essentiellement à  $\bar{f}$ ). Cette valeur va figurer dans le rapport ICRU sur  $W$  (voir *Électrons*).

On pourrait aussi déduire  $W$  de la comparaison des mesures d'activité et d'exposition relatée dans le Rapport de 1972, p. 59, ce qui donnerait 33,35 J/C avec les données de 1972. Cette valeur a été révisée pour tenir compte de la modification de certaines constantes et de plusieurs corrections; en particulier, on a effectué des calculs de Monte-Carlo pour améliorer la correction pour le rayonnement diffusé produit dans la source elle-même et dans sa capsule. La valeur révisée est 33,51 J/C, ce qui semble faible bien que l'écart ne soit pas significatif (l'incertitude est de l'ordre de 1 %). On a refait quelques mesures de contrôle de l'exposition, mais la valeur qu'on peut en déduire est encore un peu plus faible (33,44 J/C). Il est vrai

que l'activité de la petite source de cobalt concernée n'est plus que 8,7 GBq, soit le tiers environ de ce qu'elle était en 1969, date des mesures d'activité, ce qui rend la détermination de  $W$  encore plus incertaine.

Électrons (A.-M. Perroche-Roux\*, M. Boutillon\*, M.-T. Niatel\*)

### Préparation de la mesure de $W$

On a monté l'ensemble du dispositif conçu pour cette expérience et on a étudié la qualité du vide que l'on peut obtenir dans les conditions de fonctionnement prévues.

Le dispositif est formé de trois compartiments: celui qui renferme le canon à électrons, celui qui constitue la chambre d'ionisation (Rapport 1977, p. 48) et un compartiment intermédiaire qui les sépare. Deux pompes à diffusion sont utilisées pour faire le vide dans le compartiment intermédiaire et dans celui du canon; une pompe primaire est branchée sur la chambre d'ionisation, et l'ensemble constitue un système de pompage différentiel. Les compartiments communiquent entre eux par un orifice de 1 mm de diamètre situé sur l'axe du faisceau. Les pressions obtenues en pompage continu sont:

- 0,5 Pa dans la chambre d'ionisation,
- $2 \times 10^{-5}$  Pa dans le compartiment du canon,
- $3 \times 10^{-4}$  Pa dans le compartiment intermédiaire.

Pour la mesure de  $W$ , on envisage de travailler avec une pression de 100 Pa dans la chambre d'ionisation, et on veut en même temps que la pression résiduelle dans le compartiment du canon reste voisine de  $2 \times 10^{-5}$  Pa. Cela implique que l'orifice de communication entre la chambre et le compartiment intermédiaire soit le plus petit possible, tout en étant suffisamment grand pour laisser passer le faisceau d'électrons. On a cherché à réduire le passage de l'air dans le compartiment intermédiaire en plaçant un disque dans ce compartiment, devant l'entrée de la chambre. La vitesse de rotation de ce disque est de 2 tr/min; il est muni d'un petit trou qui, au cours de la rotation, vient se placer devant celui qui est situé à l'entrée de la chambre.

On a étudié la variation des pressions dans les compartiments lorsque l'on porte la pression dans la chambre à 100 Pa. La pression dans le compartiment du canon devient  $3 \times 10^{-5}$  Pa; celle du compartiment intermédiaire,  $p_1$ , est donnée ci-dessous pour deux diamètres  $d$  du trou de communication avec la chambre.

disque tournant	{	$d = 0,5$ mm	$p_1 = 0,7 \times 10^{-2}$ Pa
		1 mm	$1,3 \times 10^{-2}$
disque arrêté, trou sur l'axe	{	$d = 0,5$ mm	$p_1 = 1 \times 10^{-2}$ Pa
		1 mm	$5 \times 10^{-2}$

Ces valeurs montrent que l'utilisation du disque, qui sert à réduire les entrées d'air dans le compartiment intermédiaire, n'est plus nécessaire si  $d = 0,5$  mm.

Le canon à électrons que nous possédons est un tube d'oscilloscope dont le filament a été modifié, mais sa focalisation est défectueuse et il n'est pas possible d'obtenir un faisceau suffisamment fin. Aussi avons-nous entrepris la construction d'un canon à électrons muni de dispositifs de réglage plus élaborés.

*Contribution au rapport ICRU sur W : « Average energy required to produce an ion pair »*

Jusqu'à présent, l'ICRU recommandait une valeur de  $W$  pour les électrons dans l'air égale à  $(33,73 \pm 0,15)$  eV. Cette valeur avait été obtenue à partir de six déterminations expérimentales faites entre 1956 et 1961. Depuis cette époque, de nouvelles déterminations expérimentales de  $W$  pour les électrons dans l'air ont été faites en utilisant d'autres méthodes. Le BIPM a été chargé d'analyser l'ensemble des résultats, afin que l'ICRU puisse recommander une valeur de  $W$  pour l'air sec.

Dans cette analyse, on a réajusté les valeurs publiées pour uniformiser les corrections d'humidité en adoptant les valeurs recommandées par le CCEMRI. En effet, les déterminations des différents auteurs n'ont pas été faites dans les mêmes conditions d'humidité de l'air, et les corrections faites par quelques-uns pour en tenir compte reposaient sur des bases différentes. Une autre correction serait nécessaire pour tenir compte du fait que les auteurs n'ont pas utilisé les mêmes données pour les valeurs du pouvoir de ralentissement, mais les informations fournies par les auteurs ne sont pas toujours suffisantes pour estimer une correction établie sur une base commune. On s'est donc limité au réajustement de la première correction et la valeur que l'on peut recommander pour  $W$  dans l'air sec, pour des électrons, est :

$$W = (33,85 \pm 0,15) \text{ eV.}$$

On a rédigé, pour le rapport ICRU sur  $W$ , le paragraphe concernant cette analyse des mesures de  $W$  dans l'air et celui des corrections d'humidité telles qu'elles sont recommandées par le CCEMRI.

## **Radionucléides**

### **Étalonnage de sources radioactives (A. Rytz, J. W. Müller)**

Comme d'habitude, les mesures comparatives ont occupé une place importante dans le travail consacré à la métrologie des radionucléides et on a constaté une nette diminution de la dispersion des résultats obtenus par les différents laboratoires participants. Le nombre de valeurs ayant pu être insérées dans le système international de référence de mesures d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$  s'est accru considérablement. Cela montre bien l'intérêt des participants pour ce nouveau système : il permet de conserver les résultats de mesures qui, autrement, ne survivraient pas aux sources elles-mêmes.

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

<sup>130</sup>Ce. — Le rapport complet sur cette comparaison très réussie (Rapport BIPM-77/4) a été doublé d'une version condensée (voir *Publications extérieures*) afin de lui assurer une diffusion plus vaste.

<sup>134</sup>Cs. — Conformément aux décisions prises par la Section II du CCEMRI, un groupe de travail s'est occupé de tous les détails de l'organisation d'une comparaison à grande échelle prévue pour octobre 1978. L'expérience acquise au cours d'une comparaison préliminaire antérieure (CCEMRI, Section II, 3<sup>e</sup> réunion, 1975, Annexe R(II) 3) a été très profitable. La solution mère a été préparée au Canada (Chalk River Nuclear Laboratories de l'Atomic Energy of Canada Limited) et contrôlée pour sa pureté radionucléidique par ce même laboratoire et par le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (Saclay, France). Ce dernier a aussi accepté d'effectuer la mise en ampoules et la distribution aux 24 participants.

<sup>137</sup>Cs. — Une comparaison internationale de ce radionucléide important était originalement prévue pour 1963, mais elle fut remise à plus tard, car les mesures présentent certaines difficultés. En outre, l'exactitude est tributaire de celle de plusieurs paramètres nucléaires qui n'étaient pas suffisamment bien connus à l'époque. Aussi le groupe de travail pour les comparaisons futures a-t-il préféré limiter à neuf le nombre des participants. Les résultats montreront si une comparaison plus étendue est souhaitable.

### *Mesures avec l'ensemble de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$*

L'ancien détecteur de photons de cet ensemble a été remplacé par une sonde comprenant un cristal d'iodure de sodium (diamètre 75 mm, hauteur 75 mm) associé à un tube photomultiplicateur. Ce renouvellement s'est imposé à cause de la nécessité d'obtenir une résolution suffisante pour séparer la raie du <sup>137</sup>Cs à 662 keV de celle du <sup>134</sup>Cs à 605 keV, ce dernier isotope servant de traceur d'efficacité. Quelques essais récents ont permis de constater que le nouveau détecteur fonctionne correctement.

*Mesures de sources de <sup>60</sup>Co à taux de comptage élevés.* — La comparaison organisée par le National Physical Laboratory (Rapport BIPM-77/7) a montré que plus les taux de comptage sont élevés, plus il faut prendre soin de certains détails expérimentaux comme l'équilibrage des retards des impulsions dans les voies  $\beta$  et  $\gamma$  ou la mesure exacte du temps de résolution des coïncidences. On a aussi pu constater l'insuffisance de la plupart des formules utilisées jusqu'à présent pour corriger le taux des coïncidences. La formule qui sera utilisée dorénavant est celle de Cox et Isham <sup>(6)</sup>.

L'influence du retard relatif entre les impulsions  $\beta$  et  $\gamma$  sur la valeur de l'activité est illustrée par la figure 8. Elle varie avec les différentes valeurs du temps de résolution qui sont utilisées. On a construit un dispositif spécial qui permet d'ajuster ce retard à mieux que 10 ns près. Les

---

<sup>(6)</sup> COX (D. R.) and ISHAM (V.), A bivariate point process connected with electronic counters, *Proc. Soc. London, A* **356**, 1977, pp. 149-160.

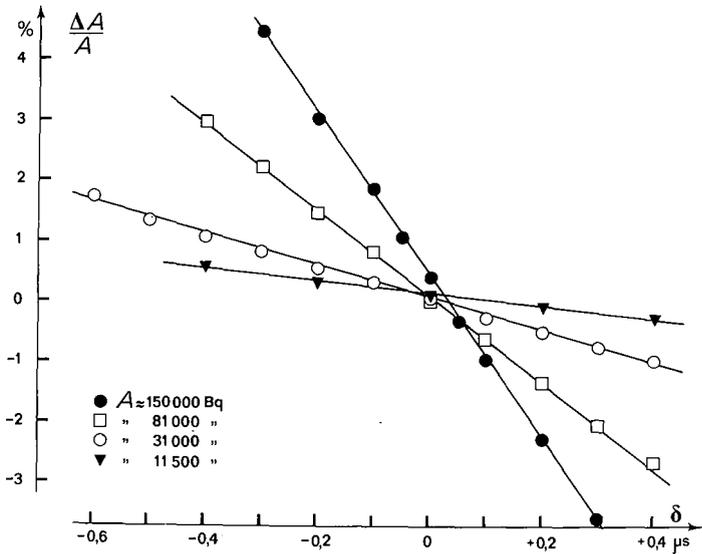


Fig. 8. — Variation relative de l'activité calculée  $A$  en fonction du retard  $\delta$  entre les impulsions dans les voies  $\beta$  et  $\gamma$  pour des sources d'activités différentes. Les droites reliant les points expérimentaux n'ont pas de signification théorique.

fluctuations des retards ont été étudiées au moyen d'un convertisseur temps-amplitude construit au BIPM.

*Vérification de la validité de la formule de Cox et Isham.* — Quand on suit l'activité d'une source pendant une durée qui n'est pas courte par rapport à la période de ce radionucléide, on observe des taux de comptage qui diminuent notablement. Admettons que l'on calcule d'abord l'activité en fonction du temps et ensuite la période du radionucléide concerné. Si la formule qui sert à calculer l'activité est incomplète, la valeur de la période semble dépendre de l'activité initiale. En revanche, si la formule est correcte, une telle corrélation ne doit pas apparaître.

Des mesures ont été effectuées sur quatorze sources de  $^{60}\text{Co}$  pendant une durée égale à 0,6 période. Les résultats calculés selon deux formules différentes sont représentés sur la figure 9 et montrent clairement la supériorité de la formule de Cox et Isham. Cependant, il ne faut pas attacher trop d'importance au résultat numérique de cette expérience, car l'utilisation de mesures absolues pour déterminer une période n'est pas une méthode recommandée.

*Dosage de  $^{56}\text{Mn}$ .* — L'étalonnage d'une solution de  $^{56}\text{Mn}$  est un travail de routine que le BIPM pratique depuis quinze ans. Le résultat est utilisé pour la détermination du taux d'émission d'une source de neutrons par la méthode du bain de manganèse (voir aussi *Mesures neutroniques*). La mesure par coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  ne présente en principe aucune difficulté particulière, mais la période courte (environ 2,6 h) exige un déroulement rapide des diverses opérations qui demandent d'habitude près de sept heures.

Depuis cette année, une importante simplification est intervenue, grâce aux mesures effectuées au moyen de la chambre d'ionisation (voir ci-après).

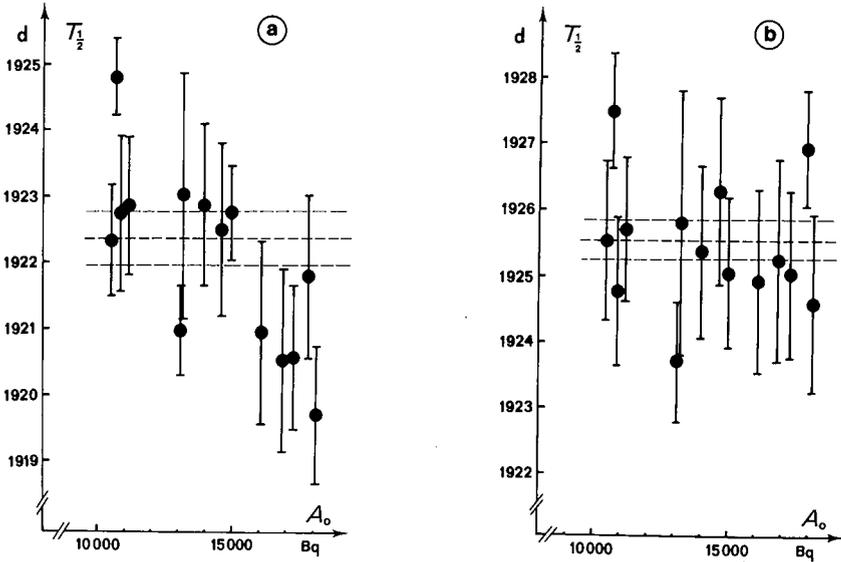


Fig. 9. — Détermination de la période  $T_{1/2}$  du  $^{60}\text{Co}$  par des mesures absolues, étalées sur environ 1 200 jours, de sources de différentes activités initiales  $A_0$ .  
Chaque valeur représentée résulte d'un ajustement, par la méthode des moindres carrés, des activités calculées à l'aide de la formule a) de Campion, b) de Cox et Isham. Les lignes en tirets indiquent la moyenne pondérée et son écart-type.

*Mesures relatives d'activité au moyen d'une chambre d'ionisation  $4\pi$  à pression.*

*Sources de référence.* — Les cinq sources de radium qui servent de référence sont contrôlées régulièrement par des mesures du courant d'ionisation dans chacune des deux chambres. La comparaison répétée des sources prises deux à deux a donné la certitude qu'aucune d'entre elles ne perd de son activité autrement que par décroissance radioactive. D'autre part,

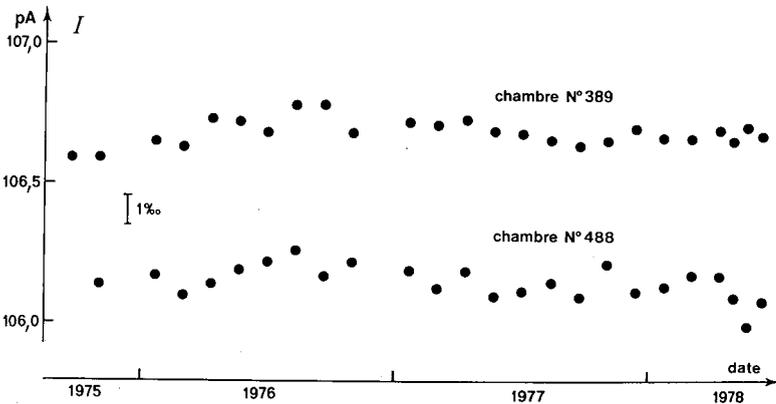


Fig. 10. — Mesures, à différentes dates, du courant d'ionisation  $I$  produit par une des cinq sources de référence (0,1 mg de  $^{226}\text{Ra}$ ).

la détermination réitérée de la valeur absolue du courant produit par une même source a permis d'établir l'invariabilité de la sensibilité des deux chambres. La figure 10 montre les résultats obtenus depuis trois ans, compte tenu de la période bien connue du  $^{226}\text{Ra}$  (1 600 ans). Toutefois, on ne peut exclure qu'au bout d'une vingtaine d'années une légère déviation pourrait apparaître. Celle-ci serait due à l'accumulation du  $^{210}\text{Pb}$  et du  $^{210}\text{Bi}$  dont le rayonnement de freinage ferait augmenter le courant d'ionisation. Le grand nombre de paramètres inconnus dans ce problème ne permet pas de calculer l'importance de cet effet. Il serait donc utile de pouvoir disposer d'une source de radium aussi pur et aussi vieux que possible à laquelle les cinq sources de référence seraient comparées périodiquement.

*Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$ .* — Pendant l'année écoulée, neuf laboratoires ont envoyé au total 46 ampoules qui contenaient des solutions de vingt radionucléides différents. Dans les tableaux d'enregistrement (Rapport 1977, p. 54) qui sont distribués périodiquement, les participants peuvent comparer leurs propres résultats à ceux des autres. Pour chaque ampoule on indique la valeur d'activité qui, d'après la mesure du participant, engendre le même courant d'ionisation que la plus forte des cinq sources de référence, prise à une date fixe. Cette présentation a fait ses preuves et semble convenir à tous les participants qui parfois font usage de la possibilité qui leur est offerte de retirer un résultat erroné ou douteux, avant qu'il ne soit inscrit définitivement. Il arrive aussi qu'un participant demande au BIPM des mesures de contrôle ou même l'ouverture d'une ampoule et le réétalonnage du contenu.

Dans le but de comparer le système de référence du BIPM au système analogue qui existe à l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (Vienne, Autriche), nous avons échangé avec l'AIEA huit ampoules contenant des radionucléides divers. Aucun désaccord important n'a été enregistré, mais les résultats sont encore trop peu nombreux pour que l'on puisse en tirer des conclusions sûres.

*Mesures d'activité de solutions de  $^{56}\text{Mn}$ .* — Cette expérience se déroule d'habitude comme suit : un grain de manganèse activé par bombardement neutronique est dissous dans de l'acide nitrique; des aliquotes de cette solution sont ensuite déposées sur des films minces pour la mesure absolue de l'activité par comptage  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ . Une autre partie de la solution est mise dans une ampoule de type normalisé pour être mesurée dans la chambre d'ionisation et le reste sert à étalonner le bain de manganèse (voir *Mesures neutroniques*). Deux mesures absolues récentes ont pu être ainsi comparées entre elles par l'intermédiaire des mesures relatives dont l'accord était excellent. Si cet accord est confirmé par une troisième mesure absolue, prévue dans un avenir proche, on pourra désormais se passer des mesures absolues et se référer uniquement aux résultats obtenus, plus rapidement et plus simplement, par la chambre d'ionisation.

*Effets de densité et de recombinaison.* — Comme la densité varie d'un échantillon reçu à l'autre, il est nécessaire d'étudier son effet sur le courant d'ionisation observé. En outre, ce courant n'est pas strictement proportionnel à l'activité de l'échantillon. Pour les photons de faible énergie,

ces deux effets ne sont pas toujours négligeables, mais il est difficile de les séparer d'autres effets perturbateurs. La méthode utilisée consistait à remplir trois ampoules du type normalisé avec des volumes égaux de solutions de compositions différentes, comme indiqué ci-dessous :

Numéro de l'ampoule	Densité (HNO <sub>3</sub> dilué)	Activité ( <sup>241</sup> Am)
1	1,108	36 MBq
2	1,108	4,8
3	1,010	4,8

En comparant le courant d'ionisation produit par l'ampoule N° 1 ou 3 au courant produit par l'ampoule N° 2, on a obtenu, pour des photons de 60 keV, les résultats suivants :

1 — une solution plus dense de 10 % fait diminuer le courant d'ionisation de  $(0,38 \pm 0,08)$  % ;

2 — dans le domaine d'un taux d'émission photonique compris entre  $10^7$  et  $10^8$  s<sup>-1</sup>, la réponse de la chambre d'ionisation montre une non-linéarité de  $(0,29 \pm 0,04)$  %, indépendamment de la haute tension appliquée.

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

A la suite de la découverte récente d'erreurs systématiques dans la mesure absolue d'activités par la méthode  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  pour des taux de comptage élevés, de l'ordre de  $10^5$  s<sup>-1</sup> et au-delà, plusieurs laboratoires se sont engagés dans la recherche des causes des écarts observés. Un des résultats les plus utiles de ces efforts est l'établissement d'une nouvelle formule par Cox et Isham permettant de mieux calculer l'activité à partir des taux de comptage mesurés sur les voies bêta, gamma et des coïncidences. Or, entre-temps, des mesures comparatives de haute précision ont mis en évidence la nécessité d'appliquer des corrections supplémentaires dont la nouvelle formule ne tient pas compte. Ces problèmes sont pour la plupart liés à la mesure du taux des coïncidences qui dépend, entre autres, des empilements, du « time jitter » et du retard relatif entre les deux voies qu'il est maintenant nécessaire — faute de correction fiable — de réduire à une valeur ne dépassant pas quelques nanosecondes.

Si, en dépit de leur intérêt, ce ne sont pas ces problèmes qui seront traités dans ce qui suit, c'est parce que l'application d'une toute nouvelle méthode, dont le principe sera décrit ailleurs, permet de les éviter. En remplaçant la simultanéité par une condition de causalité pour distinguer les impulsions provenant de la même désintégration des autres qui ne sont pas corrélées, l'emploi d'un circuit à coïncidences peut être supprimé. Cela nous enlève tous les ennuis qui sont liés à la mesure des coïncidences. D'autre part, l'application expérimentale de cette nouvelle approche a clairement mis en évidence qu'il y a encore des problèmes à résoudre, même pour une seule voie, que l'on n'a plus le droit de négliger dans le domaine des taux de comptage très élevés.

L'effet le plus important est alors sans doute dû à la distorsion produite

sur les impulsions bêta par le compteur proportionnel et l'électronique associée. En décrivant cette influence par un premier temps mort  $\tau_1$  qui précède celui qui est imposé volontairement (appelé  $\tau_2$ ), on a affaire à un arrangement en série de deux temps morts. En principe, cette situation est bien connue, mais dans notre cas elle est compliquée par le fait que ni la valeur ni le type de  $\tau_1$  ne sont bien connus. Leur détermination expérimentale, pour un dispositif donné, devient alors une tâche primordiale. C'est dans cette perspective que nous avons élaboré une approche qui utilise l'asymétrie empirique d'une distribution de comptage pour en déduire par le calcul, en combinaison avec la valeur moyenne et la variance observées, les caractéristiques de  $\tau_1$ .

### *Asymétrie d'une distribution de comptage*

Par une étude semblable à celle entreprise récemment (Rapport BIPM-77/1) pour obtenir des formules asymptotiques pour l'espérance  $\hat{k}(t)$  et la variance  $\sigma_k^2(t)$  d'un processus de renouvellement du type modifié, on a obtenu, après des calculs souvent fastidieux, une expression générale pour le troisième moment centré du nombre  $k$  d'événements qui arrivent pendant un temps de mesure  $t$ . Cette quantité est définie au moyen d'une espérance par

$$\mu_3(t) = E\{(k - \hat{k})^3\}, \quad \text{où} \quad \hat{k} = E\{k\}.$$

Le résultat de calcul peut être exprimé à l'aide des moments de l'intervalle de temps qui sépare deux impulsions successives dont la densité est donnée par  $f(t)$ , et des moments analogues se référant au temps d'apparition du premier événement de densité  ${}_0f(t)$ . Ces moments d'ordre  $r$  sont désignés par

$$m_r = E\{t^r\} \quad \text{et} \quad \mu_r = E\{(t - m_1)^r\},$$

et, au lieu de  $\mu_2$ , on notera  $\sigma^2$ . Les moments analogues pour la densité initiale  ${}_0f(t)$  seront notés respectivement  ${}_0m_r$  et  ${}_0\mu_r$ . Le résultat final pour le troisième moment centré du nombre d'impulsions enregistrées dans  $t$  peut alors être écrit sous la forme

$$\begin{aligned} \mu_3(t) = & \frac{t}{m_1^3} (3\sigma^4 - m_1\mu_3) + \frac{1}{4m_1^3} [22\sigma^6 - 4m_1(3{}_0m_1\sigma^4 + 5\sigma^2\mu_3) \\ & + m_1^2(4{}_0m_1\mu_3 + 12{}_0\sigma^2\sigma^2 + 3\mu_4 - 9\sigma^4) - 4{}_0\mu_3m_1^2]. \end{aligned}$$

Cette expression générale, valable pour un processus de renouvellement de type modifié, peut être appliquée aux types de processus habituellement utilisés, en particulier au processus ordinaire qui débute par un événement enregistré, et au processus stationnaire où l'origine de temps est choisie au hasard.

Des formules directement utiles sont finalement obtenues si l'on suppose avoir affaire à un processus original de Poisson qui a été perturbé par un temps mort. Les résultats correspondants sont rassemblés dans le tableau III, où l'on utilise les abréviations  $x = \varrho\tau$ ,  $\lambda = 1/(1 + x)$  et  $y = \exp x$ .

TABLEAU III

*Expressions asymptotiques pour le troisième moment centré dans le cas d'un processus original de Poisson (avec taux  $\varrho$ ) perturbé par un temps mort  $\tau$  de type non cumulatif ou cumulatif*

a) Pour un temps mort non cumulatif

$$\mu_3(t) = \lambda^4(3\lambda - 2) \cdot \varrho t + \begin{cases} \frac{1}{2} \lambda^4(11\lambda^2 - 20\lambda + 9) & \text{processus ordinaire} \\ 3\lambda^4(\lambda - 1)^2 & \text{processus stationnaire} \end{cases}$$

b) Pour un temps mort cumulatif

$$\mu_3(t) = (y - 3x)^2 \cdot \varrho t / y^3 + \begin{cases} -x(y^2 - 9xy + 17x^2) / y^3 & \text{processus ordinaire} \\ \frac{3}{2} x^2(2y - 7x) / y^3 & \text{processus stationnaire} \end{cases}$$

Pour un temps de mesure  $t$  suffisamment long par rapport à  $\tau$ , et en supposant que  $x \ll 1$ , on obtient

$$\mu_3(t) \simeq \varrho t(1 - 7x).$$

Puisque dans cette même approximation

$$\hat{k}(t) \simeq \varrho t(1 - x),$$

le rapport du troisième au premier moment est donné par

$$W \equiv \frac{\mu_3(t)}{\hat{k}(t)} \simeq 1 - 6x.$$

Une comparaison avec l'expression analogue pour la variance,

$$V = \frac{\sigma_k^2(t)}{\hat{k}(t)} \simeq 1 - 2x,$$

indique que l'influence d'un temps mort est environ trois fois plus importante sur  $\mu_3(t)$  que sur  $\sigma_k^2(t)$ .

On peut montrer que l'incertitude expérimentale sur  $W$  est à peu près trois ou quatre fois plus grande que celle sur  $V$  si l'on choisit  $\hat{k}$  dans le domaine de 1 à 3 environ. Dans ces conditions, la mesure de  $V$  et de  $W$  donne pour le temps mort deux valeurs de précision comparable et on peut espérer que leur emploi simultané nous renseignera aussi sur le type.

De multiples mesures, dont chacune comprenait entre 2 et 5 millions d'échantillons, ont dans l'essentiel bien confirmé ces prévisions, quoique la détermination du type du temps mort reste encore incertaine. Si on le suppose cumulatif, tous les résultats sont compatibles avec une valeur  $\tau_1 = (1,20 \pm 0,05) \mu\text{s}$  pour un domaine du taux de comptage qui va de 50 000 à 250 000  $\text{s}^{-1}$  environ. Pour notre équipement, on en déduit pour  $\varrho = 200\,000 \text{ s}^{-1}$  une correction qui atteint presque 2 %. Pour plus de détails techniques sur cette étude, voir le Rapport BIPM WPN-209 et surtout le Rapport BIPM-78/5.

*Détection de fluctuations supplémentaires dans un processus de Poisson*

La détermination d'un temps mort en utilisant la distorsion qu'il produit sur le processus original et que l'on peut mesurer, par exemple à l'aide des rapports  $V$  et  $W$  définis plus haut, suppose évidemment l'absence de toute autre déformation du processus de comptage. En particulier, le résultat numérique serait erroné si des fluctuations additionnelles, dont la présence pourrait par ailleurs être peu gênante, perturbaient les moments. De telles influences peuvent en effet provenir de la variation de paramètres tels que la pression ou la composition chimique du gaz utilisé dans le compteur proportionnel, qui sont difficiles à contrôler pendant une mesure.

Un modèle simple permet d'estimer l'effet dû à ces influences ou d'en vérifier l'absence. Dans ce but, on suppose que l'efficacité de détection  $\varepsilon$ , au lieu d'être constante, varie de façon aléatoire selon une loi gamma, ce qui se traduit pour l'espérance  $\mu = N_0 t \varepsilon$  par une densité de probabilité

$$f(\mu) = \frac{c^{1/b}}{\Gamma(1/b)} \cdot \mu^{-1+1/b} \cdot e^{-c\mu}, \quad \text{pour } \mu > 0,$$

avec  $b > 0$  et  $c > 0$ . Cela implique une fluctuation relative de  $\mu$  qui est donnée par

$$\frac{\sigma(\mu)}{m_1(\mu)} = \sqrt{b}.$$

La distribution originale de Poisson

$$P(k) = \frac{\mu^k}{k!} \cdot e^{-\mu}$$

est donc modifiée par la variation de  $\mu$  et doit être remplacée par

$$W(k) = \int_0^\infty P(k) \cdot f(\mu) \, d\mu.$$

Cette intégrale peut être évaluée et elle s'exprime par plusieurs formules équivalentes. Une forme particulièrement pratique pour ce qui suit est

$$W(k) = \frac{\mu^k}{k!} \left[ \frac{1}{1 + b\mu} \right]^{k+1/b} \prod_{j=1}^{k-1} (1 + jb),$$

où l'espérance est maintenant donnée par  $\hat{k} = 1/bc \equiv \mu$ .

