

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

# PROCÈS - VERBAUX

DES SÉANCES

---

2<sup>e</sup> SÉRIE — TOME 44

---

65<sup>e</sup> SESSION — 1976  
(28-30 septembre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2046-X

---

## 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 <sup>(1)</sup>.

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. Le budget annuel du Bureau International est de l'ordre de 5 000 000 de francs-or, soit environ 2 000 000 dollars U.S.

---

<sup>(1)</sup> Au 31 décembre 1976, quarante-quatre 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, Corée, 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* (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ); cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le *Comité Consultatif des Unités* (CCU), créé en 1964.

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 30 SEPTEMBRE 1976

---

### *Président*

1. J. V. DUNWORTH, Ancien Directeur du National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex TW11 OLW (Grande-Bretagne).

### *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, Acting Director, 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. E. DJAKOV, Directeur de l'Institut d'Électronique, Académie des Sciences de Bulgarie, Sofia 13.
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, Moscou M-49.
8. D. KIND, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig.

9. F. J. LEHANY, Directeur du National Measurement Laboratory, University Grounds, City Road, *Chippendale*, N.S.W. 2008 (Australie).
10. A. MARÉCHAL, Directeur Général de l'Institut d'Optique, 3-5, boulevard Pasteur, 75015 *Paris*.
11. J. M. OTERO, Ancien Président de la Junta de Energia Nuclear, Alfonso XII, 32, *Madrid* 14.
12. A. PERLSTAIN, Directeur du Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Lindenweg 24, 3084 *Wabern* (Suisse).
13. H. PRESTON-THOMAS, Directeur Associé de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, *Ottawa* K1A 0S1.
14. Y. SAKURAI, Directeur du National Research Laboratory of Metrology, 10-4, 1-Chome, Kaga, Itabashi-ku, *Tokyo*.
15. M. SANDOVAL VALLARTA, Membre de la Commission Nationale de l'Énergie Nucléaire, Insurgentes Sur 1079, *Mexico*, D. F. \*
16. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 *Uppsala* 1 (Suède).
17. J. STULLA-GÖTZ, Ancien Président du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gentzgasse 3, 1180 *Wien*.
18. A. R. VERMA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, *New Delhi* 12.

*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, 51 Southern Drive, *Ottawa* 1, Ontario.
8. M. KERSTEN, Ancien Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 *Braunschweig*.
9. M. SIEGBAHN, Directeur du Nobelinstitutet för Fysik, *Stockholm* 50.

---

\* Le Bureau International des Poids et Mesures a appris avec un vif regret, par une information de presse, le décès de M. SANDOVAL-VALLARTA survenu en avril 1977.

---

# LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1<sup>er</sup> JANVIER 1977

---

*Directeur* : J. Terrien

*Sous-Directeur* : P. Giacomo

## LABORATOIRES

### *Physiciens Chercheurs principaux*

A. Allisy, P. Carré, A. Rytz.

### *Physiciens et Métrologistes*

G. Leclerc, A. Sakuma, J. Hamon,  
J. Bonhoure, J. W. Müller,  
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,  
D. Carnet, F. Lesueur, C. Veyradier,  
M<sup>me</sup> J. Coarasa, D. Avrons,  
R. Pello, C. Garreau, D. Bournaud,  
M<sup>me</sup> J.-M. Chartier,  
M<sup>me</sup> R. Czerwonka.

### *Atelier de mécanique*

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

## ADMINISTRATION ET SERVICES

### *Métrologiste rédacteur*

H. Moreau.

### *Administrateur*

J. Gaillard.

### *Secrétaires*

M<sup>lles</sup> J. Monprofit, D. Guégan.  
M<sup>mes</sup> B. Petit, L. Coquan-Delfour.  
M<sup>me</sup> G. Pedrielli (contractuelle).

### *Gardiens*

A. Montbrun, L. Lecoufflard.

### *Services d'entretien généraux*

A. Gama.  
3 employés (contractuels).

*Directeur honoraire* : Ch. Volet

---

## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

---

1. Ouverture de la session; quorum; approbation de l'ordre du jour.
  2. Nécrologie; nouveau membre.
  3. Élection d'un Vice-Président.
  4. Rapport du Secrétaire du Comité.
  5. Rapports des Comités Consultatifs (CCPR, CCT, CCU); réunions futures.
  6. Révision de la composition des Comités Consultatifs.
  7. Travaux du BIPM.
  8. Visite des laboratoires et du Dépôt des prototypes métriques.
  9. Questions administratives.
  10. Désignation du directeur et du sous-directeur devant prendre fonction après le départ du directeur actuel du BIPM.
  11. Proposition du Chili concernant la répartition des contributions des États.
  12. Questions diverses.
-

## PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES A 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 65<sup>e</sup> session du mardi 28 au jeudi 30 septembre 1976. Il a tenu quatre séances.

Étaient présents: MM. AMBLER\*, DJAKOV, DUNWORTH, HONTI, ISSAEV, KIND, MARÉCHAL, PERLSTAIN, PRESTON-THOMAS, SAKURAI\*\*, TERRIEN (directeur du BIPM) et GIACOMO (sous-directeur).

Interprètes: MM. Oboukhov et Vigoureux.

Excusés: MM. DE BOER, CINTRA DO PRADO, LEHANY, SIEGBAHN, STULLA-GÖTZ.

Absents: MM. OTERO, SANDOVAL-VALLARTA et VERMA.

Secrétaire: M<sup>lle</sup> Monprofit.

### 1. *