Cette expression est connue sous le nom de distribution de Pólya (ou loi binomiale négative). Sa variance et son troisième moment centré sont donnés par

$$\begin{aligned} \sigma^2(k) &= \mu(1 + b\mu) \quad \text{et} \\ \mu_3(k) &= \mu(1 + 3b\mu + 2b^2\mu^2). \end{aligned}$$

Une comparaison avec la loi de Poisson est facilitée par un développement en série qui est valable pour de petites valeurs du paramètre  $b$ , c'est-à-dire pour de faibles distorsions, ce qui est le cas qui nous intéresse le plus.

Dans ces conditions, on peut arriver à l'approximation

$$W(k) \simeq P(k) \left\{ 1 + \frac{b}{2} [(\mu - k)^2 - k] \right\}.$$

Il s'ensuit que  $W(k)$  coïncide avec  $P(k)$ , qui est la distribution de Poisson basée sur la même valeur moyenne  $\mu$ , si

$$(\mu - k)^2 - k = 0,$$

donc pour

$$k_{1,2} = \mu + \frac{1}{2} \pm \sqrt{\mu + \frac{1}{4}}.$$

Par conséquent, si l'on regarde les signes des différences  $W(k) - P(k)$ , on s'aperçoit qu'ils sont négatifs pour  $k_1 < k < k_2$ , mais positifs à l'extérieur de ce domaine. Cette propriété peut être utilisée pour contrôler par un test de signes si une perturbation du type envisagé se manifeste ou non dans les mesures. Il est intéressant de noter qu'une déformation du même genre (et avec les mêmes valeurs pour  $k_1$  et  $k_2$ ), mais de sens opposé, avait été trouvée il y a quelque temps (Rapport BIPM-72/10) pour la distorsion produite par un temps mort sur une distribution de Poisson.

Pour vérifier ce comportement, on a effectué des mesures, dans des conditions très variées, des fréquences du nombre  $k$  d'événements observés, après avoir introduit des fluctuations aléatoires, mais contrôlables, au moyen d'un temps de mesure  $t$  qui était à son tour déterminé par l'arrivée d'impulsions appartenant à un processus de Poisson indépendant. La confirmation des prévisions était excellente. Pour une description détaillée de cette étude, on consultera le Rapport BIPM-78/2.

#### *Autres travaux*

— Les problèmes concernant l'évaluation et la présentation de l'incertitude d'une mesure expérimentale sont bien connus et ont déjà fait couler beaucoup d'encre. Nous venons d'y apporter notre contribution modeste en rassemblant quelques idées tout élémentaires sur ces questions dans le Rapport BIPM-78/4. En particulier, on y émet un doute sur le bien-fondé de l'habitude qui consiste à distinguer soigneusement entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques et à caractériser ces dernières par une limite maximale qui ne devrait jamais être dépassée. Il nous semble plutôt que l'application de la règle simple connue sous le nom de propagation des erreurs, dans sa forme générale, soit suffisante pour résoudre la plupart des problèmes habituellement soulevés, pourvu que la description de la situation expérimentale repose sur un schéma adéquat.

— Notre atelier d'électronique a construit un dispositif qui permet de stocker dans la mémoire d'un analyseur multicanaux le nombre d'impulsions enregistrées dans un intervalle de temps donné. Cet appareil, qui a été beaucoup utilisé dans des études précédentes, est décrit dans le Rapport BIPM-78/6.

— L'utilité éventuelle du formalisme des fractions continues pour la détermination de l'exactitude que l'on peut attendre dans la mesure d'un

temps mort par la méthode des deux oscillateurs a été discutée dans le Rapport BIPM WPN-208. Enfin, quelques anomalies apparaissant dans la transformation de moments de différents types sont discutées dans le Rapport BIPM WPN-210.

#### Spectrométrie alpha (A. Rytz)

##### *Mesure de l'énergie des particules alpha émises par le $^{239}\text{Pu}$*

Bien qu'aucune mesure absolue ne soit connue jusqu'à présent, à cause de la période très longue de ce radionucléide (environ 24 000 ans), on n'attend pas de surprise, puisque plusieurs déterminations relatives très précises ont été effectuées dans le passé. Néanmoins, une mesure absolue paraît intéressante pour deux raisons. D'une part, on peut espérer augmenter l'exactitude de ces valeurs d'énergie et donc aussi celle de certaines valeurs de masse atomique qui en découlent. D'autre part, la faible activité spécifique de ce nucléide élargit considérablement les raies du spectre d'énergie et crée des conditions inhabituelles pour le calcul d'extrapolation. En effet, l'information utilisée pour déterminer la valeur d'énergie correspondant à la raie principale provient d'une couche de la source qui s'étend beaucoup plus en profondeur que ce n'est le cas pour tous les autres émetteurs de particules  $\alpha$  étudiés jusqu'à présent.

Pour une telle mesure, une source de très haute pureté isotopique est exigée. Le BIPM remercie vivement le Dr. J. van Audenhove, du Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom (Geel, Belgique), d'avoir accepté de préparer cette source.

Quatre des sept poses effectuées dans des conditions identiques ont donné des résultats exploitables. Leur durée totale était de 1 400 heures. Considérant les difficultés de maintenir, pendant quinze jours consécutifs, un champ magnétique stable à mieux que  $\pm 2 \times 10^{-6}$  et une température constante de l'électro-aimant entier, cette performance est plus que satisfaisante. Les calculs n'étant pas encore terminés, aucune valeur numérique ne peut être avancée. Néanmoins, il est certain que le résultat final sera très voisin de la valeur trouvée dans la littérature, tout en étant plus exact.

##### *Valeurs recommandées d'énergie et d'intensité de rayonnements $\alpha$*

Il y a près de cinq ans, une liste complète a été publiée (?) qui utilisait toutes les mesures d'énergie et d'intensité trouvées dans la littérature. Pour des raisons pratiques, on s'était cependant limité aux valeurs d'énergie d'une précision minimale de 5 keV et aux raies dont l'intensité relative n'était pas inférieure à 5 %.

Un grand nombre de mesures nouvelles ayant été publiées entre-temps, l'éditeur a suggéré la préparation d'une nouvelle version de cette liste. La compilation des valeurs publiées et des références correspondantes est

---

(?) RYTZ (A.), Catalogue of recommended alpha energy and intensity values, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 12, 1973, pp. 479-498 et *Recueil de Travaux du BIPM*, 4, 1973-1974 (article 33).

déjà pratiquement complète. Le nombre d'émetteurs de particules  $\alpha$  considérés a augmenté d'environ 50 %. La nouvelle liste pourrait être terminée au début de 1979.

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

#### *Comparaison internationale des mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques*

Cette comparaison, qui a commencé en décembre 1973, est maintenant complètement terminée. Au total, neuf laboratoires y ont participé. Deux laboratoires ont désiré compléter leurs mesures de comparaison : la PTB en décembre 1977, pour l'énergie de 14,8 MeV, et l'IMM en février-mars 1978, pour les énergies de 2,5 MeV et 14,8 MeV. Une analyse détaillée des résultats sera publiée sous forme de rapport interne et une version condensée sera soumise à une revue scientifique telle que *Metrologia*.

#### *Irradiation de feuilles d'aluminium par les neutrons de 14,68 MeV*

A la demande du Professeur H. Vonach, de l'Institut für Radiumforschung und Kernphysik (IRK), Vienne (Autriche), nous avons irradié durant cinq heures trois feuilles d'aluminium avec notre faisceau étalonné de neutrons de 14,68 MeV. Le but de l'expérience était de comparer les mesures de débit de fluence faites au BIPM par la méthode de la particule associée avec celles de l'IRK qui sont basées sur la section efficace de la réaction  $^{27}\text{Al} (n, \alpha)^{24}\text{Na}$ . Rappelons que la période du  $^{24}\text{Na}$  est de 14,98 h et que la valeur de la section efficace mesurée par l'IRK pour les neutrons de 14,68 MeV est de  $(112,4 \pm 1,4)$  mb. Les résultats des comparaisons sont rassemblés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

*Débits de fluence à 14,68 MeV mesurés par l'IRK et par le BIPM*

	Distance (cm)	Débit de fluence ( $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	
		IRK	BIPM
Feuille Al N° 1	10,027	$(1,526 \pm 0,022) \times 10^6$	$(1,57 \pm 0,04) \times 10^6$
Feuilles Al N°s 2 et 3	16,111	$(5,952 \pm 0,095) \times 10^5$	$(6,09 \pm 0,14) \times 10^5$

#### *Mesure de l'activité de la solution de $\text{MnSO}_4$ par la méthode de circulation*

Dans nos anciennes mesures de l'activité de la solution de  $\text{MnSO}_4$  par la méthode de circulation, il existait un écart systématique de 0,2 % sur l'activité à saturation entre la mesure effectuée pendant l'équilibre radioactif, la source étant dans la solution, et la mesure par décroissance d'activité rapportée à l'instant où la source est retirée (Rapport 1970, p. 76). A l'époque, nous avons émis l'hypothèse que le mélange de la solution active dans la sphère n'était pas parfait ; on avait peut-être extrait un échantillon de solution ayant une activité systématiquement plus faible, en raison

d'une forte densité de neutrons au voisinage immédiat de la source. Aussi avons-nous entrepris une nouvelle série de mesures en plaçant la source Ra - Be ( $\gamma, n$ ) (sphère de Be de 4 cm de diamètre) au centre d'une cavité en polystyrène de 8,9 cm de diamètre et 1 mm d'épaisseur de paroi. En outre, le débit de la solution en circulation est constamment contrôlé par un débitmètre installé dans le circuit entre la sortie de l'enceinte et la sphère.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau V.

TABLEAU V

*Activité à saturation de la solution de  $MnSO_4$   
mesurée par la méthode de circulation*

Numéro de la mesure	$N_c$ ( $s^{-1}$ )	$N_d$ ( $s^{-1}$ )	$\frac{N_d - N_c}{N_d}$
1	1 082,09	1 082,66	+ 0,05 %
2	1 082,47	1 083,31	+ 0,07
3	1 081,30	1 082,78	+ 0,14
4	1 079,84	1 081,05	+ 0,11
5	1 080,07	1 081,07	+ 0,09
6	1 081,64	1 082,72	+ 0,10
7	1 081,69	1 082,87	+ 0,11
		Moyenne	+ 0,10 %

$N_c$  et  $N_d$  sont les taux de comptage à saturation déduits des mesures par croissance et par décroissance d'activité.

Il semble qu'une légère amélioration ait été obtenue en entourant la source d'une cavité. Il subsiste encore un petit écart de 0,1 %, qui est quand même significatif car l'écart-type de chaque mesure n'est que 0,03 %.

D'autre part, dans le but de mesurer le taux d'émission de la source Ra-Be( $\gamma, n$ ) par la méthode de la circulation, il est nécessaire de savoir quelles sont les modifications concernant les corrections d'auto-absorption et de fuite de neutrons hors de la petite sphère du fait de la présence de la cavité autour de la source. Pour cela, nous avons comparé (par la méthode de décroissance sans circulation) les mesures faites avec et sans cavité, respectivement dans la grande sphère (1 m de diamètre) et dans la petite sphère (0,50 m de diamètre). En effet, lorsque la source est placée dans la grande sphère, la fuite de neutrons hors de la sphère est nulle; seul l'effet d'auto-absorption intervient, ce qui permet ensuite de déduire la fuite lorsque la source est placée dans la petite sphère. Les résultats sont résumés dans le tableau VI.

Il semble que la correction d'auto-absorption soit la même pour la source avec et sans cavité. Par contre, on obtient une différence de 0,24 % en ce qui concerne la correction de la fuite de neutrons hors de la petite sphère.

De plus, dans la méthode de la circulation, nous avons constaté que la

TABLEAU VI

Activité à saturation de la solution de  $MnSO_4$  activée  
par la source Ra-Be( $\gamma, n$ ) avec et sans cavité

Numéro de la mesure	Grande sphère		Petite sphère	
	A ( $s^{-1}$ ) (avec cavité)	A ( $s^{-1}$ ) (sans cavité)	A ( $s^{-1}$ ) (avec cavité)	A ( $s^{-1}$ ) (sans cavité)
1	1 385,90	1 386,97	6 910,11	6 926,45
2	1 385,88	1 386,84	6 907,94	6 927,64
3	1 386,30		6 912,96	
Moyenne	1 386,03	1 386,91	6 910,34	6 927,05

A désigne l'activité à saturation de la solution.

présence du mélangeur (une tige en plexiglas sur laquelle sont fixées deux hélices en acier inoxydable) introduit une absorption de neutrons de 0,13 % (source avec cavité).

*Mesure du rapport des sections efficaces d'absorption de neutrons thermiques pour l'hydrogène et le manganèse*

Dans l'expression du calcul du taux d'émission d'une source de neutrons du type Ra - Be( $\alpha, n$ ) ou Ra - Be( $\gamma, n$ ), les valeurs des sections efficaces d'absorption de neutrons thermiques pour l'hydrogène et le manganèse apparaissent sous forme de rapport  $\sigma_H/\sigma_{Mn}$ ; aussi plusieurs laboratoires ont-ils déterminé, non pas les valeurs individuelles, mais directement le rapport de ces deux sections efficaces. En particulier, le NPL <sup>(8)</sup> et l'ANL <sup>(9)</sup> ont obtenu les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} \text{NPL } \sigma_H/\sigma_{Mn} &= 0,024\ 95 \pm 0,000\ 08 \\ \text{ANL } \sigma_H/\sigma_{Mn} &= 0,025\ 31 \pm 0,000\ 03. \end{aligned}$$

Or, les valeurs individuelles généralement adoptées sont :

$$\begin{aligned} \sigma_H &= (0,332 \pm 0,002) \text{ b} \\ \sigma_{Mn} &= (13,2 \pm 0,1) \text{ b} \end{aligned}$$

soit

$$\sigma_H/\sigma_{Mn} = 0,025\ 15 \pm 0,000\ 25.$$

Nous avons donc décidé de déterminer ce rapport, à notre tour, pour essayer de contribuer à l'amélioration de la précision sur la détermination du taux d'émission de la source.

<sup>(8)</sup> AXTON (E. J.), CROSS (P.) and ROBERTSON (J.C.), Calibration of the NPL standard photoneutron sources by an improved manganese sulphate bath technique, *J. Nuclear Energy*, 19, 1965, p. 409.

<sup>(9)</sup> DE VOLPI (A.) and PORGES (K. G.), Absolute calibration of neutron sources having a wide range of emission spectra, *Metrologia*, 5, 1969, p. 128.

*Principe.* — Rappelons que, dans la méthode du bain de manganèse, le taux d'émission  $Q$  d'une source de neutrons est donné par l'expression suivante :

$$Q = Q_{Mn} \frac{1}{f} k,$$

où

$Q_{Mn}$  est le taux de capture des neutrons par les noyaux de manganèse contenus dans la solution,

$f$  le rapport des neutrons capturés par les noyaux de manganèse aux neutrons capturés par tous les éléments,

$k$  un facteur de correction qui comprend :

$k_a$ , l'absorption des neutrons dans la source (auto-absorption),

$k_r$ , l'absorption des neutrons rapides par réaction  $(n, p)$  et  $(n, \alpha)$  sur l'oxygène et le soufre,

$k_e$ , la perte des neutrons hors du bain de manganèse.

Dans le cas d'une source de Ra-Be ( $\gamma, n$ ) qui nous intéresse ici, seuls  $k_a$  et  $k_e$  interviennent.

$Q_{Mn}$  est obtenu en mesurant, d'une part, l'activité à saturation  $A$  de la solution activée par la source et, d'autre part, la constante d'étalonnage  $\epsilon$  du détecteur utilisé pour mesurer cette activité :

$$Q_{Mn} = \frac{A}{\epsilon}.$$

Rappelons aussi que

$$\frac{1}{f} = 1 + \frac{\sigma_S}{\sigma'_{Mn}} + \frac{n_H}{n_{Mn}} \cdot \frac{\sigma_H}{\sigma'_{Mn}},$$

avec

$$\sigma'_{Mn} = \sigma_{Mn}(1 + G\bar{s}),$$

où

$\sigma_H$ ,  $\sigma_{Mn}$  et  $\sigma_S$  sont les sections efficaces d'absorption de neutrons thermiques, respectivement pour l'hydrogène, le manganèse et le soufre,

$n_H$  et  $n_{Mn}$  sont les nombres d'atomes par unité de volume d'hydrogène et de manganèse,

$\sigma'_{Mn}$  est la section efficace d'absorption effective du manganèse qui tient compte de la correction pour la capture des neutrons par les résonances du manganèse,

$G$  est un facteur qui représente l'effet d'écran de la solution  $MnSO_4$  à l'énergie de résonance,

$\bar{s}$  est l'indice de densité épithermique,

$s$  est un facteur de correction par rapport à un « détecteur en  $1/v$  » pour un spectre en «  $dE/E$  ».

En remplaçant les quantités  $Q_{Mn}$  et  $1/f$  par leurs expressions, on peut écrire l'équation donnant  $Q$  sous la forme suivante :

$$\frac{\epsilon}{A k_a k_e} = \frac{1}{Q} \cdot \frac{\sigma_H}{\sigma'_{Mn}} \cdot \frac{n_H}{n_{Mn}} + \frac{1}{Q} \left( 1 + \frac{\sigma_S}{\sigma'_{Mn}} \right).$$

En posant

$$y_i = \frac{\varepsilon_i}{A_i(k_a)_i(k_e)_i},$$

$$a = \frac{1}{Q} \cdot \frac{\sigma_H}{\sigma_{Mn}},$$

$$x_i = \left( \frac{n_H}{n_{Mn}} \right)_i \cdot \frac{1}{(1 + G\bar{r}s)_i}$$

et

$$b = \frac{1}{Q} \left[ 1 + \frac{\sigma_s}{\sigma_{Mn} \cdot (1 + G\bar{r}s)} \right],$$

on obtient l'équation d'une droite

$$y_i = ax_i + b.$$

Dans l'expression de  $b$ , le facteur  $\overline{(1 + G\bar{r}s)}$  est la valeur moyenne de  $(1 + G\bar{r}s)_i$ , car la variation de ce dernier terme est très faible.

Ainsi, si l'on effectue une série de mesures de  $y_i$  pour différentes valeurs de  $(n_H/n_{Mn})_i$  en faisant varier la concentration de la solution de sulfate de manganèse, on peut déduire la quantité  $\sigma_H/\sigma_{Mn}$  du rapport  $a/b$  des paramètres de la droite obtenue expérimentalement.

*Expérience.* — Il s'agit de déterminer, pour chaque valeur de  $(n_H/n_{Mn})_i$ , les grandeurs  $\varepsilon_i$ ,  $A_i$ ,  $(k_a)_i$  et  $(k_e)_i$ .

Dans l'expérience, nous utilisons la source Ra - Be( $\gamma$ , n) (sphère de beryllium de 4 cm de diamètre) et la méthode de circulation pour mesurer l'activité à saturation  $A_i$  de la solution.

La constante d'étalonnage  $\varepsilon_i$  du détecteur est déterminée par l'introduction dans la petite sphère d'une petite quantité d'une solution de  $^{56}\text{Mn}$  dont l'activité massique est étalonnée par la méthode  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ . Rappelons que, pour chaque étalonnage, un grain d'environ 2,5 mg de  $^{56}\text{Mn}$  métal est irradié dans un canal de la pile EL3 du Centre d'Études Nucléaires (Saclay) durant cinq minutes; le débit de fluence de neutrons thermiques dans le canal est de  $0,95 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . L'activité totale du grain à la fin de l'irradiation est de  $5,6 \times 10^7 \text{ Bq}$  environ. Ensuite, le grain est dissous dans 5 cm<sup>3</sup> d'acide nitrique dilué (5N) et on y ajoute 10 cm<sup>3</sup> d'eau distillée pour obtenir la solution de  $^{56}\text{Mn}$ .

D'autre part, à l'aide de l'une des deux chambres d'ionisation du système international de référence, on a également mesuré le courant d'ionisation correspondant à une activité massique connue de la solution de  $^{56}\text{Mn}$ . Il n'est donc pas nécessaire de recourir chaque fois à la méthode  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  pour déterminer l'activité massique d'une solution de  $^{56}\text{Mn}$ ; il suffit de mesurer le courant d'ionisation, ce qui simplifie énormément le travail d'étalonnage.

Pour chaque concentration de solution  $\text{MnSO}_4$ , nous effectuons toujours la mesure d'étalonnage entre deux mesures de l'activité à saturation de la solution irradiée par la source Ra - Be( $\gamma$ , n) (soulignons que la source est placée au centre d'une cavité en polystyrène de 8,9 cm de diamètre et 1 mm d'épaisseur de paroi).

Les facteurs de correction  $(k_a)_i$  et  $(k_e)_i$  sont essentiellement obtenus par le calcul. Cependant, un long compteur du type De Pangher est placé

contre la petite sphère, ce qui permet d'estimer l'importance relative de la perte des neutrons hors du bain de manganèse en fonction de la concentration de la solution.

*Résultats.* — Nous avons effectué les mesures pour six valeurs de  $(n_H/n_{Mn})_i$ . Le tableau VII résume l'ensemble des résultats. Les facteurs  $(1 + G\bar{r}s)_i$ ,  $(k_a)_i$  et  $(k_e)_i$  ont été pris dans les valeurs calculées par le NPL et les incertitudes associées à ces grandeurs ont été estimées à  $\pm 0,10\%$ . La constante d'étalonnage,  $\epsilon_i$ , est exprimée en taux de comptage ( $s^{-1}$ ) du détecteur pour une activité de la solution de  $10^6$  Bq et l'incertitude relative sur  $\epsilon_i$  est de  $\pm 0,05\%$ . Toutes les activités à saturation,  $A_i$ , ont été mesurées avec à peu près la même précision (écart-type relatif de  $2,5 \times 10^{-4}$ ).

TABLEAU VII

Mesure du rapport des sections efficaces d'absorption de neutrons thermiques pour H et Mn

Valeurs expérimentales et facteurs auxiliaires  
intervenant dans l'ajustement d'une droite sur les couples  $(x_i, y_i)$

Date 1978	$(n_H/n_{Mn})_i$	$(1+G\bar{r}s)_i$	$\epsilon_i$	$A_i$ ( $s^{-1}$ )	$(k_a)_i$	$(k_e)_i$	$(k_m^*)_i$	$x_i$	$y_i$
27 avril	39,259	1,014 7	3 457,44	1 088,04	1,004 6	1,003 4	1,001 3	38,690 $\pm 0,039$	3,148 3 $\pm 0,005 7$
10 mai	248,767	1,010 6	3 332,32	292,21	1,006 0	1,006 4	1,001 3	246,158 $\pm 0,246$	11,249 1 $\pm 0,020 6$
24	210,303	1,010 8	3 337,26	336,77	1,005 9	1,005 9	1,001 3	208,056 $\pm 0,208$	9,781 0 $\pm 0,017 9$
2 juin	164,793	1,011 1	3 342,94	411,99	1,005 8	1,005 2	1,001 3	162,984 $\pm 0,163$	8,015 3 $\pm 0,014 6$
14	122,354	1,011 6	3 360,34	521,35	1,005 5	1,004 6	1,001 3	120,951 $\pm 0,121$	6,372 6 $\pm 0,011 6$
24	73,835	1,012 7	3 388,94	747,68	1,005 1	1,003 9	1,001 3	72,912 $\pm 0,073$	4,486 3 $\pm 0,008 1$

\*  $k_m^*$  : facteur de correction qui tient compte de l'absorption de neutrons par l'agitateur.

Les résultats de l'ajustement d'une droite sur les couples  $(x_i, y_i)$  par la méthode des moindres carrés sont :

$$a = 0,039 123 \pm 0,000 035$$

$$b = 1,635 2 \pm 0,003 4$$

$$a/b = 0,023 926 \pm 0,000 069.$$

En prenant

$$\sigma_s = (0,52 \pm 0,02) b$$

$$\sigma_{Mn} = (13,2 \pm 0,1) b$$

et

$$\overline{(1 + G\bar{r}s)} = 1,013,$$

on obtient finalement :

$$\frac{\sigma_H}{\sigma_{Mn}} = 0,024 86 \pm 0,000 07,$$

valeur en bon accord avec celle qui a été obtenue au NPL.

## Publications

### *Publications du BIPM (H. Moreau)*

Depuis octobre 1977 ont été publiés :

1<sup>o</sup> *Comité Consultatif de Thermométrie*, 11<sup>e</sup> session (1976), avec 25 Annexes.

2<sup>o</sup> *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, 8<sup>e</sup> session (1977), avec 18 Annexes.

3<sup>o</sup> *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie*, 9<sup>e</sup> session (1977), avec 23 Annexes.

4<sup>o</sup> *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tome 45, (66<sup>e</sup> session, septembre 1977). En dehors des rapports habituels, ce volume contient aussi le rapport sur la réunion internationale concernant les masses (novembre 1976) et l'hommage à J. Terrien.

### *Publications extérieures*

ALLISY (A.), Recent progress in the standardization of instruments used in the measurement of absorbed dose. The national standards and their comparison at the international level. In « Proceedings of the International Seminar on Medical Physics », Associação Brasileira de Fisicos em Medicina, Brasil, 1977.

GRANVEAUD (M.) and AZOUBIB (J.), Steering of a Time Scale, In « Proceedings of the ninth Annual PTTI », 1978, pp. 427-435.

BAYER-HELMS (F.), CHARTIER (J.-M.), HELMCKE (J.) and WALLARD (A.), Evaluation of the international intercomparison measurements (March 1976) with  $^{127}\text{I}_2$  — stabilized He - Ne lasers: spacings of the hyperfine structure components. *PTB-Bericht Me-17*, 1977, pp. 139-146.

CHARTIER (J.-M.), GARREAU (C.), Sauvetage de tubes de lasers à He-Ne usagés (à paraître dans *Journ. of Phys. E: Sci. Instrum.*).

LECLERC (G.), Étalons représentatifs de l'ohm et du volt. Situation au 1<sup>er</sup> janvier 1977. *Metrologia*, 14, 1978, pp. 171-174. Erratum, *Ibid.*, 15, 1979, p. 116.

RYTZ (A.), International comparison of activity measurements of a solution of  $^{139}\text{Ce}$  (March 1976). *Nuclear Instruments and Methods*, 157, 1978, pp. 131-135.

TERRIEN (J.), Les étalons internationaux au service de la qualité. *Revue pratique de contrôle industriel*, N<sup>o</sup> 88, déc. 1977.

TERRIEN (J.), News from the BIPM. *Metrologia*, 14, 1978, pp. 89-91.

### *Rapports internes*

Ces rapports peuvent être fournis sur demande.

— Sur une éventuelle application des fractions continues, par J. W. Müller (Rapport BIPM WPN-208, juin 1977, 8 pages).

— Statistiques de comptage, par J. W. Müller (Rapport BIPM-77/6, octobre 1977, 7 pages).

— Intercomparison of high-count-rate  $^{60}\text{Co}$  sources, par D. Smith, A. Williams et M. J. Woods (NPL, Teddington) (Rapport BIPM-77/7, mars 1977, 63 pages).

— Représentation par une fonction simplifiée du facteur de compressibilité de l'air humide, par P. Carré (Rapport BIPM-78/1, mars-juillet 1978, 14 pages).

— Asymétrie des distributions de comptage, par J. W. Müller (Rapport BIPM WPN-209, mars 1978, 4 pages).

— A test for judging the presence of additional scatter in a Poisson process, par J. W. Müller (Rapport BIPM-78/2, mai 1978, 17 pages).

— Mesure de l'exposition au BIPM dans le domaine des rayons X de 100 à 250 kV, par M. Boutillon (Rapport BIPM-78/3, juin 1978, 10 pages).

— Some second thoughts on error statements, par J. W. Müller (Rapport BIPM-78/4, juin 1978, 21 pages).

— Note sur quelques relations entre moments, par J. W. Müller (Rapport BIPM WPN-210, juillet 1978, 9 pages).

— Evaluation of the third asymptotic moment for counting distributions, par J. W. Müller (Rapport BIPM-78/5, août 1978, 17 pages).

— Description d'un analyseur de phénomènes aléatoires, par P. Bréonce (Rapport BIPM-78/6, septembre 1978, 6 pages).

**Certificats et Notes d'étude**

Du 16 septembre 1977 au 15 septembre 1978, 42 Certificats et 2 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1977

N°		
27.	Kilogramme en acier inoxydable N° FN1 (addition) .....	Fédération du Nigéria.
28.	Kilogramme en Nicral D N° 82 .....	Agence Internationale de l'Energie Atomique, Wien, Autriche.
29.	Six étalons en acier de 457,2, 480, 609,6, 609,6, 812,8 et 1219,2 mm .....	Moore Special Tool, Co., Bridgeport (U.S.A.)
30.	Neuf calibres en acier de 5, 15, 25, 40, 50, 60, 75 et 100 mm .....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern (Suisse).
31.	Quatre étalons de force électromotrice N° 415968 A et B et N° 453093 A et B (addition) .....	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
32.	Etalon de 1 $\Omega$ N° 1816194 .....	Centre de Recherches Techniques, Espoo, Finlande.
33.	Deux étalons de 1 $\Omega$ N° 000312 et 017204 (addition) .....	Institut National de Métrologie, Bucarest, Roumanie.
34.	Etalon de 10 $\Omega$ N° 021054 (addition) .....	Id.
35.	Etalon de 100 $\Omega$ N° 090054 (addition) .....	Id.
36.	Etalon de 1000 $\Omega$ N° 024934 (addition) .....	Id.
37.	Etalon de 10000 $\Omega$ N° 028041 .....	Id.
38.	Etalon de 0,01 $\Omega$ N° 011711 (addition) .....	Id.
39.	Cinq étalons de force électromotrice N° 5347, 4095, 5674, 5535 et 5377 .....	Id.
40.	Cinq étalons de force électromotrice N° 323-71, 338-71, 342-71, 343-71 et 344-71 .....	Id.
41.	Règle de 1 m N° 12202 en acier au nickel (addition) .....	Ministère Fédéral du Commerce du Nigéria.
42.	Etalon de 1 $\Omega$ N° FOA 3M-04906 (addition) .....	Institut de Recherche de la Défense Nationale, Stockholm, Suède.
43.	Etalon de 10000 $\Omega$ N° FOA 3M-08178 .....	Id.
44.	Quatre étalons de force électromotrice N° 40517, 40883, 40908 et 40923 .....	Id.

1978

1.	Règle de 200 mm N° 16223 (addition) .....	Centre d'Essais en Vol, Brétigny- sur-Orge, France.
2.	Thermomètre à résistance de platine N° 223665 .....	Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie.

1978 (suite)

N°		
3.	Thermomètre à résistance de platine N° 223666 .....	Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie.
4.	Thermomètre à résistance de platine N° 03332/B .....	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
5.	Thermomètre à résistance de platine N° 03578/B .....	Id.
6.	Thermocouple platine/platine rhodié N° 277 .....	Id.
7.	Quatre thermomètres Prolabo NOS 340, 341, 342 et 343 .....	Société Genevoise d'Instruments de Physique, Genève, Suisse.
8.	Cinq étalons de force électromotrice NOS 5347, 4095, 5674, 5535 et 5377 (addition) .....	Institut National de Métrologie, Bucarest, Roumanie.
9.	Cinq étalons de force électromotrice NOS 323-71, 338-71, 342-71, 343-71, et 344-71 (addition) .....	Id.
10.	Cinq étalons de force électromotrice NOS R6, 63267, 64091, 64092 et 71086 ...	Bundesamt für Eich- und Vermessung- swesen, Wien, Autriche.
11.	Quatre étalons de force électromotrice NOS 1, 2, 65048 et 63270 (addition) ....	Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie.
12.	Quatre étalons de force électromotrice NOS 41853, 41855, 41868 et 41885 (addition) .....	Id.
13.	Kilogramme prototype N° 18 en platine iridié (addition) .....	Royaume-Uni.
14.	Masse de 1 kg en acier inoxydable .....	Mauritius Standards Bureau, Ile Maurice.
15.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2042 K) NOS 661081 et TS 1505 .....	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Rép. Féd. d'Allemagne.
16.	Thermomètre à résistance de platine N° 75005 .....	National Institute of Metrology, Rép. Pop. de Chine.
17.	Thermomètre à résistance de platine N° 223670 .....	Id.
18.	Deux thermocouples platine/platine rhodié NOS 10 et 11 .....	Office Fédéral de Métrologie, Wabern, Suisse.
19.	Deux thermocouples platine/platine rhodié NOS 62-6 et 74-03 .....	National Institute of Metrology, Rép. Pop. de Chine.
20.	Masses en uranium de 100 g à 1 g .....	Laboratoire National d'Essais du CNAM, Paris, France.
21.	Règle de 1 m N° 7497 en acier .....	Office Fédéral de Métrologie, Wabern, Suisse.
22.	Deux étalons de 1 Ω NOS 501 et 508 .....	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, Rép. Dém. Allemande.

1978 (suite)

N°

- |     |   |  |
|-----|---|--|
| 23. | Etalon de 10000 $\Omega$ N° 1 Mgn (addition) ...  | Amt für Standardisierung, Messwesen<br>und Warenprüfung, Berlin, Rép. Dém.<br>Allemande. |
| 24. | Six étalons de force électromotrice<br>N°s K630, K631, K632, K633, K634 et<br>K635 (addition) ..... | Id.  |

NOTES D'ÉTUDE

1978

- |    |  |  |
|----|--|--|
| 1. | Thermomètre Prolabo N° 72 (position du<br>point zéro) (addition) ..... | Centre d'Essais en Vol, Brétigny-sur-<br>Orge, France. |
| 2. | Dilatabilité de deux câbles plats de<br>24 m .....                     | Société Filéca, Sainte Geneviève,<br>France.           |

#### IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

##### **Documentation; Système International d'Unités (H. Moreau)**

Le BIPM est toujours fréquemment consulté sur les unités et les étalons de mesure en général; les renseignements fournis nécessitent bien souvent des recherches bibliographiques et représentent ainsi une activité non négligeable du service de documentation.

En ce qui concerne le SI, son emploi se généralise dans la plupart des pays; un certain nombre d'unités en dehors du SI sont devenues d'un emploi illégal à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1978 dans plusieurs pays, et le seront à partir de 1980-81 dans les pays socialistes européens.

L'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 1977 une brochure en français et en anglais, à laquelle le BIPM a apporté une contribution pour la partie qui concerne le SI; cette brochure constitue un guide pour le passage aux unités SI dans les professions de la santé.

La 3<sup>e</sup> édition (1977) de la brochure du BIPM sur le SI a fait l'objet d'une première révision lors de la 6<sup>e</sup> session (mai 1978) du CCU; la publication de la 4<sup>e</sup> édition n'est prévue qu'après la 16<sup>e</sup> CGPM.

#### **Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux**

(Voir aussi Voyages, visites, conférences, exposés du personnel)

Participation habituelle du BIPM aux travaux d'organisations françaises (AFNOR, Comité National Français de l'Éclairage, Comité Électrotechnique Français) et internationale (ISO/TC 12). Ainsi qu'on l'avait mentionné dans le Rapport de 1977 (p. 71), J. Terrien et H. Moreau s'occupent en outre de la préparation du projet de la 4<sup>e</sup> édition du Vocabulaire International de l'Éclairage, publication commune à la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) et à la Commission Électrotechnique Internationale (CEI).

Participation régulière de plusieurs membres du personnel (J. Terrien, P. Giacomo, A. Allisy, J. Bonhoure) aux réunions soit du Comité de direction soit de divers Groupes de travail du Bureau National de Métrologie français.

#### **Voyages, visites, conférences, exposés du personnel**

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

J. Terrien s'est rendu en Belgique, à Knokke-Heist, pour une réunion du Conseil d'Administration de la Commission Internationale de l'Éclairage (27-30 juin 1978).

P. Giacomo s'est rendu :

— à Genève les 20 et 21 février 1978 pour une réunion du Groupe ISO sur la métrologie; il a ensuite visité l'Office Fédéral de Métrologie Suisse, à Berne, les 22 et 23 février;

— accompagné de T. J. Quinn, en Rép. Pop. de Chine, du 28 mai au 12 juin 1978<sup>+</sup>; ils ont visité les laboratoires de métrologie de Pékin, Chengtu et Shanghai; ils ont fait chacun une conférence et un séminaire à Pékin ainsi qu'une conférence à Shanghai; ce séjour a permis d'établir des contacts directs et amicaux avec les métrologistes chinois;

— accompagné de G. Leclerc et T. Witt, à Ottawa, du 22 au 30 juin 1978, il a assisté à la Conférence sur les Mesures Électromagnétiques de Précision (CPEM 78); ils ont participé à une table ronde sur les problèmes d'exactitude dans la détermination de l'ohm à partir du farad; T. Witt a présenté à la CPEM 78 une communication de A. Hartland, D. Reymann, T. F. Finnegan et lui-même sur « An international direct comparison of two Josephson effect voltage standards »; ils ont visité à cette occasion les laboratoires du NRC; G. Leclerc a visité en outre le NBS (Gaithersburg), où il a repris les deux étalons de 1  $\Omega$  qui ont servi au rattachement de  $\Omega_{\text{NBS}}$  à  $\Omega_{69-81}$ , ainsi que l'Université Laval (Québec);

— au NPL (Teddington) les 17 et 18 juin 1978; il s'est entretenu des problèmes d'intérêt commun avec P. Dean, Directeur du NPL, et des problèmes concernant l'unité de longueur avec W. R. C. Rowley;

— accompagné de J. Azoubib<sup>++</sup>, à Helsinki, du 29 juillet au 9 août 1978, pour l'Assemblée Générale de l'URSI, le Symposium Temps-Fréquences et une réunion du Groupe de travail du CCDS pour le pilotage du TAI.

T. J. Quinn, accompagné de G. Girard, s'est rendu au NPL, Teddington, les 30 et 31 janvier 1978, pour discuter avec les responsables de la section des masses de problèmes posés par le polissage des étalons de masse. Une réunion avait été organisée avec les représentants de Johnson Matthey.

Du 26 au 30 juin 1978, il a participé à la 6<sup>e</sup> Conférence Européenne des Propriétés Thermophysiques des Matériaux, à Dubrovnik<sup>++</sup>, où il a présidé la session « Température ». Les 6 et 7 juillet 1978, il s'est rendu à Belgrade<sup>++</sup> pour faire, à l'Institution des Ingénieurs, une conférence sur le rôle et les activités du BIPM, et aussi visiter le Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux et le Boris Kidrich Institute. Les 11 et 12 juillet 1978, il a visité l'Office National des Mesures à Budapest<sup>+</sup>. Le 17 juillet 1978, à la PTB, il a discuté des activités du BIPM avec Mr Kind.

Du 15 août au 1<sup>er</sup> septembre 1978, il s'est rendu au NPL pour achever ses travaux en cours sur la mesure de la constante de Stefan-Boltzmann et la température thermodynamique.

A. Allisy a participé aux réunions suivantes :

— du 12 au 21 octobre 1977 : « Main Commission ICRU », Térésopolis, Brésil<sup>++</sup>; il a été, à cette occasion, réélu vice-président de l'ICRU pour une période de quatre ans;

— 19 octobre 1977 : participation à l'International Seminar on Medical Physics, organisé par Associação Brasileira de Fisicos em Medicina; il a fait une conférence sur « Recent progress in the standardization of instruments used in the measurement of absorbed dose; the national standards and their comparison at the international level »;

— 12 et 13 décembre 1977 : réunion de la Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) du CCEMRI, NBS, Washington, D.C.;

— du 24 au 28 avril 1978 : « ICRU Committee on Quantities and Units », Lund, Suède<sup>++</sup>;

— du 22 au 26 mai 1978 : « Sixième Symposium sur la Microdosimétrie », Bruxelles<sup>+</sup>;

— 1<sup>er</sup> et 2 juin 1978 : « ICRU Committee on Stopping Powers », Aarhus, Danemark<sup>++</sup>;

— du 13 au 15 septembre 1978, comme représentant de l'ICRU, à la 8<sup>e</sup> réunion de l'ISO/TC 12, à Copenhague<sup>++</sup>.

A. Rytz et J. W. Müller ont visité, le 17 octobre 1977, le laboratoire du Tokamak du Centre d'Études Nucléaires à Fontenay-aux-Roses (France).

A. Rytz a participé, du 6 au 9 juin 1978, à la réunion générale de l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM), à Rome.

A. Sakuma a participé à la 8<sup>e</sup> réunion de la Commission Gravimétrique Internationale, Paris, 12-16 septembre 1978; il a fait un exposé général sur les mesures absolues de l'accélération due à la pesanteur.

J. Bonhore a apporté son concours à la session de perfectionnement organisée par le LCIE à Fontenay-aux-Roses ; il a fait un exposé sur la photométrie le 15 novembre 1977.

Les 31 mai et 1<sup>er</sup> juin 1978, il a participé aux journées « Température » organisées par le BNM à Paris et pris part à la visite du Département d'Études Mécaniques et Thermiques du Centre d'Études Nucléaires de Saclay.

Le 23 juin 1978, il a visité le Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux à Belgrade ; il a ensuite assisté à la 6<sup>e</sup> Conférence Européenne des Propriétés Thermophysiques des Matériaux qui se tenait à Dubrovnik du 26 au 30 juin 1978.

Du 24 au 31 août 1978, il a participé à Prague à la réunion du Comité TC-2.2 (DéTECTEURS) de la Commission Internationale de l'Éclairage, puis il a visité l'Institut Métrologique Tchécoslovaque à Bratislava.

H. Moreau a assisté à Copenhague, du 13 au 15 septembre 1978, à la 8<sup>e</sup> réunion de l'ISO/TC 12 où il a représenté le BIPM à titre d'observateur.

T. Witt et D. Reymann ont effectué au NPL, à Teddington, du 29 mars au 7 avril et du 19 au 28 avril 1978, des comparaisons entre les « dispositifs Josephson » du BIPM et du NPL.

V. D. Huynh et L. Lafaye se sont rendus au NPL, Teddington, les 26 et 27 septembre 1977, pour visiter les installations du groupe de dosimétrie neutronique.

Dans le cadre de la comparaison internationale des mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques, V. D. Huynh s'est rendu dans les laboratoires suivants : PTB, Braunschweig (6 au 9 décembre 1977), IMM, Leningrad (27 février au 3 mars 1978).

G. Girard a participé du 19 au 22 juin 1978, à Helsinki, à un Symposium organisé par l'Association Internationale de Géodésie : « High precision geodetic length measurements ». Il a fait un exposé sur la mesure des étalons géodésiques au BIPM.

Les 4 et 5 septembre 1978, il s'est rendu à la PTB où il a eu des entretiens relatifs au Groupe de travail 3 sur les masses ; il a visité la section des masses de ce laboratoire.

Du 6 au 8 septembre 1978, il a assisté à Kiel à la 16th Vacuum Microbalance Techniques Conference.

Les 11 et 13 septembre 1978, il a assisté à Paris à la réunion du Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards.

D. Reymann a assisté à la XV<sup>e</sup> Conférence internationale sur la physique à basse température (LT 15), à Grenoble du 23 au 29 août 1978.

R. Pello s'est rendu, du 11 au 13 avril 1978, au NPL où il a visité la section de Thermométrie.

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

— par P. Carré, avec la collaboration de J. Hostache, du 14 au 27 octobre 1977 : Mise en œuvre de montages à microprocesseurs (huit courtes séances avec démonstrations) ;

— par P. Carré, avec la collaboration de D. Reymann, le 27 janvier 1978 : Utilisation pratique des calculateurs portatifs, en particulier programmables;

— par T. J. Quinn, le 14 mars 1978 : La mesure de la constante de Stefan-Boltzmann et de la température thermodynamique.

### Visites et stages au BIPM

Plusieurs visites ont été organisées pour des groupes d'étudiants (École Supérieure de Métrologie, Paris, le 13 mars 1978, Université d'Utrecht le 7 avril 1978), de chercheurs ou d'ingénieurs : Mr K. Narita (professeur à Kyushu University, Japon), accompagné de huit directeurs techniques, a visité les sections d'électricité, des longueurs, des masses et de gravimétrie, le 28 septembre 1977; douze océanographes de la Rép. Pop. de Chine, conduits par Mr Shen Chen Tung, directeur du National Oceanography Bureau, ont visité la section des masses le 18 novembre 1977; cinq physiciens chinois, spécialistes des basses températures, ont visité notre section de thermométrie le 7 septembre 1978; nous avons aussi reçu environ quinze participants du « Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards » le 11 septembre 1978 et trente-cinq participants au congrès de l'Association technique de l'industrie du gaz en France, le 14 septembre 1978.

Parmi les nombreux visiteurs, physiciens et métrologistes, nous ne citerons que ceux qui sont particulièrement concernés par les travaux du BIPM.

Mlle M.-T. Niatel et Mme M. Boutillon (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Paris) et Mme A.-M. Perroche-Roux (Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Paris) poursuivent leur participation au travail de la section des rayonnements ionisants (rayons X et  $\gamma$ , électrons).

Nous maintenons des relations régulières avec MM. P. Céréz (LHA, Orsay), J. Jimenez (LPTF, Paris), G. Camy (Laboratoire de Physique des lasers, Villetaneuse); ils nous ont rendu visite à plusieurs reprises. Du 2 au 17 novembre 1977, J. Jimenez a participé à la comparaison BIPM-LPTF de lasers asservis sur l'iode, il a pu aussi contrôler le fonctionnement de son laser asservi sur le méthane.

MM. Dutitre, Gain et Colas (Établissements Jaeger, Courbevoie, France) ont eu avec nous plusieurs entretiens pour fixer les modalités de la construction d'un gravimètre absolu transportable; ce gravimètre utilisera un laser stabilisé sur l'absorption saturée de l'iode.

MM. L. Szokoloyi et A. Szórényi, (OMH, Budapest) ont visité le laboratoire de mesure des radionucléides le 22 septembre 1977 et ont discuté leurs résultats récents concernant le système international de référence.

Mr Levine (JILA, Boulder) a abordé avec nous, le 26 septembre 1977, différents problèmes concernant les tubes de lasers, les cuves d'absorption et surtout le collage des fenêtres.

Mr Boitsov, Président du Comité des Normes de l'URSS et Président

de l'ISO, a visité diverses sections le 26 septembre 1977, notamment celles des longueurs et des lasers.

Mr Hosoyama (ILO, Mizusawa) a eu avec nous, le 26 et le 27 septembre 1977, une discussion sur le laser stabilisé sur l'absorption de l'iode construit par le BIPM.

Mr J. Kinard (University of New South Wales, Australie) s'est intéressé aux enceintes thermorégulées et aux potentiomètres utilisés pour la comparaison des piles étalons, le 6 octobre 1977; il a en outre visité la section des lasers.

MM. K. Debertain et W. Pessara (PTB) ont visité le laboratoire des rayonnements ionisants, les 6 et 7 octobre 1977; ils ont discuté la présentation des résultats d'une récente comparaison de mesures de taux d'émission d'émetteurs de rayons  $\gamma$ ; ils ont aussi visité la section des lasers.

Mr Gascoigne (Adélaïde, Australie) a discuté avec nous, le 14 octobre 1977, des problèmes posés par la mesure des piles étalons.

MM. Guildner (NBS), Thomas (PTB) et Moser (INM), membres du CCT, ont visité, le 26 octobre 1977, les sections de thermométrie et des masses.

Mr V. Navrátil (Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava) a séjourné au BIPM du 14 au 16 novembre 1977; nous lui avons communiqué tous les renseignements pratiques nécessaires à la construction de lasers stabilisés sur l'absorption de l'iode et nous lui avons donné une cuve à iode. Il a en outre visité les sections de photométrie et des longueurs.

MM. Dj. Bek-Uzarov, P. Mirić et D. Novković (Institut des Sciences Nucléaires « Boris Kidrič », Vinča, Yougoslavie) ont visité le laboratoire de mesure des radionucléides le 16 novembre 1977.

Mr Pointeau (Société Matra, Vélizy, France) est venu nous consulter le 17 novembre 1977 pour l'utilisation de lasers stabilisés dans les applications spatiales.

Mr R. Merino (Centro Nuclear, Seccion de Normas Radiactivas, Mexico) a fait un stage, du 21 au 25 novembre 1977, pour se familiariser avec les techniques de préparation et de mesure de sources radioactives.

MM. S. Spiridonović, Directeur-Adjoint, et Skundrić (Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade) ont étudié nos méthodes de mesure des piles et nos procédés de réduction des calculs le 22 et le 24 novembre 1977.

MM. K. Hohlfeld (PTB) et A. Kannan (BARC, Inde, en stage à la PTB) sont venus comparer l'étalon calorimétrique de dose absorbée de la PTB avec l'étalon ionométrique du BIPM (rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ ) du 2 au 14 décembre 1977; ils ont profité de ce séjour pour visiter les sections des masses et des longueurs.

Mr Aishorye Prashad Shrestha (Népal) a visité la section des masses le 5 décembre 1977.

Mr N. K. Sherman (NRC) a visité la section des rayonnements ionisants le 20 décembre 1977.

Mr T. F. Finnegan (NPL) nous a rendu visite le 27 et le 29 décembre 1977 pour préparer la comparaison directe des « dispositifs Josephson » du NPL et du BIPM.

Mr S. Bennett (NPL), en stage au LHA (Orsay), s'est particulièrement intéressé au sauvetage des tubes de lasers à He-Ne usagés, le 8 février 1978; il a aussi visité la section des masses.

Mr B. Kibble (NPL) a examiné avec nous, du 8 au 10 mars 1978, le problème de la comparaison des représentations nationales de l'ohm.

Mme H. Maj (Comité Polonais de Normalisation et des Mesures, Varsovie) a visité en détail la section d'électricité le 17 mars 1978.

Mr G. Winkler (Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Wien) est venu, les 20 et 21 mars 1978, pour participer à la mesure de débit de fluence de neutrons de 14,68 MeV par la méthode d'activation de feuilles d'aluminium.

Mr W. Schlesok (ASMW) s'est entretenu avec nous, le 24 avril 1978, des résultats des plus récentes déterminations absolues des unités électriques.

MM. Lou Shao-tseng, Chin Nan-jong, Ling Shan-kang (Institut National de Métrologie, Pékin) nous ont rendu visite à plusieurs reprises du 5 au 17 mai 1978. Ils ont discuté avec nous de questions variées concernant notamment les lasers, la thermométrie, la photométrie et les mesures de longueur; ils nous ont fait part du désir de la Rép. Pop. de Chine de participer à la comparaison internationale de mesures de règles divisées actuellement en cours.

MM. B. Taylor et N. Belecki (NBS) ont discuté des futurs programmes de comparaison des étalons de résistance et de force électromotrice le 16 et le 18 mai 1978; ils ont visité la section des masses.

MM. P. B. Coates, L. Crovini, R. P. Hudson, J. Skakala, C. A. Swenson ont visité la section des masses le 11 mai 1978, lors de la 12<sup>e</sup> session du CCT.

Mr D. T. Goldman (NBS) a visité la section des rayonnements ionisants le 19 mai 1978.

Mr Ko Kong Chen, sous-directeur du Bureau des Étalons de Taïwan a fait, le 22 mai 1978, une visite générale du BIPM et plus particulièrement des sections des masses, des longueurs et de thermométrie.

Mr A. Hartland (NPL) est venu, le 25 et le 26 mai 1978, discuter des résultats de la comparaison des « dispositifs Josephson » du NPL et du BIPM en vue de la mise au point du rapport relatif à cette comparaison.

Mr R. S. Caswell (NBS) est venu, les 29 et 30 mai 1978, pour discuter les problèmes de la prochaine comparaison internationale d'une source de <sup>252</sup>Cf et le projet d'installation au BIPM de la source intense de neutrons de 14 MeV.

Mr Cintra do Prado, membre du CIPM, s'est entretenu avec nous, le 2 juin 1978, de l'activité des Groupes de travail constitués lors de la réunion (novembre 1976) concernant les masses, et des problèmes relatifs à l'expression des incertitudes expérimentales.

Mmes Danković et Vukmanović (Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade) ont visité les sections de thermométrie et de photométrie le 14 juin 1978.

Mr Virieux (OFM, Berne) a visité les sections d'électricité et des masses le 14 juin 1978.

Mr F. Pavese (IMGC, Turin) a visité la section de thermométrie le 13 juillet 1978.

Mr M. Kanno (Université de Tamagawa, Tokyo) a visité les sections d'électricité et de gravimétrie le 17 juillet 1978.

Mr B. I. Rebaglia (IMGC) a apporté au BIPM deux tubes lasers appartenant à son laboratoire; en sa présence, nous avons effectué le renouvellement du mélange gazeux les 18, 24 et 28 juillet 1978.

Mr G. W. Small et Mr B. Inglis (NML, Lindfield) ont visité la section d'électricité, respectivement le 28 juillet et le 7 août 1978.

Mr L. Holdeman (NBS) a discuté avec nous des techniques de fabrication des jonctions Josephson le 31 août 1978.

Mr G. Wood (NRC) est venu le 1<sup>er</sup> septembre 1978 pour visiter notre installation Josephson et discuter des techniques de conservation du volt.

Mr H. Vreys (Service de la Métrologie, Bruxelles) a visité nos sections de gravimétrie et des longueurs le 15 septembre 1978.

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 1977.

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1977 .....	5 304 386,84
Recettes budgétaires.....	6 975 958,29
Différences de change .....	32 894,60
	<hr/>
Total .....	12 313 239,73
	<hr/> <hr/>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires .....	5 266 390,34
Versement au compte « Remboursement aux États » .....	102 600,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1977 .....	6 944 249,39
	<hr/>
Total .....	12 313 239,73
	<hr/> <hr/>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :

	francs-or
au titre de l'exercice 1977 .....	4 913 809,00
au titre des exercices antérieurs .....	1 186 898,00
au titre de l'exercice 1978 .....	57 624,00
	) 6 158 331,00
Intérêts des fonds .....	417 950,81
Taxes de vérification .....	14 963,18
Remboursements des taxes sur les achats.....	173 074,93
Recettes diverses .....	211 638,37
	<hr/>
Total .....	6 975 958,29
	<hr/> <hr/>

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
	francs-or	francs-or	francs-or	francs-or
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements .....	2 523 531,24	2 700 000	176 468,76	—
2. Allocations familiales .....	171 993,22	155 000	—	16 993,22
3. Sécurité sociale .....	216 687,06	165 000	—	51 687,06
4. Assurance-accidents .....	25 847,61	25 000	—	847,61
5. Caisse de Retraites .....	350 000,00	350 000	—	—
	3 288 059,13	3 395 000		
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Bâtiments .....	564 934,22	260 000	—	304 934,22
2. Mobilier .....	21 784,78	10 000	—	11 784,78
3. Laboratoires et Ateliers .....	348 471,64	570 000	221 528,36	—
4. Chauffage, eau, énergie électrique .....	112 125,77	150 000	37 874,23	—
5. Assurances .....	8 753,29	15 000	6 246,71	—
6. Impressions et publications .....	50 895,37	65 000	14 104,63	—
7. Frais de bureau .....	74 928,01	65 000	—	9 928,01
8. Voyages .....	74 364,70	100 000	25 635,30	—
9. Bureau du Comité .....	15 000,01	15 000	—	0,01
	1 271 257,79	1 250 000		
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires .....	562 709,35	560 000	—	2 709,35
2. Atelier de mécanique .....	53 093,67	50 000	—	3 093,67
3. Atelier d'électronique .....	19 373,33	90 000	70 625,67	—
4. Bibliothèque .....	21 209,23	30 000	8 790,77	—
	656 385,58	730 000		
D. Frais divers et imprévus .....	50 687,84	275 000	224 312,16	—
E. Utilisation de monnaies non convertibles .....	0	50 000	50 000,00	—
Totaux .....	5 266 390,34	5 700 000	835 586,59	401 977,93

**Compte II. — Caisse de retraites**

RECETTES	
	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1977 .....	1 096 293,67
Intérêts des fonds .....	87 262,31
Retenues sur les traitements .....	136 770,71
Virement du Compte I .....	350 000,00
<b>Total .....</b>	<b>1 670 326,69</b>
DÉPENSES	
	francs-or
Pensions servies .....	303 725,41
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1977 .....	1 366 601,28
<b>Total .....</b>	<b>1 670 326,69</b>

**Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique**

RECETTES	
	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1977 .....	0,00
Contribution d'entrée de la République Populaire de Chine .....	441 792,00
<b>Total .....</b>	<b>441 792,00</b>
DÉPENSES	
	francs-or
Dépenses budgétaires .....	0,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1977 .....	441 792,00
<b>Total .....</b>	<b>441 792,00</b>

**Compte IV. — Caisse de prêts sociaux**

RECETTES	
	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1977 .....	31 968,15
Virement budgétaire (10 943 FF) .....	6 030,80
Amortissements partiels des prêts (65 767,56 FF) .....	36 245,15
<b>Total .....</b>	<b>74 244,10</b>
DÉPENSES	
	francs-or
Prêts consentis (113 000 FF) .....	62 275,42
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1977 .....	11 968,68
<b>Total .....</b>	<b>74 244,10</b>

**BILAN**

AU 31 DÉCEMBRE 1977

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	6 944 249,39
Compte II « Caisse de retraites » .....	1 366 601,28
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » .....	441 792,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	11 968,68
	<hr/>
ACTIF NET .....	8 764 611,35
	<hr/> <hr/>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en Banque :

	francs-or
1° En monnaie française .....	1 633 485,44
2° » U.S.A. ....	4 316 628,70
3° » suisse .....	1 309 792,59
4° » britannique .....	2,99
5° » allemande .....	1 488 015,25
6° » hongroise .....	11 434,57
7° » polonaise .....	98 453,99
b. Espèces en caisse .....	9 397,82

Total ..... 8 867 211,35

A déduire :

Provision pour remboursement aux États ..... 102 600,00

ACTIF NET ..... 8 764 611,35

---

---

**RAPPORT**  
DU  
**COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE**  
**(12<sup>e</sup> Session — 1978)**  
AU  
**COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**  
par M. DURIEUX, Rapporteur

---

**Rapport abrégé**  
présenté à la 67<sup>e</sup> session du CIPM

Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) s'est réuni pour sa 12<sup>e</sup> session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu quatre séances les 9 et 10 mai 1978\*.

Etaient présents :

H. PRESTON-THOMAS, membre du CIPM, président du CCT.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung  
[ASMW], Berlin (H. MAAS).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa  
(R.E. BEDFORD).

Bureau National de Métrologie, Paris : Institut  
National de Métrologie [INM] du Conservatoire  
National des Arts et Métiers [CNAM] (A. MOSER).

Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques  
[IMPR], Moscou (D.N. ASTROV).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin  
(L. CROVINI).

---

\* Un compte rendu détaillé de cette session est publié dans *Comité Consultatif de Thermométrie*, 12<sup>e</sup> session, 1978.

Kamerlingh Onnes Laboratorium [KOL], Leiden  
(M. DURIEUX).

National Bureau of Standards [NBS], Washington  
(R.P. HUDSON, J.F. SCHOOLEY).

National Measurement Laboratory [NML], Lindfield  
(W.R.G. KEMP).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington  
(P.B. COATES, R.L. RUSBY).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM],  
Tokyo (K. MITSUI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB],  
Braunschweig (W. THOMAS).

Les membres nominativement désignés :

F.G. BRICKWEDDE (Pennsylvania).

J. SKAKALA (Bratislava).

C.A. SWENSON (Ames).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invité : Institut National de Métrologie, Pékin  
(LING SHAN-KANG).

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, directeur  
honoraire du BIPM, T.J. QUINN, sous-directeur du BIPM,  
J. BONHOURE et G. GIRARD (BIPM).

Absents : Institut de Métrologie D.I. Mendéléév [IMM],  
Leningrad ; J. de BOER (Amsterdam) et M. COLOMINA  
(Madrid), membres nominativement désignés.

Les points principaux qui ont été discutés au cours de la  
session sont résumés ci-après, avec les conclusions auxquelles  
est parvenu le CCT.

1. *Echelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K  
et 30 K (EPT-76)*

Le CCT a adopté le texte définitif de cette Echelle dont  
le CIPM avait approuvé les grandes lignes en 1976 et autorisé  
sa promulgation par le CCT. Le texte de l'EPT-76 (*voir* p. T7)  
sera disponible comme publication séparée du BIPM dont des  
exemplaires seront distribués à la 15<sup>e</sup> Conférence Internatio-  
nale sur la Physique des basses températures (Grenoble, France,  
août 1978) ; cela favorisera une diffusion rapide de l'EPT-76  
parmi les utilisateurs possibles de cette échelle.

## 2. Echelle Internationale Pratique de Température (EIPT)

Un calendrier provisoire a été établi pour permettre au CCT de proposer une nouvelle version de l'EIPT en 1986. Les principes à retenir pour cette nouvelle version ont été discutés ; les points suivants ont été considérés comme importants :

- a) Le remplacement du thermocouple, qui définit l'EIPT-68 dans le domaine de température compris entre 630,74 °C et 1 064,43 °C, par le thermomètre à résistance de platine ou, si ce n'est pas possible dans tout cet intervalle, par le pyromètre optique dans la partie supérieure de ce domaine.
- b) La précision exigée de la nouvelle échelle et, en conséquence, l'introduction de nouvelles formules d'interpolation pour le thermomètre à résistance de platine.
- c) L'introduction de l'EPT-76 dans la nouvelle échelle.
- d) L'extension possible de la nouvelle échelle jusqu'à 0,01 K.

## 3. Monographie complémentaire à l'EIPT

Le CCT a jugé nécessaire la préparation d'une monographie destinée à expliquer et compléter l'EIPT-68, ainsi que sa version future.

Les utilisateurs ont besoin d'informations qui fassent autorité sur la réalisation de l'EIPT ; des propositions précises ont été faites pour mettre de telles informations à leur disposition.

## 4. Points de référence secondaires et de réalisations secondaires de l'EIPT

Une nouvelle liste des points de référence secondaires a été publiée sous les auspices du CCT. On constate un besoin général d'un grand nombre de points de référence, particulièrement dans le domaine de température entre - 50 °C et + 300 °C. Une coopération entre le CCT et l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée sera établie à ce sujet. Le CCT recommandera seulement les points de référence qui peuvent être réalisés avec une haute précision et pour lesquels la température dans l'EIPT-68 est déterminée.

De nombreux laboratoires n'ont pas les moyens de réaliser l'EIPT-68 ou n'ont pas besoin de la haute précision qu'elle fournit. Le CCT a reconnu qu'il faudrait donner des directives officielles concernant des réalisations simplifiées de l'échelle ; il n'a toutefois pas pris de décision quant à la façon dont ces directives devraient être données.

5. *Comparaisons internationales*

a) Une comparaison internationale d'échelles de thermomètres à résistance de platine pour hautes températures et d'échelles de pyromètres optiques, entre 630 °C et 1 064 °C, est en cours d'organisation.

b) Il a été décidé de procéder à une comparaison internationale de réalisations de l'EIPT-68 au-dessous de 0 °C en utilisant des cellules scellées à point triple (on dispose de telles cellules pour environ neuf corps purs).

6. *Groupes de travail*

Les cinq Groupes de travail du CCT ont fourni dans leurs rapports des renseignements très utiles sur les différents points précédents ; ce travail d'information devra être poursuivi dans le futur.

(Août 1978)

R E C O M M A N D A T I O N  
du Comité Consultatif de Thermométrie  
présentée  
au Comité International des Poids et Mesures

Préambule

Le Comité Consultatif de Thermométrie désire réaffirmer l'importance de sa Recommandation T 1 (1976) présentée au Comité International des Poids et Mesures en septembre 1976.

A sa 12<sup>e</sup> session (1978), et afin de faciliter l'élaboration d'une nouvelle Echelle Internationale Pratique de Température (EIPT), le Comité Consultatif de Thermométrie appuie fortement l'élaboration ou la continuation de programmes de recherche dans les domaines mentionnés dans la Recommandation suivante.

RECOMMANDATION T 1 (1978)

*Le Comité Consultatif de Thermométrie,*

*1. considérant qu'il est généralement reconnu que dans la prochaine version de l'Echelle Internationale Pratique de Température, le thermocouple Pt 10 % Rh/Pt sera remplacé, en tant qu'instrument d'interpolation, par le thermomètre à résistance de platine ou le pyromètre optique,*

*recommande que des recherches soient effectuées en vue*

*a) d'améliorer le thermomètre à résistance de platine pour qu'il soit satisfaisant à toutes les températures jusqu'à la température de jonction entre le domaine du thermomètre à résistance de platine et celui du pyromètre optique ;*

*b) de déterminer la température la mieux appropriée pour cette jonction.*

*2. considérant qu'une valeur exacte de la constante des gaz est nécessaire dans certaines mesures de la température thermodynamique, et que l'incertitude de la valeur de cette constante est au moins de un dix-millième,*

recommande que l'on effectue de nouvelles déterminations de la constante des gaz.

3. considérant qu'il existe dans tous les pays un besoin réel pour des mesures de température qui ne sont pas les plus précises et les plus exactes,

recommande que l'on effectue des recherches pour trouver des méthodes simplifiées de réalisation de l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968.

4. considérant que les incertitudes des différences entre l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968 et la température thermodynamique sont d'une grandeur inacceptable et que ces incertitudes devraient être réduites dans une future Echelle Internationale Pratique de Température,

recommande que l'on effectue des recherches sur la mesure des températures thermodynamiques entre 14 K et 1 064 K et, en particulier, entre 14 K et 90 K et entre 400 °C et 700 °C.

---

ÉCHELLE PROVISOIRE DE TEMPÉRATURE DE 1976  
ENTRE 0,5 K et 30 K \*

---

Il est devenu de plus en plus évident que les échelles à pression de vapeur de l'hélium utilisées couramment [1,2] et l'extrémité inférieure de l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968 (EIP-68) [3] s'écartent nettement de la température thermodynamique et, de plus, qu'elles ne sont pas cohérentes entre elles. Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) a pris connaissance et discuté de ces problèmes posés par les échelles internationales pratiques de température actuellement utilisées. En 1976, le CCT a donc proposé au Comité International des Poids et Mesures (CIPM) que soit recommandée pour être utilisée sur le plan international, une nouvelle échelle provisoire pratique de température entre 0,5 K et 30 K jusqu'à ce que l'on puisse adopter une nouvelle Echelle Internationale Pratique de Température [4]. Le CIPM a autorisé le CCT à publier l'"Echelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K" (EPT-76) <sup>(1)</sup> lorsqu'elle serait sous sa forme définitive [5,6]. Cette échelle est décrite ci-après.

\*

---

\* Ce document a été préparé par les membres du Groupe de travail 4 près du Comité Consultatif de Thermométrie : M. DURIEUX, président, Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas), W.R.G. KEMP, National Measurement Laboratory (Australie), C.A. SWENSON, Iowa State University (USA), D.N. ASTROV, Institut des Mesures Physicotechniques et Radio-techniques (URSS).

On peut obtenir auprès du BIPM, F-92310 Sèvres, France, le texte français et sa traduction anglaise. La version anglaise sera publiée dans *Metrologia* au début de 1979.

(1) Les températures dans cette échelle sont désignées par le symbole  $T_{76}$ .

En élaborant l'EPT-76 on a cherché à ce que les différences entre les températures  $T_{76}$  et  $T$  soient lisses<sup>(2)</sup>, qu'elle se raccorde sans discontinuité à l'EIPT-68 à 27,1 K et qu'elle soit en accord avec la température thermodynamique  $T$  aussi étroitement que le permettent ces deux conditions.

L'EPT-76 est fondée sur les valeurs des températures assignées aux points fixes de définition donnés au tableau I. Ces points fixes ont été déterminés pour être autant que possible en conformité avec les buts recherchés et en utilisant les résultats récents obtenus en thermométrie. On peut réaliser l'EPT-76 par interpolation entre les points fixes, mais contrairement à ce qu'il en est pour l'EIPT-68, différentes méthodes d'interpolation sont permises, et l'on peut aussi obtenir des valeurs de  $T_{76}$  à partir de certaines échelles de laboratoire existantes.

Les méthodes admises pour réaliser l'EPT-76 en tout ou partie sont :

- a) utilisation d'un instrument thermodynamique d'interpolation, tel qu'un thermomètre à gaz ou un thermomètre magnétique, étalonné à un ou plusieurs points fixes du tableau I ;
- b) pour les températures supérieures à 13,81 K, utilisation de l'EIPT-68 avec les différences données au tableau II ;
- c) pour les températures inférieures à 5 K, utilisation des échelles à pression de vapeur de l'hélium, l'"Echelle  $^4\text{He}$  1958" ou l'"Echelle  $^3\text{He}$  1962", avec les différences données au tableau III ;
- d) utilisation de toute échelle de laboratoire pour laquelle les différences par rapport à l'EPT-76 sont données aux tableaux IV, V, VI.

Les différentes méthodes employées pour réaliser l'EPT-76 peuvent, par suite d'un manque de cohérence interne,

---

(2) Le terme "lisse" implique que les discontinuités des valeurs des dérivées seconde et d'ordre supérieur de  $T_{76}$  par rapport à  $T$  soient petites. Lors d'une mesure de capacité thermique, par exemple, la déformation qui paraît due au caractère non lisse de l'échelle de température doit être inférieure à 0,001. Ce même critère de caractère lisse doit s'appliquer aux étalonnages des thermomètres qui couvrent le domaine de température voisin de 27,1 K où l'EPT-76 et l'EIPT-68 se rejoignent.

introduire de légères ambiguïtés entre les réalisations. Elles ne seraient pas acceptables pour une Echelle Internationale Pratique de Température, mais on considère que les avantages tirés de l'introduction de l'EPT-76 comme échelle de travail, compensent largement cet inconvénient. L'EPT-76 ne remplace pas l'EIPT-68 dans la région où ces deux échelles se recouvrent, entre 13,81 K et 30 K, mais on choisira de l'utiliser dans les applications pour lesquelles le caractère lisse par rapport à la température thermodynamique est nécessaire.

Les tableaux IV, V et VI font référence à des échelles qui sont discutées par Ward et Compton [7] à la suite des comparaisons de thermomètres à résistance de platine et par Besley et Kemp [8] à la suite des comparaisons de thermomètres à résistance de germanium ; ces comparaisons ont été faites sous les auspices du CCT. En particulier, l'échelle  $T_{XAc}$  de Besley et Kemp est reliée à l'EPT-76 par :

$$T_{XAc} - T_{76} = 2,5 \times 10^{-6} T^2/K.$$

Des renseignements complémentaires sur les origines, l'élaboration, la réalisation et l'exactitude estimée de l'EPT-76 sont donnés par ailleurs [9].

(Avril 1978)

TABLEAU I

Points fixes de définition de l'EPT-76

Points fixes	Valeur attribuée à la
	température $T_{76}$ (K)
Point de transition supraconducteur* du cadmium .....	0,519
Point de transition supraconducteur du zinc .....	0,851
Point de transition supraconducteur de l'aluminium .....	1,179 6
Point de transition supraconducteur de l'indium .....	3,414 5
Point d'ébullition de $^4\text{He}$ (a) .....	4,222 1
Point de transition supraconducteur du plomb .....	7,199 9
Point triple de l'hydrogène en équilibre (b) .....	13,804 4
Point d'ébullition de l'hydrogène en équilibre à une pression de 33 330,6 Pa (25/76 atmosphère normale) (b) .....	17,037 3
Point d'ébullition de l'hydrogène en équilibre (a,b) .....	20,273 4
Point triple du néon (c) .....	24,559 1
Point d'ébullition du néon (a,b,c) .....	27,102

\* Point de transition supraconducteur : c'est la transition entre l'état supraconducteur et l'état normal dans un champ magnétique nul, telle qu'elle est fournie par le dispositif SRM 767 du NBS.

(a) Point d'ébullition sous une pression  $p_0 = 101\,325$  Pa (1 atmosphère normale).

(b) Ce sont les quatre points fixes de définition situés dans la partie basse de l'EIPT-68. Les valeurs des températures attribuées à ces points dans l'EPT-76 sont différentes de celles qui figurent dans l'EIPT-68.

L'expression "hydrogène en équilibre" signifie que l'hydrogène a sa composition ortho-para d'équilibre à la température considérée.

(c) Les deux points du néon s'entendent pour du néon ayant la composition isotopique normale de 2,7 mmol de  $^{21}\text{Ne}$  et 92 mmol de  $^{22}\text{Ne}$  pour 0,905 mol de  $^{20}\text{Ne}$  [3].

TABLEAU II

*Différences entre l'EPT-76 ( $T_{76}$ ) et l'EIPT-68 ( $T_{68}$ )*

$T_{68}$ (K)	$T_{68}-T_{76}$ (mK)	$T_{68}$ (K)	$T_{68}-T_{76}$ (mK)	$T_{68}$ (K)	$T_{68}-T_{76}$ (mK)
13,81	5,6	19,0	7,4	24,5	2,1
14,0	4,6	19,5	7,3	25,0	1,6
14,5	3,0	20,0	6,9	25,5	1,1
15,0	2,0	20,5	6,4	26,0	0,7
15,5	2,2	21,0	5,8	26,5	0,3
16,0	2,6	21,5	5,3	27,0	0,0
16,5	3,6	22,0	4,8	27,1	0,0
17,0	4,6	22,5	4,2	28,0	0,0
17,5	5,6	23,0	3,7	29,0	0,0
18,0	6,5	23,5	3,2	30,0	0,0
18,5	7,2	24,0	2,7		

TABLEAU III

*Différences entre l'EPT-76 ( $T_{76}$ )  
et les échelles à pression de vapeur<sup>6</sup>d'hélium  
("Echelle  $^4\text{He}$  1958" ( $T_{58}$ )  
et "Echelle  $^3\text{He}$  1962" ( $T_{62}$ ))*

$T_{pv}$ (K)	$T_{pv}-T_{76}$ (mK)	$T_{pv}$ (K)	$T_{pv}-T_{76}$ (mK)	$T_{58}$ (K)	$T_{58}-T_{76}$ (mK)
0,5	- 1,9	1,8	- 3,9	3,4	- 6,8
0,6	- 2,1	2,0	- 4,1	3,6	- 7,0
0,8	- 2,5	2,2	- 4,4	3,8	- 7,0
1,0	- 2,9	2,4	- 4,9	4,0	- 7,1
1,2	- 3,2	2,6	- 5,4	4,2	- 7,1
1,4	- 3,5	2,8	- 5,9	4,5	- 7,1
1,6	- 3,7	3,0	- 6,3	5,0	- 7,1
		3,2	- 6,6		

$T_{pv}$  correspond, de 0,5 K à 3,2 K, à une moyenne de  $T_{62}$   
et de  $T_{58}$ .

TABLEAU IV

*Différences entre l'échelle provisoire  
de température de 1965  
du NBS entre 2 et 20 K ( $T_{\text{NBS 2-20}}$ )  
et l'EPT-76 ( $T_{76}$ )*

$T_{\text{NBS 2-20}}^{(a)}$ (K)	$T_{\text{NBS 2-20}} - T_{76}$ (mK)	$T_{\text{NBS 2-20}}^{(a)}$ (K)	$T_{\text{NBS 2-20}} - T_{76}$ (mK)
2,3	2,1	11,0	- 1,0
2,8	- 1,1	12,0	0,2
3,2	1,0	13,0	- 1,8
4,2	2,5	14,0	- 2,2
5,0	3,0	15,0	- 0,6
6,0	1,7	16,0	0,9
7,0	4,8	17,0	1,7
8,0	2,2	18,0	- 0,9
9,0	- 1,5	19,0	- 0,2
10,0	- 2,1	20,0	- 0,8(+7 <sup>(b)</sup> )

(a) Ces températures sont très proches des températures effectives (points acoustiques) auxquelles l'échelle NBS 2-20 est définie.

(b) Avec  $T_{\text{NBS 2-20}}$  telle qu'elle est donnée dans les premiers étalonnages du NBS.

TABLEAU V

*Différences entre les échelles magnétiques de l'ISU,  
du KOL, du NML, de l'IMPR, du NPL,  
l'échelle du thermomètre à gaz NPL-75  
et l'EPT-76*

Les coefficients sont donnés pour la relation

$$T_i - T_{76} = a + bT_i + cT_i^2 + d/T_i,$$

où  $T_i$  représente les températures dans les échelles des différents laboratoires.

Laboratoire	Echelle *	a (10 <sup>-3</sup> K)	b (10 <sup>-3</sup> )	c (10 <sup>-3</sup> /K)	d (10 <sup>-3</sup> K <sup>2</sup> )	Domaine (K)
ISU	T <sub>XAc'</sub>	0	0	0,002 5	0	1,1 à 30
KOL	T <sub>m</sub> (III)	- 8,0	1,5	- 0,041 3	8,3	2 à 27
NML	T <sub>XNML</sub>	- 1,5	0,41	- 0,010 9	0	1,1 à 30
NML	T <sub>MAS</sub>	- 1,5	0,49	- 0,012 5	0	1,1 à 30
IMPR	T <sub>XIMPR</sub>	0	0,51	- 0,012 5	0	4,2 à 27
NPL	T <sub>X1</sub>	0	0	0	0	0,5 à 3,1
NPL	T <sub>NPL-75</sub>	0	0	- 0,005 6	0	2,6 à 27,1

\* Ces échelles sont discutées dans la référence [9].

TABLEAU VI

*Différences entre la version NBS de l'EIPT-68 ( $T_{\text{NBS-68}}$ )  
et l'EPT-76 ( $T_{76}$ )*

$T_{\text{NBS-68}}$ (K)	$T_{\text{NBS-68}} - T_{76}$ (mK)	$T_{\text{NBS-68}}$ (K)	$T_{\text{NBS-68}} - T_{76}$ (mK)	$T_{\text{NBS-68}}$ (K)	$T_{\text{NBS-68}} - T_{76}$ (mK)
13,8	1,7	19,0	4,9	24,5	2,9
14,0	1,8	19,5	4,9	25,0	2,5
14,5	2,1	20,0	4,9	25,5	2,1
15,0	2,0	20,5	4,8	26,0	1,7
15,5	2,2	21,0	4,7	26,5	1,3
16,0	2,4	21,5	4,6	27,0	1,1
16,5	3,0	22,0	4,5	27,5	1,1
17,0	3,5	22,5	4,2	28,0	1,1
17,5	3,9	23,0	4,0	29,0	1,1
18,0	4,4	23,5	3,7	30,0	1,0
18,5	4,8	24,0	3,4		

BIBLIOGRAPHIE

1. BRICKWEDDE (F.G.), VAN DIJK (H.), DURIEUX (M.), CLEMENT (J.R.) and LOGAN (J.K.), *J. Res. NBS*, 64A, 1960, p. 1.
  2. SHERMAN (R.H.), SYDORIAK (S.G.) and ROBERTS (T.R.), *J. Res. NBS*, 68A, 1964, p. 579.
  3. *Comptes rendus des séances de la 15<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures*, 1975, p. A 1 et *Comité Consultatif de Thermométrie*, 10<sup>e</sup> session, 1974, p. A 1. *Metrologia*, 12, 1976, p. 7.
  4. *Comité Consultatif de Thermométrie*, 11<sup>e</sup> session, 1976, p. T 1.
  5. *Procès-Verbaux CIPM*, 44, 1976, p. 11.
  6. TERRIEN (J.), *Metrologia*, 13, 1977, p. 53.
  7. COMPTON (J.P.) and WARD (S.D.), *Temperature Measurement 1975*, Institute of Physics Conference Serie No. 26, Institute of Physics, London, 1975, p. 91. A paraître aussi dans *Metrologia* par WARD (S.D.) and COMPTON (J.P.).
  8. BESLEY (L.M.) and KEMP (W.R.G.), *Metrologia*, 13, 1977, p. 35.
  9. DURIEUX (M.), ASTROV (D.N.), KEMP (W.R.G.) and SWENSON (C.A.), à paraître dans *Metrologia*.
-

---

# RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS

(6<sup>e</sup> Session — 1978)

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par H. JENSEN, Rapporteur  
assisté de H. MOREAU

---

Le Comité Consultatif des Unités (CCU) s'est réuni au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, pour sa 6<sup>e</sup> session ; il a tenu cinq séances les 17, 18 et 19 mai 1978.

Etaient présents :

J. de BOER, Secrétaire du CIPM, président du CCU.

Les délégués des laboratoires et organismes membres :

Commission Electrotechnique Internationale [CEI] :

Comité d'Etudes N° 25 (O. BAGER, Ch. H. PAGE).

Commission Internationale de l'Eclairage [CIE] :

Comité Technique 1.1 (J. TERRIEN).

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (A. ALLISY).

National Bureau of Standards [NBS], Washington (D.T. GOLDMAN).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (A. HORSFIELD).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tokyo (K. MITSUI).

Organisation Internationale de Métrologie Légale  
[OIML] (F. ROTTER).

Organisation Internationale de Normalisation [ISO] :  
Comité Technique 12 (H. JENSEN, Mme V. SIMONSGAARD).  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB],  
Braunschweig (S. GERMAN).

Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée  
[UICPA] : Commission STU (D.R. LIDE, Jr.).

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée  
[UIPPA] : Commission SUN (L. VILLENA).

Les membres nominativement désignés :

P. HONTI, Ancien Vice-Président de l'Office National  
des Mesures, Budapest.

L. VILLENA, Instituto Nacional de Racionalizacion y  
Normalizacion, Madrid.

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités : E.G. RUDBERG, Membre de l'Académie Royale  
des Sciences, Stockholm ; M.L. McGLASHAN, University  
College, London.

Assistaient aussi à la session : T.J. QUINN, sous-  
directeur du BIPM et H. MOREAU (BIPM).

Excusés : Comité d'Etat des Normes du Conseil des  
Ministres de l'U.R.S.S., Moscou ; Conseil National  
de Recherches, Ottawa.

Le *Président* souhaite la bienvenue à tous les membres  
et souligne la présence du nouveau directeur du BIPM, P.  
Giacomo, et celle du directeur honoraire du BIPM, J. Terrien  
qui représente aussi la CIE à ce Comité Consultatif.

Mr Jensen est désigné comme rapporteur et Mr Moreau  
comme secrétaire.

1.- RÉVISION DE LA 3<sup>e</sup> ÉDITION (1977)  
DE LA BROCHURE DU BIPM SUR LE SI  
(voir aussi le point 6)

Avant d'aborder ce point de l'Ordre du jour, le *Président* demande que pour les noms des grandeurs dans les éditions en langues française et anglaise de la brochure du BIPM on suive, en règle générale, les recommandations du Comité ISO/TC 12 qui travaille du reste en liaison avec le Comité d'Etudes N° 25 de la CEI.

1.a). Interprétation du mot "temporaire". - Ce mot figure p. 15 (§ IV.2) et dans le tableau 10 de la brochure du BIPM ; son interprétation a été discutée par le CIPM à sa session de septembre 1977 (Document CCU/78-6).

Après un échange de vues général, le CCU approuve le texte modifié suivant :

IV.2. Unités maintenues temporairement

En raison de la force des usages existants dans certains pays et dans certains domaines, le CIPM (1978) a jugé acceptable que les unités contenues dans le tableau 10 continuent à être utilisées, conjointement avec les unités SI, jusqu'à ce qu'il estime que leur emploi n'est plus nécessaire.

Cependant, ces unités ne doivent pas être introduites là où elles n'ont pas été utilisées jusqu'ici.

TABLEAU 10

*Unités maintenues temporairement  
avec le Système International*

.....

1.b). Unité barn. - Dans sa "Directive du 27 juillet 1976", le Conseil des Communautés Européennes (CEE) a prescrit une date limite (31 janvier 1979) pour l'abandon de cette unité ; cette décision a été discutée par le CIPM en septembre 1977 (Document CCU/78-6) et a donné lieu à l'envoi d'une lettre à la CEE (CCU/78-12).

Plusieurs organisations internationales et organismes nationaux insistent pour le maintien de ce nom spécial d'unité ; l'emploi du mètre carré, avec ou sans préfixes,

n'est pas commode et risquerait d'entraîner des confusions (CCU/78-13).

Après avoir envisagé la possibilité de transférer le barn du tableau 10 au tableau 8 si on ne peut fixer un délai pour son abandon, ou de le supprimer purement et simplement de la brochure, le CCU décide finalement de maintenir cette unité dans le tableau 10 et de supprimer l'indication " $= 100 \text{ fm}^2$ " dans la colonne "Valeur en unité SI".

1.c). "Power density".- L'ISO/TC 12 avait été chargée en 1976 (CCU, 5<sup>e</sup> session, p. U 4, point 4) d'une mission d'information sur le terme anglais "power density" qui est très employé dans le domaine technique pour la grandeur correspondant au terme français "puissance surfacique". Mr *Bager* signale que la CEI emploie le terme "power flux density".

Le *Président* indique que le TC 12 prépare actuellement des recommandations pour l'usage de certains termes généraux, entre autres le mot "density" ("densité"), dans les noms des grandeurs. Si le mot "density" est utilisé, il devrait de préférence se rapporter à une grandeur volumique.

Le CCU décide de ne pas recommander l'usage du terme "power density" qui, en conséquence, ne devrait plus apparaître dans les traductions anglaises officielles de la brochure du BIPM.

Mr *Allisy* fait remarquer que dans le tableau 4 de la brochure, la quatrième grandeur devrait être "flux thermique surfacique" au lieu de "densité de flux thermique". Cette pratique de l'emploi d'adjectifs tels que "surfacique", "massique", "linéique", etc. devrait, dans toute la mesure du possible, être étendue à la langue anglaise. Mr *Terrien* cite à ce sujet un document en anglais de l'UICPA (janvier 1978) où "lineic", "massic" sont utilisés.

Le CCU donne l'autorisation de faire les changements nécessaires dans la brochure sur le SI et recommande au TC 12 de bien contrôler la correspondance des termes français et anglais dans ses publications.

1.d). Grade (gon). - Le CCU confirme sa décision de 1976 (CCU, 5<sup>e</sup> session, p. U 5, point 9) de ne pas inclure cette unité d'angle dans le tableau 8 de la brochure sur le SI.

1.e). Examen de diverses propositions

*Propositions de E. Djakov, membre du CIPM (Documents CCU/78-2 et 3)*

Dioptrie. - La demande d'inclure cette unité dans le tableau 3 n'est pas retenue. La dioptrie, nom spécial pour le mètre à la puissance moins un ( $m^{-1}$ ), n'a pas été jugée d'un usage assez général pour justifier cette inclusion.

Tesla-mètre. - L'inclusion dans le tableau 4 de cette unité pour la grandeur "potentiel vecteur magnétique" n'est pas non plus retenue. Mr *Bager* fait remarquer que ce tableau donne seulement quelques exemples d'unités ; il n'est pas par ailleurs d'accord sur le fait que l'usage exclusif du tesla-mètre soit préférable au weber par mètre.

Bar. - La demande de transfert de cette unité du tableau 10 au tableau 8 n'est pas retenue. La modification apportée au texte du paragraphe IV.2 (voir plus haut le point 1.a) justifie cette décision.

Unités de grandeurs logarithmiques (décibel, phone, etc.). - Le CCU n'estime pas nécessaire d'ajouter un texte concernant ces unités après le tableau 9.

Atmosphère normale. - Le CCU décide de transférer cette "unité" du tableau 10 au tableau 12 (Autres unités généralement déconseillées), en complétant la note comme suit :

"La désignation "atmosphère normale" reste admise pour la pression de référence 101 325 Pa".

Tex. - Cette unité spéciale de masse linéique (1 tex =  $10^{-6}$  kg/m = 1 g/km) n'est utilisée que dans l'industrie textile, et non dans le domaine scientifique. En raison de son emploi limité, son inclusion dans la brochure sur le SI ne s'impose pas.

*Proposition de Ch. H. Page (Documents CCU/78-4 et 5)*

Cette proposition concerne la dimension des unités SI supplémentaires (radian et stéradian) et la modification du

premier alinéa du paragraphe II.3 de la brochure.

Le *Président* n'est pas personnellement d'accord sur cette proposition et il a rédigé une réponse (CCU/78-19) que Mr *Rudberg* considère comme intéressante pour la philosophie du SI.

Mr *Terrien* rappelle l'utilité du radian et du stéradian en photométrie, unités que certains ont demandé de classer dans la catégorie des unités de base. Les noms spéciaux donnés à certaines unités SI proviennent de l'importance de la dimension "angle solide" en photométrie.

Le *Président* ne désire pas ouvrir maintenant une discussion complète sur cette question qui demande réflexion ; il propose en conséquence de reporter la discussion à la prochaine session du CCU.

*Résolution N° 28 (1976) de l'ISO/TC 28 (Document CCU/78-8)*

Cette résolution, transmise par le TC 12, demande que le "centipoise" et le "centistokes" soient officiellement reconnus comme des noms spéciaux pour les sous-multiples des unités SI "pascal-seconde" et "mètre carré par seconde".

Après une discussion au cours de laquelle on fit remarquer que l'industrie pétrolière a pu surestimer les difficultés pour le passage aux unités SI, le CCU a confirmé de nouveau sa position antérieure selon laquelle les unités CGS, telles que le "centipoise" et le "centistokes", ne devraient pas être employées conjointement avec les unités SI. Le CCU ne prend aucune autre décision à ce sujet.

*Proposition du NBS (Document CCU/78-11)*

Considérant la nécessité de limiter les demandes d'incorporation de nouvelles unités dans les tableaux 3, 8 et 10 de la brochure sur le SI afin de conserver la simplicité et la cohérence du SI, le CCU adopte les règles suivantes :

1° Pour être incorporée dans le tableau 3 ou le tableau 8, une unité doit être reconnue comme utile dans plusieurs domaines différents.

2° Excepté de rares cas non encore prévus, aucune nouvelle unité ne doit être ajoutée dans le tableau 10. Au contraire, il faut supprimer des unités du tableau 10 lorsque leur emploi dans les domaines spéciaux qui ont motivé leur incorporation dans le tableau 10 a suffisamment diminué pour rendre cette suppression possible.

Le CCU laisse aux organisations spécialisées, telles que l'ISO/TC 12, la décision quant à l'incorporation dans leurs documents de certaines unités considérées comme étant d'une utilité suffisante dans des domaines particuliers.

1.f). A l'occasion de la discussion du point 5.a et en relation avec le document CCU/77-3 concernant la prolifération des demandes de noms spéciaux pour des unités SI, le CCU décide que dans la prochaine édition de la brochure sur le SI on ajoutera, à la fin du paragraphe I.2 (p. 6) et au paragraphe II.2.1, après le tableau 4 (p. 11), des explications complémentaires soulignant que si chaque grandeur physique a une seule unité SI, l'inverse n'est toutefois pas vrai. Une unité SI peut correspondre à plusieurs grandeurs ; par exemple, l'unité C/kg s'applique à l'exposition et à la charge massique, l'unité J/K à l'entropie et à la capacité thermique, l'unité m<sup>2</sup>/s à la viscosité cinématique et au coefficient de diffusion, etc. En conséquence, le nom de l'unité ne suffit pas pour faire connaître la grandeur considérée ; en particulier, les appareils de mesure devraient porter non seulement l'indication de l'unité de la grandeur mesurée, mais aussi l'indication de la grandeur elle-même.

## 2.- SYMBOLE DU LITRE

Le *Président* rappelle la proposition que le CCU a faite en 1976 (CCU, 5<sup>e</sup> session, p. U 5) en faveur de l'adoption de la lettre "L" pour le symbole du litre, et la décision du CIPM (*Procès-Verbaux CIPM*, 44, 1976, pp. 6-7) de conserver la lettre "l" minuscule avec la possibilité d'utiliser l'abréviation "ltr.", ou le mot "litre" en toutes lettres, lorsqu'il existe un risque de confusion avec le chiffre 1.

Après un échange de vues général au cours duquel MM. *Honti*, *German* et *Rotter* se prononcent pour le maintien du symbole "l" adopté par tous les pays métriques depuis un siècle, et devant la situation créée par quelques pays où la réforme métrique est en cours et qui ont adopté le symbole L, le *Président* suggère de maintenir "l" comme

symbole principal et d'avoir la possibilité d'employer "L" comme second symbole principal ou comme symbole de réserve.

Bien que cette suggestion ne reçoive pas l'assentiment général (Mr *McGlashan* estimant que c'est ouvrir la porte à d'autres abus et Mme *Simonsgaard* se déclarant en faveur d'un symbole unique), et considérant d'autre part que le litre n'est pas une unité SI et que les symboles d'unités ne sont pas immuables, le *Président* soumet finalement au CCU les conclusions suivantes :

- le CCU maintient sa proposition de juin 1976 en faveur de "L" ;
- le CCU demande au CIPM de reconsidérer sa décision de septembre 1976 et, compte tenu des risques de confusion entre la lettre "l" et le chiffre 1 et l'adoption de "L" par certains Etats membres de la Convention du Mètre, d'examiner de nouveau la possibilité d'un changement du symbole du litre ;
- le CCU demande au CIPM d'exposer à la 16<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures en 1979 les arguments qui militent actuellement en faveur d'un changement : soit l'adoption de "L" en remplacement de "l", soit le maintien de "l" comme symbole principal et l'adoption de "L" comme second symbole principal ou comme symbole de réserve.

### 3.- PUISSANCES DE 10

A la suite de l'examen de cette question en 1976 (CCU, 5<sup>e</sup> session, p. U 8), l'ISO/TC 12 avait été chargée de faire une enquête auprès des organisations intéressées sur la manière satisfaisante d'exprimer les puissances de 10.

Mr *Jensen* indique qu'un document a été préparé par Mr *Bager* et qu'un questionnaire sera envoyé prochainement à diverses organisations.

### 4.- CHANGEMENT ÉVENTUEL DE LA DÉFINITION DU MÈTRE

Le *Président* rappelle qu'en 1974 le CCU avait exprimé sa préférence, dans l'éventualité d'un changement de la définition de l'unité de longueur, pour une forme rédactionnelle faisant apparaître les valeurs conventionnelles de la fréquence de l'atome de césium 133 et de la vitesse de la lumière (CCU, 4<sup>e</sup> session, p. U 11).

Une enquête effectuée récemment auprès des membres du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)

(Document CCU/78-17) montre que la question d'un changement de la définition du mètre est considérée comme prématurée par plusieurs laboratoires nationaux ; aucune proposition de changement n'est envisagée pour être soumise à la 16<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures en 1979.

Le CCU prend acte de cette situation et attendra les propositions du CCDM pour se prononcer sur la forme rédactionnelle finale de la future définition du mètre.

#### 5.- UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES ET DES GRANDEURS COMPORTANT UN FACTEUR BIOLOGIQUE

A la demande du CIPM, le CCU examine les Recommandations P 1, P 3 et P 4 (1977) adoptées par le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) à sa 9<sup>e</sup> session, septembre 1977 (Document CCU/77-4).

a) Recommandation P 1 (1977) : Sur les noms des unités comportant un facteur biologique

Mr *Terrien* résume le rapport (Document CCU/77-1) qu'il a préparé à la demande du CCU en 1976. Il conclut en proposant que le watt soit utilisé pour l'unité de toutes les grandeurs comportant un facteur biologique, celles-ci étant définies à partir de leur répartition spectrale d'énergie après pondération par des fonctions d'efficacité analogues à  $V(\lambda)$ .

Le CCU approuve les conclusions de ce rapport ainsi que la Recommandation P 1 (1977).

b) Recommandations P 3 et P 4 (1977) : Définition du lumen ou de la candela

Mr *Terrien* indique que la majorité des membres du CCPR s'est prononcée en faveur de l'adoption du lumen comme unité SI de base en remplacement de la candela, le lumen étant alors défini en fonction du watt (Recommandation P 3). Au CIPM (septembre 1977), une préférence marquée a été donnée à la Recommandation P 4 (maintien de la candela comme unité SI de base avec une définition en fonction du watt).

Mr *German* note qu'avant toute décision en faveur d'un changement de définition de la candela à partir de mesures

radiométriques au lieu de mesures photométriques, il est nécessaire de s'assurer qu'un tel changement de définition n'entraînera pas une détérioration dans l'incertitude des mesures.

Après discussion au cours de laquelle on a fait remarquer qu'il est souhaitable de ne pas modifier trop fréquemment le SI en changeant ses unités de base, et que la suppression de l'unité photométrique parmi les unités SI de base apparaît actuellement prématurée, le CCU se déclare finalement en faveur de la Recommandation P 4 (1977).

#### 6.- NOM DE L'UNITÉ DE LA GRANDEUR "ÉQUIVALENT DE DOSE"

Mr *Allisy* présente le rapport conjoint de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) et de l'International Commission on Radiological Protection (ICRP) sur cette question (Document CCU/77-5).

Il rappelle les anciennes unités utilisées dans le domaine des rayonnements : röntgen pour l'exposition, rad pour la dose absorbée, curie pour l'activité et rem pour l'équivalent de dose ; ces unités incohérentes ont été remplacées, pour les trois premières, par les unités SI coulomb par kilogramme, gray et becquerel.

Le cas de l'équivalent de dose (dose absorbée pondérée) était resté jusqu'ici à l'étude. Après avoir considéré les différentes possibilités qui s'offraient, l'ICRU et l'ICRP ont recommandé de conserver le concept et le nom de cette grandeur et de donner un nom spécial à son unité SI, en remplacement du rem.

Les spécialistes dans le domaine de la protection contre les rayonnements utilisent déjà couramment le "sievert" pour l'unité SI joule par kilogramme. Il est donc difficile d'envisager de prohiber l'emploi de ce nom spécial. Par ailleurs, des pays hésitent à adopter les unités SI gray et coulomb par kilogramme si le "sievert" n'est pas officiellement reconnu.

Le CCU a longuement discuté le rapport de l'ICRU/ICRP. Il a apprécié l'effort fait pour introduire les unités SI dans le domaine des rayonnements ionisants.

L'équivalent de dose et la dose absorbée sont deux grandeurs physiques de même dimension et peuvent par conséquent être exprimées avec la même unité ; pour éviter des confusions, il est indispensable d'indiquer toujours le nom ou le symbole de la grandeur physique en cause.

L'unité SI, le joule par kilogramme, possède déjà un nom spécial (gray) dont l'utilisation est restreinte aux rayonnements ionisants.

Le CCU estime que la prolifération des noms spéciaux représente un danger réel pour le Système International d'Unités et a décidé qu'il faut restreindre, dans toute la mesure du possible, l'adoption de nouveaux noms spéciaux pour les unités SI. Néanmoins, le CCU a noté que dans le domaine restreint de la radioprotection, le nom spécial "sievert" (symbole Sv) est utilisé pour l'unité SI, joule par kilogramme, lorsqu'elle exprime un équivalent de dose ou un indice d'équivalent de dose. En raison des risques que peuvent encourir des êtres humains soumis à des irradiations sous-estimées, le CCU considère qu'il est préférable d'accepter cet usage.

Le CCU décide finalement de recommander au CIPM l'adoption du nom spécial "sievert"\* (symbole Sv) pour l'unité SI joule par kilogramme dans le domaine de la radioprotection (*Recommandation U 1 (1978)*, p. U 15).

Le CCU décide en outre que dans la brochure sur le SI cette unité, ainsi que les unités becquerel et gray actuellement classées dans le tableau 3, seront classées à part, sous un titre spécial, dans un nouveau tableau à la suite du tableau 3. Ces deux tableaux se présenteront ainsi :

TABLEAU 3

(sans changement, sauf suppression des dernières lignes concernant les grandeurs "activité", "dose absorbée", etc. et leurs unités).

---

\* Nom du physicien suédois Rolf Sievert (1896-1966), pionnier dans le domaine des rayonnements ionisants en médecine et de la protection contre les rayonnements.

TABLEAU 3 bis

*Unités SI dérivées ayant des noms spéciaux  
admis pour la sauvegarde de la santé humaine*

Grandeur	Unité SI			
	Nom	Symbole	Expression en d'autres unités SI	Expression en unités SI de base
activité (d'un radionucléide) .....	becquerel	Bq		$s^{-1}$
dose absorbée, énergie communiquée massique, kerma, indice de dose absorbée .....	gray	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
équivalent de dose, indice d'équivalent de dose .....	sievert	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

7.- PROPOSITIONS ET INFORMATIONS DIVERSES

a). Noms spéciaux pour mètre carré et mètre cube.- Le NBS (Documents CCU/78-9 et 10) propose que l'on donne des noms spéciaux aux unités SI de superficie et de volume. Le CCU avait déjà discuté de cette question en 1974 (CCU, 4<sup>e</sup> session, p. U 13).

Après avoir considéré la possibilité d'adopter les noms "quadrus" (symbole qu) pour le mètre carré et "cubus" (symbole cub) pour le mètre cube - ce qui permettrait d'utiliser les préfixes suivant leur signification habituelle, alors qu'avec les noms actuels les exposants 2 et 3 s'appliquent à l'ensemble constitué par l'unité et son préfixe -, le CCU a entendu les opinions pour et contre cette proposition.

Compte tenu de la position qu'il a prise jusqu'ici contre l'adoption de nouveaux noms spéciaux pour des unités SI, le CCU ne s'est pas montré très favorable à un changement et il a estimé préférable de ne pas prendre de décision sur cette question.

b). Proposition de l'U.R.S.S. sur l'emploi du SI.- L'U.R.S.S. a soumis un projet de recommandation pour la fixation des délais d'abandon des unités en dehors du SI, afin de faciliter et d'accélérer le passage universel aux unités SI (Document CCU/78-16).

Sur la proposition du *Président*, le CCU décide de demander au CIPM de considérer ce problème.

c). Informations sur l'adoption des unités SI.- Le document préparé par le BIPM (CCU/78-15) donne quelques informations sur l'emploi des unités SI par plusieurs organisations internationales et dans quelques pays.

Le CCU prend note de ces informations qui n'appellent aucun commentaire.

d). Noms d'unités spéciaux : jansky, katal.- Le CCU est informé de l'adoption par l'Union Astronomique Internationale du nom spécial "jansky" (symbole Jy) pour l'unité de "flux density" en radio-astronomie, avec la valeur  $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$ . Le CCU prend note de cette information et déclare qu'il ne peut envisager d'inclure cette unité non cohérente dans la brochure sur le SI.

Un autre nom spécial d'unité SI, le "katal" (symbole kat) égal à la mole par seconde, est proposé par l'International Federation of Clinical Chemistry pour l'unité d'activité catalytique. Le CCU n'a pas été saisi d'une demande au sujet de ce nom spécial et se contente de prendre simplement note de cette information.

#### RÉSUMÉ DES CONCLUSIONS

- 1.- En ce qui concerne les noms des grandeurs dans la brochure du BIPM sur le SI - et dans ses traductions en langue anglaise -, il a été décidé de suivre, en règle générale, les recommandations de l'ISO/TC 12 (p. U 3).
- 2.- Les unités du tableau 10 (Unités maintenues temporairement avec le SI) peuvent être employées conjointement avec les unités SI jusqu'à ce que le CIPM estime que leur emploi n'est plus nécessaire (p. U 3).
- 3.- L'unité *barn* est maintenue dans le tableau 10 (p. U 3).
- 4.- L'"unité" *atmosphère normale* est transférée du tableau 10 au tableau 12 (Autres unités généralement déconseillées) (p. U 5).

5.- Le CCU souligne que si chaque grandeur physique a une seule unité SI, l'inverse n'est toutefois pas vrai. En conséquence, le nom de l'unité ne suffit pas pour faire connaître la grandeur considérée ; en particulier, les appareils de mesure devraient porter non seulement l'indication de l'unité de la grandeur mesurée, mais aussi l'indication de la grandeur elle-même (p. U 7).

6.- Le CCU réaffirme sa position de 1976 en faveur de l'adoption du symbole "L" pour le *litre* ; il demande au CIPM de proposer à la 16<sup>e</sup> CGPM soit l'adoption de "L" en remplacement du symbole "l" actuel, soit le maintien de "l" comme symbole principal et l'adoption de "L" comme second symbole principal ou comme symbole de réserve (p. U 8).

7.- Le CCU a examiné les Recommandations P 1, 3 et 4 adoptées par le CCPR en 1977. Il estime que la candela doit être maintenue comme unité SI de base jusqu'à ce qu'il apparaisse opportun de supprimer complètement l'unité photométrique des unités SI de base ; il approuve la Recommandation P 4 qui propose de redéfinir la candela en fonction de grandeurs radiométriques.

En ce qui concerne les grandeurs photobiologiques, le CCU considère que ces grandeurs doivent être traitées comme des "moyennes pondérées" et définies clairement de façon qu'elles ne nécessitent pas l'introduction de nouvelles unités (p. U 9).

8.- Le CCU recommande au CIPM que le nom spécial *sievert* (symbole Sv) soit adopté pour l'unité SI "joule par kilogramme" lorsqu'elle exprime un équivalent de dose ou un indice d'équivalent de dose dans le domaine de la radioprotection. Les unités de rayonnement ayant un nom spécial seront classées dans un tableau à part (p. U 10).

9.- Le CCU n'a pas donné suite à la proposition de donner les noms et symboles spéciaux "quadrus (qu)" et "cubus (cub)" aux unités SI de superficie (mètre carré) et de volume (mètre cube) (p. U 12).

10.- Le CCU a pris connaissance d'un projet de recommandation de l'U.R.S.S. pour implanter l'emploi universel du SI, et des informations sur quelques décisions internationales et nationales concernant l'emploi des unités SI et sur deux noms d'unités ("jansky" et "katal") (p. U 13).

\*  
\* \*

A la fin de la dernière séance, Mr *Jensen* remercie le Président au nom de tous les membres pour la conduite des travaux de cette 6<sup>e</sup> session du CCU au cours de laquelle de nombreux problèmes ont pu être discutés et résolus.

(Juin 1978)

R E C O M M A N D A T I O N  
du Comité Consultatif des Unités  
présentée  
au Comité International des Poids et Mesures

Nom spécial pour l'unité SI d'équivalent de dose ou d'indice d'équivalent de dose

RECOMMANDATION U 1 (1978)\*

*Le Comité Consultatif des Unités,*  
considérant

*- l'effort fait pour introduire les unités SI dans le domaine des rayonnements ionisants ;*

*- les risques que peuvent encourir des êtres humains soumis à des irradiations sous-estimées, risques qui pourraient résulter de la confusion entre dose absorbée et équivalent de dose ;*

*- que la prolifération des noms spéciaux représente un danger réel pour le Système International d'Unités et doit être évitée dans toute la mesure du possible, mais que cette règle peut être transgressée lorsqu'il s'agit de sauvegarder la santé humaine ;*

recommande

*- que le nom spécial "sievert" (symbole Sv), égal au joule par kilogramme, soit adopté pour l'unité SI d'équivalent de dose ou d'indice d'équivalent de dose, dans le domaine de la radioprotection.*

---

\* Cette Recommandation a été approuvée par le CIPM à sa 67<sup>e</sup> session (septembre 1978), après suppression du mot "réel" à la deuxième ligne du troisième considérant ; elle fera l'objet d'un projet de résolution qui sera soumis à l'approbation de la 16<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures en octobre 1979.

---

# RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

(15<sup>e</sup> Session — 1978)

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par A. F. DUNN, Rapporteur

---

Le Comité Consultatif d'Electricité (CCE) s'est réuni pour sa quinzième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu quatre séances les mercredi 13 et jeudi 14 septembre 1978.

Étaient présents :

F.J. LEHANY, membre du CIPM, président du CCE.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung  
[ASMW], Berlin (W. SCHLESOK).

Bureau National de Metrologie : Laboratoire Central  
des Industries Electriques [LCIE], Fontenay-aux-Roses  
(Ph. OLMER, J. BLOUET, N. ELNÉKAVÉ, A. FAU).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa  
(A.F. DUNN).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tokyo (H. HIRAYAMA).

Institut de Métrologie D.I. Mendélév  $\bar{\text{e}}$  [IMM], Leningrad  
(N. STOUDETSOV, W. FOMENKO).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris  
[IEN], Turin (E. ARRI).

National Bureau of Standards [NBS], Washington  
(B.N. TAYLOR).

National Measurement Laboratory [NML], Lindfield  
(F.J. LEHANY).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington  
(A.E. BAILEY, C.H. DIX).

National Physical Research Laboratory [NPRL],  
Pretoria (R. TURNER).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braun-  
schweig (H.J. SCHRADER, V. KOSE).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. KAARLS).

Le Directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités : SUNG YUNG-LIN (Institut National de Métrologie,  
Pékin) et KAO CHIEH (Institut National de Métrologie,  
Tchengtu).

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, directeur  
honoraire du BIPM, T.J. QUINN, sous-directeur du BIPM,  
G. LECLERC, T. WITT et D. REYMANN (BIPM).

Absent : Institut National de Métrologie de la Roumanie  
[INM], Bucarest.

Le président du CCE et le directeur du BIPM souhaitent la  
bienvenue aux participants, puis l'ordre du jour qui avait été  
envoyé aux membres le 29 mai 1978 est adopté après l'adjonc-  
tion des deux points suivants :

- examen du rapport du Groupe de travail pour les Grandeurs  
aux radiofréquences ;
- examen du programme de travail du BIPM pour les années  
1980-1984 ; extension des types de comparaisons inter-  
nationales à effectuer sous les auspices du BIPM.

Mr Dunn est nommé rapporteur.

#### 1. RÉALISATIONS DES UNITÉS ÉLECTRIQUES SI

(Documents CCE/78-3, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 28, 30, 32 et 34)

Le CCE enregistre les progrès obtenus par les labora-  
toires dans la réalisation des unités électriques SI.

Mr Stouđentsov propose que l'on entreprenne des travaux  
pour améliorer l'exactitude des valeurs attribuées aux const-  
tantes physiques fondamentales et que, lors de sa prochaine  
session, le CCE déduise des valeurs de ces constantes celle  
du rapport fréquence/tension que l'on utilise lorsqu'on met en  
oeuvre l'effet Josephson pour conserver le volt.

Le *Président* fait remarquer qu'il n'existe pas de méthode unique pour déterminer les constantes physiques fondamentales et réaliser les unités électriques SI. Mais ces grandeurs sont liées par des lois physiques ; leurs valeurs doivent par conséquent être cohérentes dans les limites des incertitudes admises.

On ne devra modifier la valeur conventionnelle (483 594,0 GHz/V) recommandée par le CCE en 1975 (Recommandation E 2 (1975)) que lorsque les incertitudes des résultats expérimentaux seront devenues beaucoup plus faibles que le changement proposé.

Le CCE confirme donc sa Recommandation E 3 (1975) et adopte la *Recommandation* E 1 (1978).

## 2. EXACTITUDE ET PRÉCISION DES REPRÉSENTATIONS DE L'OHM ET DU VOLT CONSERVÉES PAR LES GRANDS LABORATOIRES NATIONAUX

Ayant pris connaissance du document CCE/78-22, le CCE a brièvement discuté la question de l'estimation des incertitudes de mesure.

Etant donné que le CIPM a créé en 1977 un Groupe de travail chargé d'étudier cette question, le CCE décide de lui soumettre le document CCE/78-4 ; mais, provisoirement, en attendant les conclusions du Groupe de travail et pour obtenir sans délais l'uniformité souhaitée dans la manière d'exprimer les incertitudes, le CCE adopte la *Recommandation* E 2 (1978).

## 3. EXACTITUDE DES REPRÉSENTATIONS DE L'OHM ET DU VOLT CONSERVÉES PAR LE BIPM

Le CCE examine les résultats contenus dans les documents 78-21 (conservation du volt) et 78-23 (exactitude de la représentation de l'ohm).

Mr *Dix* commente le rapport du NPL sur l'estimation de la valeur en unité SI de la représentation de l'ohm conservée au BIPM (document 78-38) ; il conclut que les résultats contenus dans ce rapport sont en bon accord avec ceux du BIPM.

4. COMPARAISONS INTERNATIONALES  
DES REPRÉSENTATIONS DE L'OHM ET DU VOLT ;  
AMÉLIORATION DES ÉTALONS DE TRANSFERT

Le CCE est d'avis qu'il n'est pas utile, actuellement, de rétablir les grandes comparaisons périodiques des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice interrompues après les comparaisons de 1973 ; il laisse à l'initiative du BIPM le soin d'organiser les comparaisons restreintes qui lui sembleront nécessaires.

La précision des comparaisons étant surtout limitée par le comportement des étalons de transfert, des études sont en cours dans plusieurs laboratoires pour améliorer les performances de ces étalons.

5. COMPARAISON INTERNATIONALE DES ÉTALONS  
DE CAPACITÉ DE 10 pF  
(Documents CCE/78-5, 8 et 24)

La seconde comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF est terminée. A la demande de la plupart des membres du CCE une troisième comparaison sera organisée. Les laboratoires suivants ont demandé à y participer : ASMW, IEN, INM, LCIE, NPRL, NRC, PTB et VSL. Le NBS a accepté de continuer à être le laboratoire pilote de la comparaison.

6. ÉTALONS DE TRANSFERT  
COURANT CONTINU - COURANT ALTERNATIF  
(Document CCE/78-2 bis)

La première comparaison internationale d'étalons de transfert courant continu - courant alternatif est terminée ; l'accord entre les résultats obtenus par les différents laboratoires est très satisfaisant (environ  $1 \times 10^{-5}$ ). Le CCE considère que la comparaison de ces instruments de transfert présente beaucoup d'intérêt et décide l'organisation d'une seconde comparaison, à des fréquences comprises entre 40 Hz et 1 MHz. Le VSL sera le laboratoire pilote de cette seconde comparaison à laquelle ont décidé de participer l'ASMW, l'IEN, l'IMM, le LCIE, le NPRL, le NRC et la PTB.

## 7. COMPARAISONS INTERNATIONALES D'ÉTALONS D'INDUCTANCE ET D'INSTRUMENTS DE MESURE DES PUISSANCES À BASSE FRÉQUENCE

La PTB propose d'être le laboratoire pilote d'une comparaison d'instruments de mesure des puissances à basse fréquence (50 ou 60 Hz) ; les laboratoires suivants envisagent d'y participer : IEN, LCIE, NBS, NPL, NRC et VSL.

Plusieurs membres du CCE ayant jugé intéressante la comparaison d'étalons d'inductance propre (10 mH, à la fréquence de 1592 Hz), la PTB offre d'être le laboratoire pilote d'une telle comparaison. L'IMM fournira l'étalon de transfert. Les laboratoires suivants participeront à la comparaison : ASMW, IEN, IMM, NIM (Rép. Pop. de Chine) et VSL.

## 8. RELATIONS AVEC L'OIML ET D'AUTRES ORGANISATIONS

Le CCE examine la question du recouvrement possible des activités du BIPM et des Comités Consultatifs du CIPM et des activités de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) ou d'autres organisations concernées par l'uniformisation des étalons électriques. Après discussion, il adopte la *Recommandation E 3* (1978).

## 9. INFORMATION SUR L'ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU GROUPE DE TRAVAIL DU CIPM SUR L'EXPRESSION DES INCERTITUDES

Mr *Giacomo* signale qu'une première enquête sur la manière d'estimer et d'exprimer les incertitudes de mesure a été effectuée par le BIPM. Le nombre et la diversité des opinions reçues attestent l'importance du problème et les difficultés que présente sa solution. Une seconde enquête sur des points précis va maintenant être entreprise.

## 10. RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES

(Document CCE/78-26)

Mr *Bailey* présente le rapport de ce Groupe de travail qui s'est réuni les 25, 26 et 27 juillet 1978 (voir p. E 9).

Le CCE approuve le programme de comparaisons présenté dans le rapport et remercie le Groupe pour le travail qu'il a effectué.

## 11. PROGRAMME DE TRAVAIL DU BIPM

Mr *Giacomo* commente le programme contenu dans le document CCE/78-27.

Le CCE discute ce programme et souhaite y ajouter les points suivants :

- Le BIPM doit entreprendre la mesure de condensateurs de 10 pF.
- Avec l'assistance de laboratoires membres du CCE, le BIPM doit s'équiper pour pouvoir effectuer la mesure des étalons de transfert courant continu - courant alternatif.
- A plus long terme et avec l'appui des laboratoires membres du CCE, le BIPM doit acquérir un condensateur calculable puis l'équipement permettant de réaliser l'unité SI de résistance.

Le CCE remarque que les demandes de comparaisons internationales adressées au CCE et au Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences sont déjà importantes et augmentent rapidement. Cette augmentation entraînera un accroissement inévitable de l'effort du BIPM pour assurer la bonne marche des comparaisons.

Beaucoup de laboratoires et d'organisations considèrent ces comparaisons internationales comme un précieux moyen d'assurer l'uniformité internationale.

Le CCE estime que tous les Etats membres de la Convention du Mètre peuvent participer aux comparaisons et que le BIPM doit être capable d'assurer avec succès les services souhaités par ces Etats.

## 11. QUESTIONS DIVERSES

Mr *Giacomo* attire l'attention des membres du CCE sur le problème du franchissement des frontières par les étalons voyageurs.

Le procédé le plus commode et le plus rapide consiste à utiliser un carnet ATA (carnet de passage en douane pour l'admission temporaire) délivré par une chambre de commerce. Il faut cependant respecter scrupuleusement le mode d'emploi d'un tel carnet ; en particulier, il est impératif de le faire viser par les autorités douanières au moment de la réexportation.

Le *Président* remercie les membres du CCE de leur active et fructueuse collaboration ; puis Mr Terrien se fait l'interprète de ses collègues pour remercier à son tour le *Président* pour la façon aussi aimable qu'efficace avec laquelle il a dirigé les travaux de la 15<sup>e</sup> session du CCE.

(16 septembre 1978)

R E C O M M A N D A T I O N S  
du Comité Consultatif d'Electricité  
présentées  
au Comité International des Poids et Mesures

Réalisation des unités électriques SI

RECOMMANDATION E 1 (1978)\*

*Le Comité Consultatif d'Electricité,*  
considérant

- *l'importance pour toutes les applications des mesures électriques d'une réalisation plus exacte des unités SI, en particulier du volt et de l'ampère,*
- *les progrès récents accomplis dans ces réalisations, soit par des méthodes directes, soit indirectement par des déterminations de constantes physiques,*
- *les divergences qui subsistent entre les résultats donnés par ces différentes méthodes,*
- *la nécessité de pouvoir comparer des réalisations indépendantes entre elles pour élucider l'origine de ces divergences,*
- *l'amélioration de l'exactitude que l'on obtiendra dès qu'une meilleure cohérence permettra de fixer des valeurs plus exactes pour les différentes réalisations de ces unités,*

confirme sa Recommandation E 3 (1975) de poursuivre et d'intensifier les recherches sur la réalisation directe des unités électriques aussi bien que sur leur réalisation indirecte par des déterminations de constantes physiques.

---

\* Cette Recommandation a été approuvée par le CIPM à sa 67<sup>e</sup> session (septembre 1978). La Recommandation E 1 (1978) fera en outre l'objet d'un projet de résolution qui sera soumis à l'approbation de la 16<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures en octobre 1979.

Expression des incertitudes dans les comparaisons internationales

RECOMMANDATION E 2 (1978)\*

*Le Comité Consultatif d'Electricité,*

*considérant*

*- l'impossibilité de comparer entre elles les estimations de l'incertitude données par les différents laboratoires, lors des comparaisons internationales, en raison de la diversité des règles utilisées pour exprimer ces estimations,*

*- la difficulté d'établir de telles règles sur des bases indiscutables,*

*- l'étude en cours entreprise par le Groupe de travail créé par le Comité International des Poids et Mesures, mais aussi la nécessité urgente d'utiliser à l'intérieur de chaque comparaison, une règle uniforme pour l'expression des incertitudes,*

*recommande jusqu'à ce que les conclusions du Groupe de travail soient connues, que le Bureau International des Poids et Mesures fixe, pour chaque comparaison dont il a la responsabilité, une règle conventionnelle commune pour l'expression des incertitudes.*

Uniformité des étalons primaires nationaux : liaison avec l'OIML

RECOMMANDATION E 3 (1978)

*Le Comité Consultatif d'Electricité,*

*considérant*

*- que l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) a établi un secrétariat chargé de s'occuper de l'uniformité des étalons primaires nationaux utilisés pour la vérification des instruments de mesures électriques,*

*- la possibilité de recouvrement des activités de tels secrétariats avec les activités du Bureau International des Poids et Mesures et des Comités Consultatifs,*

*- que c'est le rôle des organismes de la Convention du Mètre d'assurer l'uniformité des étalons primaires nationaux,*

*recommande que le Comité International des Poids et Mesures prenne connaissance de cette situation et fasse en sorte que la liaison avec l'OIML soit suffisante pour éviter les recouvrements.*

A P P E N D I C E

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL  
POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 25, 26 et 27 juillet 1978.

Etaient présents : Mr A.E. BAILEY (NPL), président ; MM. C. McKay ALLRED (NBS, Boulder), H.M. ALTSCHULER (NBS, Washington ; représentant aussi l'URSI), H. BAYER (PTB), R.F. CLARK (NRC), C.R. DITCHFIELD (RSRE), L. ERARD (LCIE), G. RIETTO (IEN), W. SCHLESOK (ASMW), P.I. SOMLO (NML).

Assistaient aussi à la réunion : MM. P. GIACOMO, directeur du BIPM ; T.J. QUINN, G. LECLERC et D. REYMANN (BIPM).

Excusé : R. ISHIGE (ETL).

Absents : les représentants de l'IMM et de l'IRT<sup>(1)</sup>.

Le président du Groupe et le directeur du BIPM souhaitent la bienvenue aux participants, puis l'ordre du jour qui avait été envoyé aux membres le 28 février 1978 est adopté.

L. Erard est nommé rapporteur.

1. ACTIVITÉS DU GROUPE DE TRAVAIL

1.1. *Comparaisons dans le domaine des ultrasons*

Le Groupe de travail est d'accord pour s'intéresser aux comparaisons de mesures de puissance d'un faisceau ultrasonore tant qu'il n'apparaîtra pas nécessaire de créer un Groupe de travail distinct.

1.2. *Comparaisons des puissances et énergies laser*

Le Groupe de travail continuera à s'occuper des comparaisons des puissances et énergies laser dans la mesure où cette activité n'interférera pas avec celles d'autres Comités Consultatifs.

1.3. *Mesures relatives aux impulsions*

Le Groupe de travail souhaite continuer à s'intéresser à ces mesures.

1.4. *Publication des résultats*

Désirant donner une large diffusion aux résultats des comparaisons, le Groupe de travail confirme sa recommandation GT-RF 7 de 1968 (CCE, 12<sup>e</sup> session, 1968, p. E 23). Il précise que chaque participant peut, après avoir reçu l'accord du laboratoire pilote, publier dans sa propre langue les résultats de la comparaison lorsque le rapport final a été approuvé.

---

(1) La signification des sigles utilisés pour désigner les laboratoires est donnée à la fin du tableau III.

## 2. COMPARAISONS INTERNATIONALES TERMINÉES DEPUIS LA DERNIÈRE RÉUNION (MAI 1975) DU GROUPE DE TRAVAIL

Cinq comparaisons sont terminées : elles sont détaillées au Tableau I.

## 3. ÉTAT D'AVANCEMENT DES COMPARAISONS EN COURS

Le résumé de l'état d'avancement des comparaisons organisées en 1972 et 1975 est donné dans le Tableau II.

## 4. NOUVELLES COMPARAISONS

Les nouvelles comparaisons approuvées par le Groupe de travail sont indiquées dans le Tableau III ; la liste des participants à chaque comparaison n'étant ni limitative ni close, tous les laboratoires intéressés sont invités à y prendre part.

## 5. QUESTIONS DIVERSES

### 5.1. *Organisation des comparaisons*

Le Groupe de travail a discuté les principes généraux selon lesquels les futures comparaisons devront être conduites, le rôle des laboratoires pilotes et la forme de présentation des résultats. A cette occasion il a noté la création, par le CIPM, d'un Groupe de travail "sur l'expression des incertitudes de mesure", et remarqué que cela aurait sans doute des conséquences pour lui dans l'avenir.

Le Groupe de travail a décidé d'établir un "guide pour l'organisation des comparaisons" qui contiendra les instructions utiles au bon déroulement des mesures, à savoir :

a) Avant d'entreprendre la comparaison le laboratoire pilote convient avec les autres participants des mesures à faire, du calendrier à respecter et des étalons de transfert à utiliser.

b) Les laboratoires participants doivent faire connaître à l'avance au laboratoire pilote le nom et l'adresse du responsable de la comparaison en ce qui concerne leur laboratoire.

c) Les laboratoires participants doivent informer rapidement le laboratoire pilote des dates d'arrivée et de départ des étalons de transfert ; ils doivent également lui transmettre sans retard les résultats de leurs mesures.

Chaque participant peut exprimer ses résultats sous la forme qui lui convient le mieux ; mais chaque rapport doit néanmoins contenir au moins l'écart-type des erreurs aléatoires, une estimation de l'incertitude systématique et le nombre des mesures effectuées.

d) Le laboratoire pilote doit préparer, à l'occasion de chaque réunion du Groupe de travail, un rapport sur l'état d'avancement de la comparaison. Le moment venu il rédige le rapport final complet et le résumé de ce rapport final destiné aux comptes rendus des travaux du CCE.

Afin de donner au rapport final qui contient les détails techniques des mesures une large diffusion il est recommandé, ainsi qu'il a été dit au paragraphe 1.4. ci-dessus, de le publier dans un journal scientifique.

e) La numérotation des comparaisons qui figure dans les tableaux du présent rapport doit être utilisée comme référence dans toutes les correspondances entre les laboratoires et avec le Groupe de travail.

Le président du Groupe de travail et le directeur du BIPM prépareront un projet de "guide" qui sera prochainement soumis aux membres du Groupe de travail.

5.2. *Utilité des comparaisons internationales*

Au cours d'un large tour d'horizon sur le sujet, les trois points suivants sont mis en relief :

- Les comparaisons internationales sont un facteur d'amélioration des techniques de mesure.

- Elles permettent de déterminer le niveau de précision atteint actuellement sur le plan international.

- Les résultats obtenus justifient les investissements faits par les laboratoires.

5.3. *Liaison avec l'URSI*

Le Groupe de travail confie à Mr Altschuler le soin de rapporter les résultats de ses travaux à la Commission I de l'URSI.

5.4. *Date de la prochaine réunion*

Le Groupe de travail souhaite tenir sa prochaine réunion en 1981 dans les jours qui précéderont celle du CCE.

(27 juillet 1978)

*Le Rapporteur,*

L. ERARD

*Le Président,*

A.E. BAILEY

TABLEAU I

COMPARAISONS TERMINÉES DEPUIS LA DERNIÈRE RÉUNION (MAI 1975)  
DU GROUPE DE TRAVAIL

Comparaison N°	Participants *	Observations
72-3 <i>Tension sur coaxial à la fréquence de 1 MHz</i>	<u>NPL</u> ASMW, EQD, IEN, NBS, NML, OMH, PTB	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-8.
72-9 <i>Affaiblissement aux basses valeurs à la fréquence de 10 GHz</i>	<u>PTB</u> IEN, OMH, NML, RIND, RSRE	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-10.
72-10 <i>Affaiblissement à 30 MHz</i>	<u>NML</u> ETL, RIND, NBS, NPL, NRC, OMH, PTB	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-11. Les étalons de transfert du NML sont à la disposition des laboratoires qui désireraient effectuer des mesures complémentaires.
72-12 <i>Bruit blanc à basse température (77 K) à la fréquence de 4,1 GHz sur guide d'ondes</i>	<u>RSRE</u> <u>ETL</u>	Les mesures ont été effectuées par les deux laboratoires, mais les résultats n'ont pas encore été complètement analysés. Le RSRE a présenté verbalement le compte rendu de la comparaison ; le rapport définitif sera communiqué prochainement aux membres du Groupe de travail.
72-13 <i>Puissance laser à ondes entretenues (a), laser He-Ne de longueur d'onde 633 nm</i>	<u>ETL</u> NBS, NPL, PTB	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-12.

\* Le nom du laboratoire pilote est souligné.

TABLEAU II

COMPARAISON EN COURS

1. Comparaisons prévues en 1972

Comparaison N°	Participants *	Observations
72-1 <i>Déphasage sur guide d'ondes R 100, aux fréquences 9,0, 10,0 et 11,2 GHz</i>	<u>NBS</u> ETL, IEN, NML, NRC, RSRE	Cinq laboratoires ont terminé leurs mesures (document GT-RF/78-2).
72-2 <i>Affaiblissement à la fréquence de 7,0 GHz, en coaxial</i>	<u>NPL</u> IEN, NBS, PTB	Les étalons de transfert ont été mesurés par tous les participants et ont été renvoyés au NPL. Le rapport final sera prochainement publié. Un rapport provisoire est donné dans le document GT-RF/78-7.
72-4 <i>Puissance sur guide d'ondes, R 620 ou R 740, à 65 GHz</i>	<u>NPL</u> <u>NBS</u>	Le NPL n'a pas encore terminé l'évaluation de son calorimètre à 65 GHz. On espère que la comparaison débutera en 1979 (document GT-RF/78-7).
72-5 <i>Puissance sur guide d'ondes à la fréquence de 35 GHz</i>	<u>NRC</u> ETL, NBS, RSRE	Le NBS et le RSRE ont terminé leurs mesures ; l'ETL devrait terminer les siennes prochainement. Les étalons de transfert seront ensuite retournés au NRC pour les dernières mesures ; le rapport final sera alors publié (document GT-RF/78-3). L'EQD participera, non officiellement, à cette comparaison.
72-6 <i>Puissance sur coaxial, à la fréquence de 6 GHz</i>	<u>NBS</u> NML, NPL, LCIE, IEN, RIND, NRC, PTB, OMH	Sept laboratoires ont terminé leurs mesures (document GT-RF/78-2).
72-7 <i>Champ électrique à la fréquence de 100 MHz</i>	<u>NBS</u> IEN, FTZ, UTW	Les mesures restent à faire par un laboratoire (document GT-RF/78-2).

72-8	<i>Gain d'un cornet à la fréquence de 10 GHz</i>	<u>IRT</u> NBS, IEN, NRC	La comparaison n'a pas encore commencé ; aucune information n'est parvenue au Groupe de travail. L'avenir de cette comparaison sera déterminé par correspondance.
72-11	<i>Puissance surfacique à la fréquence de 2,45 GHz</i>	<u>NML</u> BRH, IEN, NBS, NPL, RIND	Environ la moitié des mesures ont été effectuées (document GT-RF/78-9).
72-13	<i>Puissance laser à ondes entretenues (b) laser Ar<sup>+</sup> de longueurs d'onde 488 et 515 nm</i>	<u>ETL</u> NBS, PTB	Les mesures viennent de commencer (document GT-RF/78-13). Le NPL a décidé de se retirer de cette comparaison.
<i>2. Comparaisons prévues en 1975</i>			
<i>A. Comparaisons projetées</i>			
75-A1	<i>Puissance à 15,0 GHz : efficacité de montures bolométriques sur guide d'ondes</i>	<u>PTB</u> IEN, LCIE, NBS, NRC, RSRE	La comparaison doit commencer prochainement (document GT-RF/78-1).
75-A2	<i>Puissance à 15,0 GHz : facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif - monture bolométrique</i>	<u>PTB</u> NBS	(Document GT-RF/78-1) ; cette comparaison a été annulée.
75-A3	<i>Affaiblissement à 15,0 GHz sur guide d'ondes</i>	<u>PTB</u> IEN, NBS, RSRE, OMH	La comparaison commencera dès que le choix des étalons de transfert aura été fait (document GT-RF/78-1).
75-A4	<i>Coefficient de réflexion à 300 et 3000 MHz sur ligne coaxiale 50 Ω</i>	<u>PTB</u> NML, NRC, RSRE, NBS <sup>+</sup> , ETL	Cette comparaison doit commencer en 1979 (document GT-RF/78-1). Le NBS confirmera sa décision au milieu de l'année 1979. Les participants sont prêts à accepter que l'on retarde le début de cette comparaison.
75-A5	<i>Tension sur ligne coaxiale 50 Ω ; 1 V ; 100, 250, 500 et 1000 MHz</i>	<u>PTB</u> NBS, NML, EQD, ASMW, IMM, OMH	Le LCIE s'est retiré de cette comparaison qui suit son cours (document GT-RF/78-1).

75-A6	<i>Tension sur ligne coaxiale 50 <math>\Omega</math> ; 100 V ; 30 MHz</i>	<u>PTB</u> <u>NBS</u>	Cette comparaison commencera en 1979 comme prévu (document GT-RF/78-1).
75-A7	<i>Tension sur ligne coaxiale 50 <math>\Omega</math> ; 1 mV ; 30 MHz</i>	<u>PTB</u> NBS, NML	Cette comparaison commencera en 1980 (document GT-RF/78-1).
75-A8	<i>Puissance de bruit à 30 MHz</i>	<u>NML</u> NBS, RSRE <sup>+</sup>	Les mesures devraient commencer prochainement (document GT-RF/78-9).
75-A9	<i>Affaiblissement à 35 GHz</i>	<u>RSRE</u> NRC, NBS	Le NML s'est retiré de cette comparaison qui progresse lentement (document GT-RF/78-5).
75-A10	<i>Affaiblissement à 70 GHz</i>	<u>NPL</u> NBS, ETL <sup>+</sup>	Les étalons de transfert ont été réalisés et les mesures devraient commencer prochainement. L'ETL n'a pas encore confirmé sa participation (document GT-RF/78-7).
75-A11	<i>Puissance sur ligne coaxiale entre 12 et 18 GHz : efficacité de montures bolométriques équipées de connecteurs APC-7</i>	<u>NBS</u> IEN, LCIE, PTB, NML <sup>+</sup> , NRC <sup>+</sup>	Le NPL s'est retiré de cette comparaison qui devrait commencer en 1979. Le NRC préférerait que les mesures soient faites à différentes fréquences ; le laboratoire pilote n'a proposé que la fréquence 17 GHz (document GT-RF/78-2).
75-A12	<i>Coefficient de réflexion à 10 GHz (en module)</i>	<u>RSRE</u> ETL, IEN, NBS, NML, NRC	La comparaison progresse lentement (document GT-RF/78-5).
75-A13	<i>Amplitude spectrale d'impulsions</i>	<u>NBS</u> <u>IEN<sup>+</sup></u>	L'IEN confirmera sa participation.
75-A14	<i>Affaiblissement à 300 MHz sur ligne coaxiale 75 <math>\Omega</math> (connecteur GR 900)</i>	<u>PTB</u> <u>NPL</u>	Cette comparaison pourrait débiter dans quelques mois si d'autres laboratoires s'y intéressaient (document GT-RF/78-1).

B. Comparaisons qui n'avaient pas de laboratoire pilote

75-B1 *Puissance à 30 MHz ; facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif - monture bolométrique* Participants possibles : NBS, NML, PTB.  
En suspens (document GT-RF/78-2).

---

75-B2 *Puissance à 7 GHz ; facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif - monture bolométrique* Participants possibles : NBS, NML, PTB, RSRE.  
En suspens.

---

75-B3 *Coefficient de réflexion à 1 GHz sur ligne coaxiale 75 Ω* Participants possibles : NRC, PTB, NPL, NML<sup>†</sup>.  
Le NRC envisage de prendre l'initiative de cette comparaison et d'en être le laboratoire pilote.

---

75-B4 *Coefficient de réflexion à 1 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω* Comparaison abandonnée.

---

C. Comparaisons pour lesquelles un seul laboratoire avait alors marqué de l'intérêt

75-C1 *Puissance de bruit de 1 à 4 GHz sur ligne coaxiale 50 Ω* Comparaison abandonnée.

---

75-C2 *Temps de retard d'impulsions sur ligne coaxiale 50 Ω* NBS  
NPL

---

75-C3 *Temps de montée d'impulsions sur ligne coaxiale 50 Ω* NBS  
NPL

---

\* Le nom du laboratoire pilote est souligné.

† Sous réserve de confirmation.

TABEAU III

COMPARAISONS PROJÉTÉES

Comparaison N°	Parti- cipants *	Commencement	Observations
78-1 <i>Affaiblissement (100 dB) à 30 MHz sur ligne coaxiale 50 Ω</i>	PTB NPL <sup>+</sup>	1980	Après que la PTB aura fait une enquête sur la participation éventuelle d'autres laboratoires.
78-2 <i>Puissance (10 mW) à 500 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω (connecteur GR 900)</i>	NRC PTB, LCIE <sup>+</sup>	1980	
78-3 <i>Amplitude du coefficient de réflexion sur guide d'ondes R 100 à 10 GHz, 0,2 &lt; Γ  &lt; 0,8</i>	NML <sup>+</sup> PTB	Pas avant 1981	
78-4 <i>Puissance de bruit sur guide d'ondes R 84</i>	NBS	1979 ?	La participation d'autres laboratoires est souhaitée.
78-5 <i>Gain d'un cornet et taux de polarisation transversale entre 4 et 60 GHz (fréquence préférentielle : 10 GHz)</i>	NBS IEN <sup>+</sup> , NPL <sup>+</sup> , NML <sup>+</sup> , NRC <sup>+</sup> , ETL(1)		Suite de la comparaison 72-8.
78-6 <i>Diagramme d'antenne à 10 GHz</i>	NBS IEN <sup>+</sup> , NRC <sup>+</sup>		
78-7 <i>Puissance laser à ondes entretenues (10,6 μm)</i>	NBS NPL, PTB		Niveau de puissance à confirmer. L'ETL sera invité à participer à cette comparaison.
78-8 <i>Puissance de crête laser (10,6 μm)</i>	NBS NPL, NRC <sup>+</sup> , PTB <sup>+</sup>		L'ETL sera invité à participer à cette comparaison.
78-9 <i>Energie laser (1,06 μm)</i>	NBS NPL <sup>+</sup> , PTB <sup>+</sup>		L'ETL sera invité à participer à cette comparaison.
78-10 <i>Puissance surfacique à 10 GHz</i>	NPL <sup>+</sup> NML <sup>+</sup> , NBS <sup>+</sup> , IEN <sup>+</sup>	Après 1980	

78-11	<i>Impédance sur une ligne coaxiale à 100 MHz (connecteur GR 900)</i>	<u>RSRE</u> PTB <sup>+</sup> , NBS <sup>+</sup> , NML <sup>+</sup>	1981
78-12	<i>Coefficient de sur-tension à 10 GHz (1000 &lt; Q &lt; 10000)</i>	<u>NML</u> NPL <sup>+</sup> , IEN <sup>+</sup> , PTB <sup>+</sup>	
78-13	<i>Puissance de bruit sur guide d'ondes R 100</i>	<u>RSRE</u> LCIE, NML, NBS <sup>+</sup> , ETL <sup>(1)</sup>	
78-14	<i>Puissance (1 mW) à 50 MHz sur ligne coaxiale</i>	<u>NRC</u> PTB, NPL <sup>+</sup> , NBS <sup>+</sup> , LCIE <sup>+</sup>	
78-15	<i>Puissance d'un faisceau ultrasonore (2 et 5 MHz)</i>	<u>NBS</u> RPB, UI, BRH, NRC, NPL, PTB	Un rapport partiel sur cette comparaison, jusqu'à présent non officielle, est contenu dans le document GT-RF/78-2.

\* Le nom du laboratoire pilote est souligné.

+ Sous réserve de confirmation.

(1) Par lettre du 1<sup>er</sup> septembre 1978, l'ETL a fait connaître au BIPM son désir de participer à cette comparaison.

Identification des laboratoires :

ASMW, Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. Dém. Allemande).  
BRH, Bureau of Radiological Health (Etats-Unis d'Amérique).  
EQD, Electrical Quality Assurance Directorate, Bromley (Royaume-Uni).  
FTZ, Fernmelde Technische Zentral Amt, Darmstadt (Rép. Féd. d'Allemagne).  
IEN, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie).  
IMM, Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad (U.R.S.S.).  
IMPR, Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou (U.R.S.S.).  
IRT, Institut de Recherches des Télécommunications, Budapest (Hongrie).  
LCIE, Laboratoire Central des Industries Electriques, Fontenay-aux-Roses (France).  
NBS, National Bureau of Standards, Washington (Etats-Unis d'Amérique).  
NML, National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie).  
NPL, National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni).  
NRC, Conseil National de Recherches, Ottawa (Canada).  
OMH, Office National des Mesures, Budapest (Hongrie).  
PTB, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Rép. Féd. d'Allemagne).  
RIND, Institut de Recherches de la Défense, Stockholm (Suède).  
RPB, Radiation Protection Bureau (Canada).  
RSRE, (ancien RRE), Royal Signals and Radar Establishment, Malvern (Royaume-Uni).  
UI, Ultrasonics Institute (Australie).  
UTW, Université Technique de Wroclaw (Pologne).

## ANNEXE

---

### **État d'avancement des études sur les lasers asservis et définition du mètre**

Rapport du BIPM d'après les réponses à deux questionnaires  
envoyés le 28 octobre 1977 et le 3 mars 1978  
aux membres du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)

---

Sur les quatorze membres du CCDM consultés, douze (BIPM non compris) ont répondu au questionnaire du 28 octobre 1977, ce qui montre l'intérêt de la consultation.

Depuis 1973, date de la dernière session du CCDM, les travaux ont été poursuivis sur les lasers à hélium-néon asservis sur des raies d'absorption de l'iode ou du méthane pour améliorer leur stabilité et leur reproductibilité : les causes d'élargissement ou de déplacement des profils spectraux ont été systématiquement expérimentées et théoriquement étudiées. Les travaux ont été aussi poursuivis sur les lasers à CO<sub>2</sub>.

Les possibilités d'utilisation d'autres lasers ont été explorées ou confirmées : lasers à argon, à xénon et lasers à colorants dont on peut s'attendre à un usage de plus en plus important ; on étudie aussi les possibilités de nouvelles méthodes : dispersion saturée, résonances de Ramsey, etc.

En ce qui concerne les mesures de longueurs d'onde de lasers, peu de résultats nouveaux sont signalés.

Quelques mesures absolues de fréquence ont été faites, mais il apparaît que peu de laboratoires sont équipés pour ce genre de mesures.

Les mesures de longueur présentent toujours, naturellement, un grand intérêt pratique, mais très peu de résultats de comparaisons internationales sont disponibles.

Enfin, les commentaires, suggestions et réflexions relatifs à la possibilité d'envisager une nouvelle définition du mètre montrent bien sous tous leurs aspects les diverses questions que soulève ce point.

## 1. LASERS À HÉLIUM-NÉON

### 1.1 - Lasers à He-Ne asservis sur $I_2$

1.1.1 - Stabilité. - Le tableau suivant résume les résultats des mesures de stabilité caractérisée par la variance d'Allan  $\langle \sigma^2(2, \tau) \rangle^{1/2}$ , où  $\tau$  est la durée d'un échantillon.

*Stabilité des lasers asservis sur l'iode ( $\lambda = 0,633 \mu\text{m}$ )*

NML *	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = 3,7 \times 10^{-12}, \tau = 100 \text{ s} ; 3 \text{ miroirs, He-}^{20}\text{Ne, }^{129}\text{I} \\ \sigma = 7 \times 10^{-13}, \tau = 100 \text{ s} ; 2 \text{ miroirs, He-}^{20}\text{Ne, }^{127}\text{I }^{129}\text{I} \end{array} \right.$	
NPL	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = 1 \times 10^{-11}, \tau = 1 \text{ s} \\ \sigma = 1 \times 10^{-12}, \tau = 100 \text{ s} \\ \sigma = 5 \times 10^{-13}, \tau = 100 \text{ s} \end{array} \right.$	cellule à $t$ normale cellule à $t = 130 \text{ }^\circ\text{C}$
Shimoda **	$\sigma = 1,1 \times 10^{-11}, \tau = 100 \text{ s}$	
NRLM	$\sigma = 3 \times 10^{-12}, \tau = 50 \text{ à } 200 \text{ s}$	
PTB	$\sigma = 3 \times 10^{-13}, \tau = 1000 \text{ s}$	
NBS	$\sigma = 2 \times 10^{-12}, \tau = 10 \text{ s}$	
IMM	$\sigma = 1,5 \times 10^{-11}, \tau = 10 \text{ s}$	
BIPM	$\sigma = 3 \times 10^{-12}, \tau = 10 \text{ s}$	

\* Le NML donne  $\sigma$  pour 1 laser (en multipliant la variance d'Allan par  $1/2$ ).

\*\* Résultat obtenu au Tokyo Institute of Technology.

Pour comparer ces résultats il faut tenir compte de  $\tau$ , car  $\sigma$  est proportionnel à  $\tau^{-1/2}$  jusqu'à une certaine valeur de  $\tau$  où l'on constate un minimum de  $\sigma$ ; cette valeur de  $\tau$  est d'autant plus grande que la qualité de l'appareillage est meilleure.

La PTB signale que la stabilité est meilleure avec  $^{129}\text{I}_2$  qu'avec  $^{127}\text{I}_2$ .

Des expériences en cours montrent qu'on peut améliorer la stabilité en portant la cuve d'absorption de l'iode à une température de l'ordre de 150 °C en maintenant la pression constante (NPL, NRC, Laboratoire de l'Horloge Atomique (LHA) cité par l'INM).

Au NML, un laser asservi sur une composante de  $^{127}\text{I}^{129}\text{I}$  située à environ 161 MHz vers le bleu de la composante k de  $^{129}\text{I}_2$  a montré une stabilité de  $7 \times 10^{-13}$  (par laser) avec  $\tau = 100$  secondes.

1.1.2 - Reproductibilité. - La reproductibilité de la fréquence de ces lasers a fait l'objet de nombreuses expériences qui ont mis en évidence plusieurs causes pouvant faire varier la fréquence ou élargir le profil spectral de la radiation émise.

- Les réflexions sur les détecteurs peuvent produire, par effets de couplage, des déplacements de l'ordre de quelques dizaines de kilohertz.

- La fréquence asservie est plus élevée de quelques kilohertz si, pour l'asservissement, on utilise le centre du faisceau plutôt que les bords.

- Un défaut d'alignement de l'optique peut produire un déplacement de quelques dizaines de kilohertz.

- L'effet de la pression de l'iode dans la cellule a été étudié pour plusieurs composantes ; les résultats indiquent un déplacement de la fréquence compris entre - 6 et - 8 kHz (soit - 1,2 à -  $1,6 \times 10^{-11}$ ) par pascal. Il semble que l'on puisse extrapoler la valeur de la fréquence à pression nulle avec une exactitude relative de  $\pm 2 \times 10^{-11}$  (PTB). D'autre part, l'élargissement du profil est d'environ 100 kHz par pascal.

- L'effet de l'amplitude de la modulation crête à creux est de l'ordre de - 4,5 à - 13 kHz (soit - 0,9 à -  $2,6 \times 10^{-11}$ ) par mégahertz ; cet effet peut varier d'un laser à l'autre. On a observé une dissymétrie des profils spectraux, visible avec la détection par le 2<sup>e</sup> ou le 3<sup>e</sup> harmonique, qui paraît cohérente avec le signe des déplacements observés.

- On a observé des effets dus à la puissance : des déplacements de la fréquence atteignant 50 kHz pour une variation de la puissance surfacique de 20 à 150 kW/m<sup>2</sup> et aussi, en modifiant la position de la cellule à iode dans la cavité, des déplacements qui dépendent de la puissance surfacique et qui peuvent atteindre 30 kHz (NML). D'autre part, l'élargissement

des profils spectraux mesuré sur les composantes h i j de  $^{127}\text{I}_2$  est d'environ 12 % par milliwatt entre 0,8 et 3,2 mW (NRLM) et, mesuré sur le pic k de  $^{129}\text{I}_2$ , d'environ 10 % lorsque la pression est multipliée par 5 ou 6 dans le domaine de 15 à 125  $\mu\text{W}$  (NBS). L'apparition de pics parasites qui peuvent produire des déplacements jusqu'à 80 kHz a été signalée sur des lasers à  $^{129}\text{I}_2$  ( $^{22}\text{Ne}$ ) lorsque la puissance dépasse 100  $\mu\text{W}$  (BIPM, PTB).

- Le profil de dispersion non linéaire a été mesuré pour la composante k de  $^{129}\text{I}_2$  (NML) ; une modulation de crête à creux de 6 MHz devrait produire une distorsion du 3<sup>e</sup> harmonique de 0,035 % ; on peut s'attendre à une distorsion inférieure à 0,008 % du 3<sup>e</sup> harmonique pour  $^{127}\text{I}_2$  et  $^{127}\text{I}_1$ .

Toutes les propriétés physiques de ce type de laser étant connues, on se propose (NRC) de formuler à l'aide d'un ordinateur un modèle mathématique permettant de trouver la configuration optimale du laser et du circuit d'asservissement.

Connaissant ces causes perturbatrices de la fréquence, il est encore plus intéressant d'examiner les résultats des comparaisons, entre plusieurs laboratoires, de lasers de construction différente. D'après les comparaisons auxquelles le BIPM a participé, on peut retenir que les différences entre lasers fonctionnant dans les mêmes conditions de pression de l'iode et d'amplitude de modulation sont, en général, inférieures à  $\pm 10$  kHz avec un écart-type de 2 à 5 kHz, soit une reproductibilité de l'ordre de  $\pm 2 \times 10^{-11}$  ; dans un cas, cependant, on a observé une différence de  $6 \times 10^{-11}$  (NRLM).

On a fait remarquer (PTB) qu'il conviendrait aussi de caractériser l'exactitude de ces fréquences lasers, c'est-à-dire évaluer (par extrapolation à puissance et à amplitude de modulation nulles) l'incertitude de la réalisation de la fréquence de la transition atomique ou moléculaire qu'on estime à  $10^{-10}$  en valeur relative.

1.1.3 - Laser asservi à  $\lambda = 0,612 \mu\text{m}$ . - L'INM signale l'étude faite par le Laboratoire de l'Horloge Atomique (LHA) sur un laser He-Ne qu'on peut stabiliser par absorption saturée de l'iode 127 sur une raie orangée à  $\lambda = 0,6118 \mu\text{m}$  et, espère-t-on, sur une raie à  $\lambda = 0,6401 \mu\text{m}$  grâce à l'insertion d'un prisme à l'angle de Brewster dans la cavité laser.

### 1.3 - Lasers à He-Ne asservis sur $\text{CH}_4$

1.2.1 - Stabilité. - Le tableau ci-après indique la stabilité de ces lasers à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ .

*Stabilité des lasers asservis sur le méthane ( $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ )*

NPL	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = 6 \times 10^{-12}, \tau = 1 \text{ s} \\ \sigma = 5 \times 10^{-13}, \tau = 100 \text{ s} \end{array} \right.$	
Shimoda *		$\sigma = 2 \times 10^{-12}, \tau = 20 \text{ s}$
NRLM	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = 1,8 \times 10^{-12}, \tau = 30 \text{ s ; montage à 2 lasers} \\ \sigma = 3 \times 10^{-12}, \tau = 40 \text{ s ; montage à 3 lasers} \end{array} \right.$	
PTB		$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = 1 \times 10^{-13}, \tau = 1 \text{ s ; 1}^{\text{re}} \text{ dérivée} \\ \sigma = 4 \times 10^{-13}, \tau = 1 \text{ s ; 3}^{\text{e}} \text{ dérivée} \end{array} \right.$
	$\sigma = 2 \times 10^{-13}, \tau = 100 \text{ s ;}$	dispersion saturée
IMM	$\sigma = 2 \times 10^{-13} \times \tau^{-1/2}$	avec $1 \leq \tau \leq 100 \text{ s}$

\* Résultat obtenu au Tokyo Institute of Technology.

Les valeurs de  $\sigma$  sont encore proportionnelles à  $\tau^{-1/2}$ . Les meilleurs résultats sont  $1 \times 10^{-13}$  avec  $\tau = 1$  seconde et  $2 \times 10^{-13}$  avec  $1 \leq \tau \leq 100$  secondes. Par rapport aux lasers stabilisés sur l'iode, on constate que ces lasers stabilisés sur le méthane présentent, du point de vue de la stabilité, un avantage certain.

1.2.2 - Reproductibilité.- Pour ces lasers asservis sur le méthane, on a aussi étudié les causes pouvant provoquer un changement de fréquence ou de profil spectral ; plusieurs de ces causes sont d'ailleurs communes aux lasers asservis sur  $\text{CH}_4$  et aux lasers asservis sur  $\text{I}_2$ . Ce sont :

- Les effets de couplage dus à des réflexions parasites qui peuvent déplacer la fréquence de quelques dizaines de kilohertz.

- L'effet de pression du méthane qui élargit le profil spectral selon la relation  $\Delta\nu = 170 \text{ kHz} + (111 \text{ kHz/Pa})p$ , où  $\Delta\nu$  est la demi-largeur à mi-hauteur et  $p$  varie de 0,1 à 2,4 Pa (NRLM).

- L'effet de l'amplitude de la modulation : on a mesuré un déplacement d'environ 20 kHz par mégahertz (crête à creux) en utilisant pour l'asservissement la dérivée première (BIPM), soit un déplacement relatif de  $2 \times 10^{-10}$  par mégahertz.

- Enfin, selon le mode d'asservissement, par exemple suivant qu'on utilise la dérivée première ou la dérivée troisième, on a mesuré des déplacements jusqu'à 15 kHz (NRLM).

Les comparaisons entre plusieurs laboratoires de lasers stabilisés sur  $\text{CH}_4$  à l'aide du signal de la dérivée première

ont fait apparaître des différences de l'ordre de quelques kilohertz soit, en valeur relative, une concordance à  $\pm 3 \times 10^{-11}$  environ (BIPM). Lors d'une comparaison entre lasers stabilisés à l'aide du signal de la dérivée troisième on a obtenu une différence de  $1,4 \times 10^{-11}$  (NPL). Des expériences faites en dispersion saturée ont montré une reproductibilité de  $\pm 5 \times 10^{-12}$  et on estime que l'exactitude de la fréquence dans ce cas est aussi de  $\pm 5 \times 10^{-12}$  (PTB). Un laboratoire indique une reproductibilité de  $1 \times 10^{-14}$  (IMM).

Du point de vue de la reproductibilité aussi, il semble donc qu'un avantage apparaisse en faveur de l'asservissement sur le méthane par rapport à l'asservissement sur l'iode.

### 1.3 - Longueurs d'onde

Les valeurs des longueurs d'onde des lasers stabilisés sur l'iode et sur le méthane recommandées par le CCDM en 1973 sont :

$$^{127}\text{I}_2(^{20}\text{Ne}), \text{ pic i} : \lambda = 632\,991,399 \times 10^{-12} \text{ m}$$

$$\text{CH}_4, \text{ P}(7) \quad , \quad \nu_3 \quad : \lambda = 3\,392\,231,40 \times 10^{-12} \text{ m.}$$

Pour l'iode, trois laboratoires indiquent les résultats suivants obtenus par rapport à l'étalon primaire du krypton 86 au moyen d'interféromètres de Perot-Fabry :

NRLM :

$$^{127}\text{I}_2, \text{ pic i} : \lambda = 632\,991\,399,95 \text{ fm} ; \sigma = 1,9 \text{ fm}$$

NML :

$$^{129}\text{I}_2, \text{ pic m} : \lambda = 632\,991\,329,7 \text{ fm} ; \sigma = 0,7 \text{ fm}$$

IMM :

$$^{127}\text{I}_2, \text{ pic g} : \lambda = 632\,991\,229 \text{ fm} ; \sigma = 2,5 \text{ fm}$$

$$^{127}\text{I}_2, \text{ pic f} : \lambda = 632\,991\,213 \text{ fm.}$$

Pour ces trois dernières composantes, les valeurs recommandées, calculées d'après les tableaux publiés en 1973 (CCDM, 5<sup>e</sup> session, 1973, p. M 25 et M 26) sont :

$$^{129}\text{I}_2, \text{ pic m} : \lambda = 632\,991\,327,4 \text{ fm}$$

$$^{127}\text{I}_2, \text{ pic g} : \lambda = 632\,991\,231 \text{ fm}$$

$$^{127}\text{I}_2, \text{ pic f} : \lambda = 632\,991\,213,4 \text{ fm}$$

Les écarts relatifs avec les valeurs mesurées n'excèdent donc pas  $4 \times 10^{-9}$ .

Pour le méthane, un seul laboratoire (PTB) donne des valeurs récentes obtenues par comparaison à l'étalon primaire du krypton 86, dans un interféromètre du type Michelson :

avec stabilisation sur la dérivée 1<sup>re</sup> :

$$\lambda = 3\,392\,231\,409 \text{ fm} \pm 6 \times 10^{-9}$$

avec stabilisation sur la dérivée 3<sup>e</sup> :

$$\lambda = 3\,392\,231\,414 \text{ fm} \pm 5 \times 10^{-9}$$

et fait remarquer que ces valeurs sont plus élevées, respectivement de  $3 \times 10^{-9}$  et  $4 \times 10^{-9}$ , que celle recommandée en 1973.

Une détermination de  $\lambda(\text{CH}_4)$  a été faite par rapport à  $\lambda(\text{I}_2)$  au moyen d'un spectro-interféromètre Perot-Fabry et a donné 3 392,231 40 nm (LMM).

Une autre mesure (NBS) donne le rapport des longueurs d'onde (He-Ne,  $\text{CH}_4$ , P(7),  $\nu_3$ )/(He-Ne,  $^{129}\text{I}_2$ , pic k) :  
5,359 049 260 6 ;  $\sigma = 1,8 \times 10^{-10}$ .

#### 1.4 - Fréquences

Les déterminations nouvelles des fréquences de ces deux radiations de lasers sont peu nombreuses. Au NPL, la valeur de la fréquence de  $\text{CH}_4$  F2(2) a été obtenue en mélangeant le troisième harmonique de la raie R(32) du  $\text{CO}_2$  à une fréquence de laser He-Ne à 3,39  $\mu\text{m}$  asservi avec décalage de fréquence.

$$\text{CH}_4 \text{ F2(2)} = 88\,376\,181,608 \text{ MHz} \pm 0,043 \text{ MHz, soit } \pm 5 \times 10^{-10}.$$

Le NRC donne la valeur suivante pour la même radiation :

$$88\,376\,181,620 \text{ MHz} \pm 0,090 \text{ MHz, soit } \pm 1 \times 10^{-9}.$$

D'autre part, en combinant la valeur de la fréquence de  $\text{CO}_2$  R(12) et celle du rapport des longueurs d'onde du pic d de  $^{127}\text{I}_2$  et de la radiation résultant du mélange, dans un cristal non linéaire ("up-conversion"), des deux radiations d  $^{127}\text{I}_2$  et  $\text{CO}_2$  R(12), le NPL a obtenu :

$$^{127}\text{I}_2, \text{ d} = 473\,612\,380,5 \text{ MHz} \pm 0,3 \text{ MHz, soit } \pm 6 \times 10^{-10}.$$

1.4.1 - Intervalles de fréquence. - Plusieurs mesures d'intervalles de fréquences ont été faites entre les pics de  $^{127}\text{I}_2$  dans des lasers à He- $^{20}\text{Ne}$  (NML, NRLM, BIPM), de  $^{129}\text{I}_2$  dans des lasers soit à He- $^{20}\text{Ne}$  soit à He- $^{22}\text{Ne}$  (NML, BIPM), de même que des mesures d'intervalles entre composantes de ces trois groupes (BIPM). L'incertitude indiquée de ces déterminations faites par mesures de battements s'étend de quelques kilohertz à une vingtaine de kilohertz. Il semblerait que ces mesures d'intervalles faites avec  $^{129}\text{I}_2$  sont un peu moins reproductibles

qu'avec  $^{127}\text{I}_2$  (BIPM). Les valeurs d'intervalles, compte tenu de leurs incertitudes, concordent bien ; une apparente discordance entre deux laboratoires (NML-BIPM) sur la valeur de l'intervalle  $\nu_k(^{129}\text{I}_2) - \nu_l(^{127}\text{I}_2)$  peut être presque entièrement expliquée par la différence de température des points froids de l'iode : 18 °C au NML et entre 6 et 10 °C au BIPM.

## 2. AUTRES LASERS

### 2.1 Lasers à $\text{CO}_2$

Plusieurs autres lasers présentent un grand intérêt métrologique ; parmi ceux-ci le laser à  $\text{CO}_2$  opérant dans la région de 9 à 11  $\mu\text{m}$ , stabilisé par fluorescence saturée à 4,3  $\mu\text{m}$  dans une cuve externe de  $\text{CO}_2$ . La fréquence de quelques raies a été mesurée (NPL) :

$\text{CO}_2$  R(12),  $\lambda = 9,3 \mu\text{m}$  :  $f = 32\,176\,079,482 \pm 0,014 \text{ MHz}$ , soit  $\pm 4 \times 10^{-10}$

$\text{CO}_2$  R(32),  $\lambda = 10,17 \mu\text{m}$  :  $f = 29\,477\,160,862 \pm 0,015 \text{ MHz}$ , soit  $\pm 5 \times 10^{-10}$

(à ces valeurs il convient d'ajouter - 10 kHz  $\pm$  5 kHz pour obtenir la fréquence au centre de la raie). Trois mesures du rapport des longueurs d'onde de la raie R(12)  $^{12}\text{C } ^{16}\text{O}_2$  et de la composante d de  $^{127}\text{I}_2$  ont été également faites (NPL) dans un interféromètre Perot-Fabry par une méthode de "up-conversion" :

$$\lambda(\text{CO}_2)/\lambda(\text{I}_2) \left\{ \begin{array}{ll} 14,719\,393\,65 \pm 5 & \times 10^{-9} \text{ en valeur relative} \\ 68 \pm 1,8 & \times 10^{-9} \quad " \quad " \\ 666 \pm 4 & \times 10^{-10} \quad " \quad " \end{array} \right.$$

Le NRLM fait état d'une stabilité de ces lasers de  $1,4 \times 10^{-9}$  et le NRC de  $1 \times 10^{-10}$  ; dans ce dernier laboratoire, on a expérimentalement démontré que toutes les étapes d'une chaîne de comparaisons étaient possibles pour obtenir les fréquences de  $\text{CO}_2$  par rapport à la fréquence étalon du césium en utilisant uniquement des transitions de  $\text{CO}_2$ .

Un laser à  $\text{CO}_2$  stabilisé sur le tétr oxyde d'osmium ( $\lambda = 10,53 \mu\text{m}$ ) a montré (IMM) une stabilité de  $1,7 \times 10^{-12}$  avec  $\tau = 10$  secondes et une reproductibilité de  $2 \times 10^{-11}$ .

L'INM signale aussi la réalisation d'un laser à  $\text{CO}_2$ , asservi sur une molécule d'hexafluorure de soufre, dont la stabilité est de  $2 \times 10^{-13}$  sur 1 seconde.

Les lasers à  $\text{CO}_2$  à guide d'onde ouvrent un nouveau et vaste choix de raies pour la stabilisation dans l'infrarouge.

Au NRLM, on a fait des mesures d'intervalles avec deux lasers stabilisés sur la fluorescence saturée dans une cuve à CO<sub>2</sub> interne. On a obtenu les différences suivantes, (*N* = nombre de mesures) :

$$P(18) - P(20) : \delta f = 53\,548,877 \pm 0,041 \text{ MHz} ; N = 249$$

$$P(20) - P(22) : \delta f = 54\,283,213 \pm 0,052 \text{ MHz} ; N = 100$$

La différence de fréquence  $\delta f$  est obtenue par la mesure de la fréquence des battements  $f_b$  qui est produite dans la diode W-Ni (M-I-M) de la façon suivante :

$$\delta f = (f_{\text{CO}_2} - f'_{\text{CO}_2}) = n f_{\mu\text{W}} (10 \text{ GHz}) \pm f_b ;$$

$f_{\mu\text{W}}$ , asservi sur l'oscillateur de référence, est la fréquence micro-onde dont le  $n^{\text{ème}}$  harmonique est produit dans la diode.

## 2.2 - Lasers à gaz rares

Les travaux effectués à la PTB sur le laser à argon ionisé, stabilisé sur des raies hyperfines de l'iode principalement à  $\lambda = 0,515 \mu\text{m}$ , ont conduit aux résultats suivants où  $\sigma$  est la variance d'Allan et  $\tau$  le temps de mesure en secondes :

	Absorption linéaire	Absorption saturée	
	cuve externe	cuve interne	cuve externe
Stabilité	$\sigma < 10^{-9}$ ( $\tau > 0,2$ )	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma \approx 10^{-10} \text{ } (\tau=1) \\ \sigma=9 \times 10^{-12} \text{ } (\tau=100) \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma \approx 10^{-11} \text{ } (\tau=10) \\ \sigma=5 \times 10^{-13} \text{ } (\tau=100) \end{array} \right.$
Reproductibilité	$\pm 4 \times 10^{-9}$	$\pm 2 \times 10^{-10}$	$\pm 2 \times 10^{-11}$
Exactitude	$\pm 4 \times 10^{-9}$	$\pm 5 \times 10^{-11}$	$\pm 5 \times 10^{-11}$

L'effet de pression est - 5 kHz par pascal entre 2,7 et 23 Pa et l'effet d'amplitude est inférieur à  $10^{-11}$ . On a aussi mesuré les longueurs d'onde des radiations suivantes :

$$^{127}\text{I}_2, 43-0, \quad P(13), F-J = 5 \quad : \lambda = 514\,673\,469 \pm 5 \text{ fm}$$

$$^{127}\text{I}_2, 43-0, \quad P(13), F-J = 0 \quad : \lambda = 514\,673\,522 \pm 5 \text{ fm}$$

$$^{127}\text{I}_2, (53\pm 1)-1, R(67), F-J = -7 \quad : \lambda = 514\,674\,653 \pm 5 \text{ fm}$$

Au Laboratoire de Physique des Lasers (Villetaneuse, France), on a stabilisé un laser à argon à 582,49 THz sur des transitions de  $^{127}\text{I}_2$  ; la stabilité est meilleure que  $3 \times 10^{-14}$  avec  $10 < \tau < 50$  secondes et la répétabilité est de l'ordre de 1 kHz soit  $1,5 \times 10^{-12}$  ; on estime que l'écart par rapport à la fréquence théorique est inférieur à 5 kHz.

D'autres études sont poursuivies (NPL) sur des lasers à

krypton-argon ionisé asservis sur l'absorption saturée de l'iode.

Avec des lasers à He-Xe stabilisés sur  $H_2CO$ , on a mesuré (Tokyo Institute of Technology, cité par Shimoda) une stabilité  $\sigma = 5 \times 10^{-12}$  avec  $\tau = 20$  secondes ; on a aussi déterminé le coefficient d'absorption linéique  $\alpha$  et l'élargissement  $\gamma$  (demi-largeur à mi-hauteur) de la raie d'absorption à  $\lambda = 3,51 \mu m$  de  $H_2CO$  :  $\alpha = (0,047 m^{-1} \cdot Pa^{-1}) p$  et  $\gamma = 87 kHz + (110 kHz/Pa) p$ , où  $p$  est la pression de  $H_2CO$ .

### 2.3 - Lasers divers

Les fréquences de nombreuses raies d'un laser à  $N_2O$  ont été mesurées par "hétérodynage" avec des fréquences connues d'un laser à  $CO_2$  dans une diode au tungstène-nickel (NRC).

La PTB a mesuré les fréquences de six raies lasers dans l'infrarouge lointain entre 239 GHz et 762 GHz par mélange avec des harmoniques d'un klystron à 50 GHz et 70 GHz dans une diode à point de contact W-Ni. On prévoit l'utilisation de ces lasers comme oscillateurs de transfert pour les mesures de fréquence dans l'infrarouge.

### 2.4 - Lasers à colorants

Un domaine d'étude qui paraît prometteur pour la métrologie est celui des lasers à colorants. Les travaux sont en cours sur ce sujet dans plusieurs laboratoires. La stabilisation de tels lasers par absorption saturée de l'iode est étudiée au NPL et au LHA (cité par l'INM). Un laser accordable et continu dont la fréquence peut varier continuellement sur 5 GHz a été réalisé (LHA) : sa stabilité est  $1,5 \times 10^{-12}$  avec  $\tau = 100$  secondes et la largeur spectrale est 250 kHz. Au NBS, on a asservi un laser à colorant sur une cavité Perot-Fabry elle-même asservie sur un laser à  $CH_4$  : la stabilité est 300 Hz avec  $\tau = 300$  secondes ; on utilise un système d'asservissement très rapide à cristal de KDP. Au JILA, on étudie pour ces lasers à colorants des étalons de fréquence fondés sur des transitions à deux photons entre niveaux de Rydberg.

Avec les lasers à colorants, un sérieux problème est posé par leur très grand domaine spectral. En effet, il n'est pas très facile de séparer les quelques 50 000 profils Doppler qui peuvent exister dans une "fenêtre" de longueur d'onde de 50 nm. Un interféromètre de type Michelson à balayage automatique donnant rapidement les valeurs des longueurs d'onde (cinq

lectures de sept chiffres significatifs par seconde) a été construit pour l'étalonnage de ces lasers réglables, continus ou pulsés ("lambdamètre", JILA).

Au sujet des lasers à colorants, A.H. Cook pense que s'il devenait possible d'asservir la fréquence par référence à un étalon de fréquence beaucoup plus basse, il se pourrait que l'on ait la possibilité d'établir, sinon une source de fréquence connue réglable de façon continue, du moins une source que l'on pourrait accorder sur un grand nombre de fréquences connues distinctes, multiples de la fréquence de l'étalon. Une telle source simplifierait grandement la mesure des longueurs. L'IMM conseille également la poursuite des études pour améliorer la stabilité des lasers à colorants.

Il semble enfin que, dans le proche infrarouge, les lasers à centres colorés dans les halogénures alcalins (Université Technique de Hanovre, cité par le NBS) présentent des domaines de réglage comparables à ceux des lasers à colorants, avec une bonne stabilité de fréquence intrinsèque (mieux que 100 kHz).

### 3. ÉTUDES DE NOUVELLES MÉTHODES

Le NRC étudie une méthode d'asservissement fondée sur l'emploi de trois fréquences distinctes appliquées à trois éléments séparés de la cavité laser. On expérimente de nouveaux modes de stabilisation tels que la dispersion saturée (PTB), les résonances de Ramsey obtenues par la méthode des champs séparés (IMM, NBS, PTB, JILA). On a aussi envisagé de pouvoir apporter, a posteriori, une correction à la fréquence et de stabiliser l'intensité d'un laser au moyen d'une méthode opto-acoustique utilisant une cellule de Bragg (NBS-JILA). D'autre part, plusieurs améliorations de l'appareillage sont envisagées. Mais, d'après l'étude théorique du JILA, il apparaît que les possibilités des lasers à absorption saturée sont, de toutes façons, limitées : on a identifié un déplacement, en fonction de l'intensité, de la distribution de la vitesse effective des absorbants qui contribuent à l'absorption saturée. Cet effet, par l'intermédiaire de la correction Doppler de second ordre, limite fondamentalement les performances des dispositifs à absorption saturée à cellule. Par exemple, avec  $\text{CH}_4$ , le déplacement relatif par effet Doppler du second ordre, à température ambiante, est de  $2 \times 10^{-12}$ , avec une incertitude estimée de 10 % ; la limite correspondante de  $2 \times 10^{-13}$  est très regrettable puisqu'on a démontré qu'on peut obtenir une stabilité

dix fois meilleure avec un temps de mesure de 10 secondes ou même  $3 \times 10^{-14}$  sur 300 secondes avec un appareil à ultra-haute résolution. On doit diriger les efforts sur les absorbants à molécules lourdes, sur les systèmes à réduction de vitesse, tels que les pièges à ions, sur les dispositifs utilisant des interactions sélectives en vitesse, tels que les dispositifs à interaction longitudinale, et sur les techniques de franges de Ramsey.

On étudie la possibilité que des transitions à deux photons à des niveaux atomiques métastables dans un jet atomique de bismuth puissent fournir des résonances intéressantes pour l'asservissement de fréquences lasers ; le système  $(6p)^3 2P_{3/2} + (6p)^3 4S_{3/2}$  à  $\lambda = 6030,508 \text{ 3 \AA}$  est en cours d'expérimentation (NBS-JILA). Les transitions du néon libérées de l'effet Doppler par absorption à deux photons sont à l'étude (Ecole Normale Supérieure, Paris).

Bien que le "lambdamètre" soit un instrument très pratique pour mesurer les longueurs d'onde de lasers à colorants, on peut avoir besoin de déterminations plus exactes. Pour répondre à ce problème, on est en train d'explorer l'idée que des transitions à deux photons aux niveaux de Rydberg de métaux alcalins peuvent fournir un étalonnage précis (NBS-JILA).

Les études théoriques faites par W.G. Harter *et al.* ont fait grandement progresser l'analyse générale des spectres de molécules hautement symétriques. Il en résultera très probablement une pléthore d'étalons secondaires de longueurs d'onde dans l'infrarouge (NBS-JILA).

Au NBS, on a fait des travaux préparatoires sur l'absorption saturée de Faraday dans une cuve à Ca ; on projette d'appliquer la méthode de Ramsey des champs séparés sur un jet atomique de Ca. Dans ce laboratoire, on a aussi étudié les lasers à dimères pompés optiquement, avec l'idée que l'absence de décharge peut permettre un fonctionnement laser sans aucune perturbation due au "bruit". L'action laser continue a été confirmée dans  $\text{Na}_2$  et  $\text{I}_2$  et démontrée dans  $\text{K}_2$  et  $\text{Li}_2$ .

Une expérience ouvrant d'intéressantes perspectives pour l'avenir proche a été faite au NBS où l'on a pu mesurer directement la fréquence de 197 THz d'un laser à  $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$  ; la fréquence de cette radiation a été doublée dans un cristal non linéaire, produisant un faisceau rouge visible. Ainsi, on a synthétisé une radiation visible directement reliée à l'étalon de temps.

#### 4. CONCLUSIONS

Tout d'abord, il est certain que les étalons secondaires ( $I_2$  et  $CH_4$ ) recommandés par le CDM en 1973 sont actuellement d'une exactitude nettement suffisante pour la métrologie des longueurs (NML, NPL, INM, ASMW). Partant de cette constatation et aussi du fait que les étalons possibles sont de plus en plus nombreux, une des opinions la plus largement exprimée est que, de ce point de vue, il n'y a pas urgence à changer la définition du mètre. Il conviendrait de continuer les études entreprises :

1° afin de découvrir la référence idéale de longueur d'onde en expérimentant de nouveaux principes de lasers et de stabilisation, par exemple le pompage optique, l'excitation de Ramsey à deux photons, les jets atomiques, la dispersion saturée, etc. ;

2° afin de pouvoir extrapoler sa valeur des conditions de fonctionnement à celle de l'état "non perturbé" par la recherche théorique permettant de bien comprendre les causes des effets perturbateurs observés expérimentalement ;

3° afin de pouvoir mesurer sa fréquence par rapport à l'étalon primaire au césium (A.H. Cook, NML, NPL, NRC, JILA, NBS, PTB, IMM, ASMW). A ce sujet, on s'accorde à penser qu'un étalon émettant dans le spectre visible serait préférable.

D'autre part, il apparaît que les comparaisons de lasers à hélium-néon ont été bénéfiques et qu'elles devraient être étendues à d'autres lasers. On demande aussi la poursuite des études concernant les méthodes et les moyens de transfert de l'unité de longueur de définition aux étalons secondaires, y compris l'étude de problèmes tels que la réalisation d'étalons matériels à traits et à bouts de haute précision et stables dans le temps, et le perfectionnement des méthodes de mesure des longueurs d'onde laser (IMM).

Parmi ceux qui estiment que la situation actuelle peut se prolonger sans inconvénients encore plusieurs années, certains pensent qu'il y aurait plusieurs avantages à fonder l'unité de longueur sur le même système physique que celui utilisé pour la définition de l'intervalle de temps, le plus évident des avantages étant que cela conduirait à fixer la valeur de  $c$ , indépendamment d'éventuels changements de la base physique commune des unités ou de futures améliorations des mesures ; il ne serait pas nécessaire d'attendre que des techniques nouvelles de mesure directe de fréquences dans le visible voient le jour pour

envisager une nouvelle définition du mètre fondée sur l'équation  $\lambda = c/f$  (NPL) ; d'autres font remarquer que l'adoption d'une valeur de  $c$  ne résoudrait cependant pas tous les problèmes impliqués : toute réalisation de l'unité de longueur par une longueur d'onde d'un laser stabilisé serait limitée non seulement par son exactitude propre mais, en plus, par l'incertitude de la mesure par rapport à l'étalon primaire (PTB).

J. Terrien est d'avis qu'il ne faut plus attendre pour changer la définition du mètre et que la forme en a été explicitée par le Comité Consultatif des Unités (CCU) en 1974\* . La fréquence de la transition étant fixée par convention dans la définition de la seconde,  $c$  se trouve fixé par cette définition du mètre. Toute radiation dont la fréquence  $\nu$  est mesurable en hertz sera un étalon de longueur d'onde dans le vide de valeur  $c/\nu$ . Au contraire, si le mètre était défini par la longueur d'onde d'une radiation, les progrès ultérieurs rendraient cette définition insuffisante. De plus, on aurait laissé échapper l'occasion de fixer définitivement la valeur de  $c$ .

Dans sa réponse, le BIPM résume les quatre solutions possibles au problème du changement de la définition du mètre avec leurs avantages et leurs inconvénients :

- statu quo,
- définition utilisant une longueur d'onde dans le visible (ou proche du visible),
- définition utilisant la longueur d'onde de la radiation du césium 133,
- définition utilisant le trajet parcouru par la lumière pendant une durée spécifiée.

Souhaitant laisser la discussion largement ouverte, le BIPM évite de prendre position. Pour éclairer d'une façon plus nette le CCU et le CIPM, il pose aux membres du CCDM une question supplémentaire plus précise, en trois points (lettre du 3 mars 1978) :

a) Vous semble-t-il souhaitable qu'une nouvelle définition du mètre soit proposée par la prochaine Conférence Générale des Poids et Mesures en 1979 ?

b) La définition proposée par le CCU en 1974\*, c'est-à-dire fondée sur l'étalon au césium en fixant implicitement une valeur définitive de  $c$ , reçoit-elle votre agrément ? Sinon, quelle serait votre proposition ?

---

\* CCU, 4<sup>e</sup> session, 1974, p. U 11 et U 12 : "Le mètre est la longueur égale à  $9\ 192\ 631\ 770 / 299\ 792\ 458$  longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133".

c) Si votre réponse est positive pour le point  $a$ , seriez-vous d'accord pour la convocation du CCDM au cours du deuxième semestre de 1978 ?

Douze réponses sont parvenues des quatorze destinataires.

A la question  $a$ , trois réponses sont "oui" (NBS, NRC, JILA), six réponses sont "non" (NPL, PTB, ASMW, NRLM, IMM, K. Shimoda) ; la réponse de L. Frenkel semble favorable ; le NML et A.H. Cook, sans être partisans d'une action rapide, ne s'opposeraient pas à un changement.

En ce qui concerne la question  $b$ , trois réponses sont nettement en faveur de la définition envisagée par le CCU (NML, NPL, NRC). Les autres réponses peuvent être résumées ainsi :

Le NBS recommande que le mètre soit défini par la distance parcourue dans le vide par la lumière en  $(299\ 792\ 458)^{-1}$  seconde. L'ASMW a la même opinion.

Le JILA pense qu'une possibilité intéressante serait une définition fondée sur la formule  $\lambda = c/f$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde en mètre de la radiation cohérente (visible) dont la fréquence est  $f$  et où  $c$  a la valeur conventionnellement adoptée. A.H. Cook donne un avis très voisin du précédent.

K. Shimoda ne croit pas à la supériorité définitive de l'étalon à césium sur des étalons à fréquence optique et propose la définition suivante : "Le mètre est la longueur égale à la longueur d'onde dans le vide d'une radiation électromagnétique dont la fréquence est 299 792 458 Hz".

L. Frenkel propose que l'unité de longueur  $L$  soit égale à la distance parcourue par la lumière en 1 seconde, que l'étalon pratique de longueur, le mètre, soit  $1\ m = (299\ 792\ 458,0)^{-1} L$  et qu'une liste de longueurs d'onde soit publiée.

La PTB préférerait, tout d'abord, une définition fondée sur la longueur d'onde d'une radiation visible d'un laser.

L'opinion du NRLM est que les recherches des différents laboratoires ont montré que des améliorations étaient encore possibles dans la réalisation des étalons de fréquence.

Quant à la nécessité de réunir le CCDM au cours du deuxième semestre de 1978, quatre membres seulement sont d'accord (NBS, PTB, JILA, A.H. Cook). D'autres membres suggèrent que la discussion soit poursuivie par correspondance.

(20 juin 1978)



## NOTICES NÉCROLOGIQUES

---

### ÉMILE DJAKOV

(1908-1978)

---

Le Professeur Dr Émile Djakov, membre du Comité International des Poids et Mesures de 1970 à 1978, est mort le 15 septembre 1978 à Sofia, à l'âge de 70 ans.

E. Djakov est né le 2 mars 1908 dans la ville de Svichtov, en Bulgarie. Après avoir terminé ses études primaires et secondaires, il commence des études en physique à l'Université de Sofia où il obtient son diplôme en 1931. Pour perfectionner ses connaissances il se rend à l'étranger, à l'Institut für Schwingungsforschung de la Technische Hochschule à Berlin où il est chargé de recherches de 1936 à 1937.

Après ce séjour en Allemagne, il retourne dans son pays et commence en 1939, comme professeur agrégé de cours, une carrière universitaire à l'Université de Sofia. Il devient professeur en 1942, titulaire de la Chaire de Physique technique en 1945, puis directeur de l'Institut de Physique de 1948 à 1955. De 1959 à 1961, il est Directeur adjoint de l'Institut Unifié des Recherches Nucléaires à Dubna (URSS). De 1963 jusqu'à sa mort, il est Directeur de l'Institut d'Électronique de l'Académie Bulgare des Sciences.

En reconnaissance de ses mérites scientifiques, il est élu en 1948 membre correspondant et en 1967 membre titulaire de l'Académie des Sciences de Bulgarie; en 1963 il est nommé membre de la présidence, puis en 1968 Secrétaire de la Section des Sciences Mathématiques et Physiques de cette Académie.

L'activité scientifique de E. Djakov couvre des domaines divers dont les principaux sont l'électronique physique et appliquée, les oscillations dans les diodes et les magnétrons, la physique ultra-hertzienne, la physique des plasmas, les mesures et les appareils de contrôle électroniques, la métrologie.

Dès les débuts de sa carrière scientifique il s'intéresse particulièrement aux mesures. Une grande partie de ses publications, dont le nombre dépasse la soixantaine, est consacrée à ce domaine. Il travaille à la mesure des impédances aux hyperfréquences, du vide dans les magnétrons, ainsi qu'à la détermination de la courbe d'hystérésis des substances magnétiques dures et à la théorie des ponts à résistances non linéaires. Il a travaillé sur un intégrateur électronique nouveau, développé un nouveau principe de comptage d'impulsions et divers autres appareils électroniques.

Parmi les sujets métrologiques auxquels s'est intéressé E. Djakov pendant une quarantaine d'années, le domaine des unités de mesure occupe

une place prépondérante. Il a préparé déjà en 1939 un projet de norme sur les grandeurs physiques et leurs unités; dès 1938, il adoptait le Système Giorgi dans ses cours à l'Université. Plus tard il a fait, comme membre du Comité Bulgare de Métrologie et par toute son activité scientifique, surtout par ses publications, une propagande efficace en faveur de l'introduction du Système International d'Unités en Bulgarie. Il a pris une part active dans l'élaboration des normes bulgares sur les unités de mesure et son livre « Le Système International des Unités de Mesure », publié en langue bulgare en 1975, a constitué une contribution très importante pour l'adoption du SI en Bulgarie.

Mais ce n'est pas seulement sur le plan national que E. Djakov exerçait une activité importante. Il participa aussi aux travaux de plusieurs organisations scientifiques internationales, notamment les organisations compétentes dans le domaine des unités de mesure. Il était depuis 1954 membre du Conseil général de la Confédération Internationale de la Mesure (IMEKO), membre du Conseil exécutif de l'Union Internationale pour la Science, la Technique et les Applications du Vide, membre du Conseil de la Société Européenne de Physique, membre, depuis 1966, de la Commission SUN (Symboles, Unités, Nomenclature) de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée. Il fut élu en 1970 membre du Comité International des Poids et Mesures et il participait avec un vif intérêt aux travaux de ce Comité. Il cherchait à éliminer les différences, encore existantes, entre les recommandations des diverses organisations internationales en matière d'unités de mesure, afin d'arriver à une harmonisation parfaite dans ce domaine. Par sa disparition brutale, regrettée par tout le monde scientifique, E. Djakov n'a pu atteindre ce but qu'il poursuivait inlassablement.

Les activités et les mérites de E. Djakov lui ont valu plusieurs distinctions honorifiques. Il était lauréat du Prix national Dimitrov pour la Science et il avait reçu les titres de « Savant Émérite » et « Métrologue Émérite ».

Ses grandes qualités personnelles, sa modestie, son humour ont gagné l'estime et la sympathie de tous ceux qui l'ont connu; ils garderont longtemps la mémoire de leur collègue et ami Émile Djakov.

P. HONTI

---

## MANNE SIEGBAHN

(1886-1976)

---

Le Professeur Manne Siegbahn, membre du Comité International des Poids et Mesures de 1939 à 1959 et ensuite membre honoraire, est décédé le 24 septembre 1978. Né le 3 décembre 1886, M. Siegbahn reçut le titre de Docteur ès sciences en 1911 à l'Université de Lund. Après avoir été assistant puis professeur de physique à Lund, il accepta en 1924 une chaire de professeur de physique à l'Université d'Uppsala. Il occupa cette chaire jusqu'en 1937, année où il prit la direction de l'Institut Nobel de Physique qui venait d'être créé à son intention; il conserva ce poste jusqu'en 1964. Il continua par la suite de s'intéresser à la plupart de ses travaux scientifiques et poursuivit ses activités jusqu'à un âge avancé. En 1925, M. Siegbahn reçut le prix Nobel 1924 de Physique « pour ses découvertes et ses recherches en spectroscopie des rayons X ». Au cours des années, il reçut aussi de nombreuses distinctions et diplômes de docteur honoris causa.

Les années qu'il passa à Lund et Uppsala furent consacrées plus particulièrement à des recherches sur les rayons X; pendant les dernières années, il aborda aussi d'importantes questions de physique atomique, telles que des déterminations de constantes fondamentales. En particulier, avec la diffraction de Bragg par les cristaux, il jeta les bases de la détermination exacte des longueurs d'onde et de l'étude des séries de rayons X qui caractérisent les spectres d'émission et d'absorption. Un grand nombre de publications ont été faites par M. Siegbahn et ses nombreux élèves et collaborateurs dans le monde entier. Ainsi, il a découvert et mesuré la série M et quelques raies de la série N, du côté des grands longueurs d'onde. L'ensemble de ces travaux a permis d'explorer tous les problèmes qui se posaient dans ce domaine, y compris les règles de sélection et la détermination des énergies des états électroniques. Une base expérimentale solide avait ainsi été créée pour interpréter les phénomènes connexes au moyen de la théorie quantique. Pour examiner le domaine des rayons X de grande longueur d'onde, dans l'ultraviolet à vide, il a été nécessaire de s'engager dans les techniques difficiles mais fructueuses des réseaux de diffraction. Le livre classique de référence sur la spectroscopie des rayons X est celui de M. Siegbahn « Spektroskopie der Röntgenstrahlen », 2<sup>e</sup> édition, 1931, qui résume l'état des études à l'époque.

Les travaux de M. Siegbahn en tant que directeur du Nobel Institute à Stockholm furent d'une grande importance pour son pays. Il lui incombait

d'équiper cet Institut pour la recherche en physique nucléaire, domaine qui était tout à fait nouveau à l'époque pour la Suède. C'est ainsi que furent conçus et construits deux cyclotrons dont les aimants avaient des pièces polaires de 0,8 m et 2,25 m de diamètre respectivement, un générateur haute tension Cockcroft-Walton, et les appareils de spectroscopie nucléaire utilisés pour étudier les particules nucléaires émises; les recherches, en particulier en spectroscopie des rayons  $\beta$ , ont permis de déterminer et de mesurer les niveaux d'énergie nucléaire et la dynamique des processus de décroissance. Certains de ces appareils sont encore utilisés, remaniés pour les nouvelles utilisations par l'équipe actuelle. Après des améliorations apportées dans les années 70, la machine de 2,25 m de diamètre constitue encore l'instrument de recherche le plus important de ce laboratoire.

Dans l'aptitude remarquable que M. Siegbahn avait pour effectuer des recherches expérimentales il faut surtout signaler son art de concevoir les appareils scientifiques. Plusieurs types de spectromètres à rayons X viennent de lui. De nombreux autres ont été fournis à des collègues dans d'autres pays. Nous, ses élèves, pouvions toujours lui demander des conseils pour nos expériences à l'occasion de ses tours quotidiens dans l'Institut et des entretiens efficaces qu'il avait dans les ateliers. Il n'hésitait pas à envisager de grands projets lorsque c'était nécessaire. Ainsi il construisit, d'abord à Uppsala, ensuite à Stockholm, des machines à graver les réseaux optiques et il réussit à en améliorer considérablement la technique. Il conçut aussi un microscope électronique, dont toute une série a été fabriquée en Suède. Au cours de ses visites à Paris, dans le cadre des activités du Bureau International des Poids et Mesures, il avait rencontré le Prof. P. Fleury et visita l'Institut d'Optique; il me suggéra de créer un Institut de Recherches Optiques à Stockholm afin de répondre aux besoins de la Suède dans ce domaine. Nous avons débuté modestement et avons continué. Son aide pour établir cet Institut a été très efficace et il fut le premier président de notre Conseil.

M. Siegbahn fut un des grands physiciens de Suède. En fait, tous les succès qu'il a eus proviennent de sa personnalité. Manne Siegbahn avait avec ses étudiants des relations d'individu à individu; il essayait de découvrir ce qui convenait particulièrement à chacun d'entre nous, il nous encourageait, tout en nous laissant une grande liberté. Il était exigeant mais avait un don de générosité et nous faisait participer aux travaux et aux succès des équipes qu'il créait. C'est à la fois avec humilité et fierté que j'écris ces lignes à la mémoire d'un véritable ami.

E. INGELSTAM  
Directeur  
de l'Institut de Recherches  
Optiques, Stockholm.

---

## INDEX

- Affaires administratives, 18
- Balances Ruedprecht, révision, 36  
fonctionnement en milieu dépoussiéré,  
essais, 37
- Base géodésique, 30
- Bâtiments  
dépendances, 26  
Grand Pavillon (couloir des bureaux),  
26  
Observatoire (monte-charge, salles 3  
et 103), 25  
Petit Pavillon (appartement rez-de-  
jardin; extension de l'atelier), 26  
rayonnements ionisants (aménagement  
laboratoire, réinstallation de l'ordi-  
nateur), 26
- Budget 1979, 18, 19
- Candela, proposition nouvelle définition,  
12
- Certificats, Notes d'étude, 79
- Comités Consultatifs  
Définition du Mètre, enquête auprès  
des membres, 7, 27  
Électricité, 6; rapport 15<sup>e</sup> session, E 1  
présidences (CCDM, CCDS), 10  
réunions futures, 11  
Thermométrie, 4; rapport 12<sup>e</sup> session,  
T 1  
Unités, 5; rapport 6<sup>e</sup> session, U 1
- Comité International  
bureau du, 3  
composition, VII, 20  
décès (E. Djakov), 1, XI  
démissions (J. Stulla-Götz, A. Maré-  
chal), 3  
élections (B. Guinot, H. Jensen,  
R. Steinberg), 2, 3  
membres honoraires, élection (J. Stulla-  
Götz), 24; décès (M. Siegbahn), XIII  
rapport du Secrétaire, 3  
rôle et composition, 20
- Comparaisons internationales  
débit de fluence de neutrons mono-  
cinétiques rapides, 71  
étalons  
calorimétriques de dose absorbée, 57  
capacité électrique 10 pF, E 4  
électriques  $\Omega$ , 46; V, 50; compa-  
raisons futures, E 4  
à traits, 28  
de transfert c.c.-c.a., E 4  
solutions <sup>139</sup>Ce, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, 61
- Comparteurs  
photoélectrique et interférentiel, 27  
universel, Bariquand, machine à mesu-  
rer (remontage salle 103), 28
- Comptes, 4, 89
- CGPM (16<sup>e</sup>), préparation, projets de  
résolutions présentés à, 11-14
- Diffusion des travaux des organes de la  
Convention du Mètre, 21, 22
- Documentation, 81
- Dotation BIPM, proposition à 16<sup>e</sup> CGPM  
14
- Échelle Internationale Pratique de Tem-  
pérature  
monographie, préparation d'une, T 3  
points de référence secondaires, T 3  
principes pour version future, T 3  
travaux en relation avec, 42
- Échelle provisoire de Température 1976  
entre 0,5 K et 30 K, 4, T 2; texte, T 7
- Échelles de temps (voir Temps)
- Effet Josephson (voir Électricité)
- Électricité, 45  
Comité Consultatif, 6; rapport 15<sup>e</sup> ses-  
sion, E 1  
dispositif pour détermination du coef-  
ficient de pression des étalons de  
résistance, 48  
effet Josephson, mesures par, 49, 50;  
recherches erreurs systématiques, 51;  
jonctions, 51
- étalons  
en alliage Au-Cr, 47  
capacité 10 pF, comparaison inter-  
nationale, E 4  
d'inductance et puissance à basse  
fréquence, comparaisons interna-  
tionales projetées, E 5  
nationaux  $\Omega$ , 46; V, 50; compa-  
raisons futures, E 4  
de transfert c.c.-c.a., comparaison  
internationale, E 4

- grandeurs aux radiofréquences, E 5, E 9  
 $\Omega_{60-BIP}$ , exactitude, 45  
 piles étalons, conservation, 49  
 programme de travail du BIPM, 6, E 6  
 recommandations du CCE, E 7  
 unité f.é.m., conservation au BIPM, 49  
 unités, réalisation, 13, E 2; représentation, E 3  
 Électrons, préparation mesure W, 33  
 Équivalent de dose, unité (sievert), 13, U 10, U 15  
 Étalons  
 d'angles, 23  
 électriques (*voir* Électricité)  
 longueur  
 à bouts, 29  
 à traits, comparaisons internationales, 28; 29  
 masse, projet résolution à CGPM, 14  
 Gravimétrie (gravimètre absolu transportable), 41  
 Groupes de travail  
 grandeurs aux radiofréquences, E 5; rapport, E 9  
 pilotage du TAI, 7  
 masses, informations sur activités, 8, 38  
 Incertitudes, évaluation et expression, enquête, 10  
 Interférométrie, 30  
 Invar géodésique, 30  
 Kilogrammes prototypes  
 Nos 9 et 31 (BIPM), N° 18 (Royaume-Uni), N° 63, 35  
 nettoyage et lavage, effet du, 35  
 polissage, 37  
 Lasers, 30, A 1  
 asservis sur  $I_2$ , 31; sur « Lamb-dip », 33; sur  $CH_4$ , 33  
 Litre, symbole L, 5, 13, U 7  
 Longueurs, 27  
 Manométrie, 44 (*voir* aussi Pression)  
 Masses, 35  
 conservation des étalons de, (balance en milieu dépoussiéré: polissage des étalons), 37  
 Groupes de travail sur les, informations sur activités, 8, 38  
 Masse volumique de l'eau, influence teneur en gaz atmosphériques dissous, 37  
 Mesures neutroniques, 71  
 débit de fluence de neutrons monochromatiques rapides, comparaison internationale, 71  
 débit de fluence à 14,68 MeV sur feuilles Al irradiées, mesures à l'IRK et au BIPM, 71  
 solution  $MnSO_4$ , mesure activité par méthode circulation, 71  
 sections efficaces d'absorption de neutrons thermiques pour H et Mn, mesure rapport, 73  
 Mètre, enquête sur changement définition, 7, U 8, A 13  
 Mètre carré, mètre cube, proposition de noms spéciaux, U 12  
 Neutrons (*voir* Mesures neutroniques)  
 Notices  
 historique, V  
 nécrologiques: (E. Djakov), XI; (M. Siegbahn), XIII  
 Ordinateur, réinstallation dans nouveau local, 26  
 Organismes internationaux et nationaux, travaux en liaison avec, 7, 82, E 5  
 Personnel du BIPM  
 engagements, 25  
 indemnités spéciales pour étrangers (éducation enfants, voyages familiaux), 19  
 liste du, IX  
 nominations, 25  
 recrutement, considérations sur, 19  
 retraites, 25  
 voyages, visites, conférences et exposés, 23, 82  
 Photométrie, 52  
 Pression  
 enquête sur les mesures de, 9, 45  
 instrument de transfert de, (point triple de l'argon), 45  
 Publications  
 du BIPM, 77  
 extérieures, 77  
 rapports internes, 77  
 Puissances de 10, U 8  
 Radionucléides, 60  
 activité, mesures relatives avec chambre d'ionisation  $4\pi$  à pression, 63; système international de référence, 64  
 ensemble de comptage par coïncidences  $4\pi\beta(CP)-\gamma$ , 61  
 formule de Cox et Isham, vérification validité, 62  
 solution de  $^{56}Mn$ , dosage, 62; activité, 64  
 sources  $^{139}Ce$ ,  $^{134}Cs$ ,  $^{137}Cs$ , comparaisons internationales mesures d'activité, 61  
 sources  $^{60}Co$  à taux comptage élevé, 61  
 Rayons X, exposition et kerma, 53  
 Rayons X et  $\gamma$ , électrons, 53  
 Rayonnement  $\gamma$   $^{60}Co$ , 54  
 dose absorbée dans graphite, 57  
 enregistrement de données, 54

- étalons calorimétriques, comparaisons internationales, 57  
exposition, mesure (rayonnement de freinage, corrections), 55
- Recommandations  
CC Électricité, E 7  
CC Thermométrie, T 5  
CC Unités, U 15
- Sievert, proposition d'adoption, 13, U 10, U 15
- Spectrométrie  $\alpha$ , 70  
énergie et intensité de rayonnements, 70  
mesure énergie particules  $\alpha$  du  $^{239}\text{Pu}$ , 70
- Statistiques de comptage, 65  
asymétrie distribution de comptage, 66  
processus de Poisson, détection de fluctuations supplémentaires, 68
- Symbole du litre, 5, 13, U 7
- Système International d'Unités, progrès, 81; révision 3<sup>e</sup> édition brochure BIPM, U 3
- Temps  
atomique international (TAI), pilotage, 7; stabilité, exactitude, différences avec échelle atomique libre, 39  
corrections relativistes, 41  
transmission par satellite, 40
- Thermométrie, 42  
Comité Consultatif, 4; rapport 12<sup>e</sup> session, T 1  
comparaisons internationales prévues, T 4  
EIPT-68, travaux en relation avec, 42; principes pour version future, T 3; points de référence secondaires, T 3
- EPT-76, 4, T 2; texte, T 7  
monographie sur EIPT-68, préparation d'une, T 3  
recommandation du CCT, T 5  
températures thermodynamiques par pyrométrie infrarouge, 44
- Travaux  
du BIPM, exposé sur, 16  
des organes de la Convention du Mètre, diffusion, 21, 22
- Unités  
candela, proposition nouvelle définition, 12, U 9  
Comité Consultatif, 5; rapport 6<sup>e</sup> session, U 1  
électriques, 13, E 2, E 7  
des grandeurs comportant un facteur biologique, U 9  
jansky, U 13  
katal, U 13  
litre, symbole L, 5, 13, U 7  
mètre, enquête sur changement définition, 7, U 8, A 13  
mètre carré, mètre cube, proposition de noms spéciaux, U 12  
photométriques, U 9  
recommandation du CCU, U 15  
sievert, proposition d'adoption, 13, U 10, U 15
- Visites et stages au BIPM, 85  
Voyage directeur et sous-directeur en Chine, 23  
Voyages, visites, conférences et exposés du personnel, 82
- W, préparation mesure, 59; valeur recommandée, 60
-



---

# TABLE DES MATIÈRES

---

## COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

67<sup>e</sup> Session (Septembre 1978)

---

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre .....	v
Liste des membres du Comité International.....	VII
Liste du personnel du Bureau International .....	IX
Ordre du jour de la session .....	X
<b>Procès-verbaux des séances, 19-22 septembre 1978.....</b>	<b>1</b>
Ouverture de la session; annonce du décès de E. Djakov; bienvenue aux trois nouveaux membres; considérations sur les tâches du CIPM .....	1
<i>Rapport du Secrétaire du CIPM</i> (Membres du CIPM: démissions de A. Maréchal et J. Stulla-Götz; élections de B. Guinot, H. Jensen et R. Steinberg. Réunions de Comités Consultatifs et du bureau du CIPM. Indications financières).....	3
<i>Rapports des Comités Consultatifs et enquêtes du BIPM</i> .....	4
<i>Thermométrie</i> (12 <sup>e</sup> session) (Mise en application de l'« Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K (EPT-76) ». Recommandations en vue du remplacement futur de l'EIPT-68) .....	4
<i>Unités</i> (6 <sup>e</sup> session) (Révision de la 3 <sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI. Symbole du litre (L). Définition de la candela. Nom spécial (sievert) pour l'unité joule par kilogramme dans le domaine de la radioprotection) .....	5
<i>Électricité</i> (15 <sup>e</sup> session) (Programme de travail du BIPM. Recommandations sur la réalisation des unités électriques, l'expression de l'exactitude des résultats et l'uniformité des étalons primaires nationaux) .....	6
<i>Définition du Mètre</i> (Questionnaires sur les lasers asservis et la définition du mètre; rapport du BIPM) .....	7
<i>Définition de la Seconde</i> (Présentation du rapport du Groupe de travail pour le pilotage du TAI).....	7
<i>État d'avancement d'enquêtes du BIPM:</i>	
— Groupes de travail 1, 2 et 3 sur les masses .....	8
— Pressions (Échange de vues sur la création éventuelle d'un comité consultatif pour les masses, les pressions et les forces) .....	9
— Incertitudes .....	10

Présidences et réunions futures des Comités Consultatifs (Nouveaux présidents : D. Kind (CCDM) et B. Guinot (CCDS)) .....	10
Préparation de la 16 <sup>e</sup> CGPM :	
Projets de résolutions (candela, unités électriques, sievert, symbole du litre, étalons de masse) .....	11
Dotations et programme de travail du BIPM pour 1981-1984 .....	14
Rapports des présidents des Comités Consultatifs .....	15
Travaux du BIPM (Exposé sur les principales activités scientifiques) .....	16
Visite du dépôt des prototypes métriques .....	17
<i>Affaires administratives</i> : Exercice 1977 et exercice 1978 en cours. Discussion et adoption du budget pour 1979. Personnel (Fonctionnaires étrangers : indemnité d'éducation pour les enfants; remboursement des frais de voyage familiaux. Considérations sur le recrutement de physiciens) .....	18
<i>Questions diverses</i>	
— Rôle et composition du CIPM (Présentation et discussion d'un rapport du Secrétaire; nécessité d'une diffusion des travaux des organes de la Convention du Mètre après chaque réunion) .....	20
— Voyage en République Populaire de Chine du directeur et du sous-directeur du BIPM .....	23
— Comparaison internationale d'étalons d'angles (Suggestion de création d'un Groupe de travail auprès du CCDM pour s'occuper des mesures d'angles) . . .	23
— Nomination de Mr J. Stulla-Götz comme membre honoraire du CIPM . . .	24
<b>Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures</b> (octobre 1977-septembre 1978) .....	25
I. PERSONNEL. — Nominations. Prises de fonction des nouveaux directeur et sous-directeur. Départ en retraite (J. Terrien, M <sup>me</sup> S. Pedrielli, J. Almeida). Engagements (M <sup>me</sup> M.-J. Martin, T. Riotte, E. Rodriguès) .....	25
II. BÂTIMENTS. — Observatoire (Achèvement des travaux antérieurs: monte-charge, salles 3 et 103). Grand Pavillon (Peinture du couloir des bureaux). Petit Pavillon (Aménagement de l'appartement du rez-de-jardin et extension en sous-sol de l'atelier). Rayonnements ionisants (Réinstallation de l'ordinateur dans un autre local; percement de deux baies). Dépendances (Serres; bloc sanitaire) .....	25
III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX .....	26
Remarques générales .....	26
<i>Longueurs</i> . — Enquête auprès des membres du CCDM .....	27
Comparateur photoélectrique et interférentiel (Révision et amélioration de l'ensemble pour la mesure des températures) .....	27
Remontage, salle 103, de plusieurs appareils (Comparateurs universel et Bariquand, machine à mesurer) .....	28
Étalons à traits (Situation et premiers résultats des comparaisons internationales de deux règles divisées (1 m et 0,5 m). Étude des règles Nos 12924, 16806 et 10663 [BIPM], 12202 [Nigeria], 16223 [France], 7497 [Suisse], 5729 et 7316 [Rép. Pop. de Chine]) .....	28
Étalons à bouts (Calibres [Rép. Pop. de Chine]; étalons cylindriques [États-Unis]) .....	29
Base géodésique (Remontage des installations après travaux; reprise des mesures)	30
<i>Interférométrie</i> . — Lasers : généralités .....	30
Lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode (Influences de la pression d'iode et du réglage de la cavité sur la fréquence. Améliorations. Comparaisons. Mesures d'intervalles entre composantes hyperfines de I <sub>2</sub> ) .....	31

Étalonnage de lasers asservis sur le « Lamb-dip» .....	33
Lasers asservis sur l'absorption du méthane (Construction de plusieurs lasers. Comparaisons de lasers à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ) .....	33
Détermination de la longueur d'onde d'un laser à He - Ne asservi ( $\lambda = 612 \text{ nm}$ ) .....	35
<i>Masses.</i> — Kilogrammes prototypes (Détermination de la masse des N <sup>os</sup> 9 et 31 [BIPM], 18 [Royaume-Uni], 63; effet du nettoyage-lavage) .....	35
Balances Rueprecht du BIPM (Révision) .....	36
Conservation des étalons de masse (Essai de fonctionnement d'une balance Rueprecht en milieu dépoussiéré; études pour améliorer le poli de la surface des étalons) .....	37
Masse volumique de l'eau (Mesures préliminaires de l'influence de la teneur en gaz atmosphériques dissous) .....	37
Études courantes .....	38
Hygrométrie. Divers .....	38
Informations sur l'activité des trois Groupes de travail créés à la suite de la réunion internationale sur les masses (novembre 1976) .....	38
<i>Échelles de temps.</i> — Temps Atomique International (Stabilité; exactitude; différences avec l'échelle atomique libre). Transmission du temps par satellite. Les corrections relativistes .....	39
<i>Gravimétrie.</i> — Gravimètre absolu transportable (Améliorations à apporter) ..	41
<i>Thermométrie.</i> — Échelle Internationale Pratique de Température (Cellules scellées pour thermomètres du type capsule. Température des points triples de l'argon et du méthane. Cellule scellée pour thermomètres à tige. Cryostats. Comparaisons de cellules à point triple de l'eau. Ponts de mesures) .....	42
Températures thermodynamiques: étude par pyrométrie infrarouge (Préparation des mesures) .....	44
Études courantes .....	44
<i>Manométrie.</i> — Manobaromètre interférentiel .....	44
Projet d'instrument de transfert de pression .....	45
Enquête sur les mesures de pression .....	45
<i>Électricité.</i> — Exactitude de la représentation de l'ohm conservée par le BIPM ..	45
Comparaisons de représentations nationales de l'ohm (Rattachement de $\Omega_{\text{NPL}}$ , $\Omega_{\text{ASMW}}$ , $\Omega_{\text{NBS}}$ à $\Omega_{69\text{-BI}}$ ) .....	46
Étalons de résistance en alliage or-chrome (Évolution) .....	47
Dispositif pour la détermination du coefficient de pression des étalons de résistance (Modifications) .....	48
Conservation des piles étalons (Enceintes à grande inertie thermique; enceintes thermorégulées) .....	49
Conservation de l'unité de force électromotrice (Mesures par l'effet Josephson) ..	49
Comparaisons de représentations nationales du volt (Rattachement de $V_{\text{NPL}}$ à $V_{76\text{-BI}}$ par comparaison de dispositifs Josephson, et de $V_{\text{ASMW}}$ à $V_{76\text{-BI}}$ ) .....	50
Recherche des erreurs systématiques dans l'installation Josephson .....	51
Fabrication des jonctions pour l'effet Josephson .....	51
Équipement. Études courantes .....	51
<i>Photométrie.</i> — Installations de mesure (Assèchement de l'air; récepteur à cellule au Si). Études courantes .....	52
<i>Rayons X et <math>\gamma</math>, électrons.</i> — Rayons X (Relation entre l'exposition et le kerma dans l'air; rapport du kerma dans l'air au kerma dans l'eau ou le gaz TE) ..	53

Rayonnement $\gamma$ du $^{60}\text{Co}$ : Enregistrement automatique de données sur cassettes à bande magnétique. Mesure de l'exposition (Rayonnement de freinage; corrections d'humidité et de non-uniformité axiale). Mesure de la dose absorbée dans le graphite (Détermination ionométrique du débit de dose absorbée. Comparaisons internationales d'étalons calorimétriques (NBS, LMRI, PTB) à l'étalon ionométrique du BIPM; valeur de $W/e$ )	54
Électrons: Préparation de la mesure de $W$ . Contribution au rapport ICRU sur $W$	59
<i>Radionucléides.</i> — Étalonnage de sources radioactives: comparaisons internationales de mesures d'activité ( $^{130}\text{Ce}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ )	60
Mesures avec l'ensemble de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ (Sources de $^{60}\text{Co}$ à taux de comptage élevé. Vérification de la validité de la formule de Cox et Isham. Dosage de $^{56}\text{Mn}$ )	61
Mesures relatives d'activité au moyen d'une chambre d'ionisation $4\pi$ à pression (Sources de référence. Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons $\gamma$ . Mesures d'activité de solutions de $^{56}\text{Mn}$ . Effets de densité et de recombinaison)	63
Statistiques de comptage	65
Asymétrie d'une distribution de comptage	66
Détection de fluctuations supplémentaires dans un processus de Poisson	68
Autres travaux	69
Spectrométrie $\alpha$ : Mesure de l'énergie des particules $\alpha$ émises par le $^{230}\text{Pu}$ . Valeurs recommandées d'énergie et d'intensité de rayonnements $\alpha$	70
<i>Mesures neutroniques.</i> — Comparaison internationale des mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques	71
Irradiation de feuilles d'Al par les neutrons de 14,68 MeV (Résultats obtenus à l'IRK (Autriche) et au BIPM)	71
Mesure de l'activité de la solution de $\text{MnSO}_4$ par la méthode de circulation.	71
Mesure du rapport des sections efficaces d'absorption de neutrons thermiques pour l'hydrogène et le manganèse (Principe; expérience; résultats)	73
Publications du BIPM	77
Publications extérieures	77
Rapports internes	77
Certificats et Notes d'étude	79
IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES	81
Documentation; Système International d'Unités	81
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux	82
Voyages, visites, conférences, exposés du personnel	82
Visite et stages au BIPM	85
V. COMPTES	89
<b>Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie (12<sup>e</sup> session-1978) au CIPM,</b> par M. Durieux	T 1
Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K (EPT-76)	T 7
<b>Rapport du Comité Consultatif des Unités (6<sup>e</sup> session-1978) au CIPM,</b> par H. Jensen et H. Moreau	U 1
<b>Rapport du Comité Consultatif d'Électricité (15<sup>e</sup> session-1978) au CIPM,</b> par A. F. Dunn	E 1
Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences	E 9

**Annexe**

État d'avancement des études sur les lasers asservis et définition du mètre  
(Rapport du BIPM d'après les réponses à deux questionnaires envoyés le  
28 octobre 1977 et le 3 mars 1978 aux membres du Comité Consultatif pour la Défini-  
tion du Mètre)..... A 1

**Notices néerologiques**

E. Djakov, par *P. Honti* ..... XI  
M. Siegbahn, par *E. Ingelstam* ..... XIII

INDEX ..... XV

---

IMPRIMERIE DURAND  
28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal, Imprimeur, 1979  
ISBN 92-822-2052-4

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 1979-07-04

Imprimé en France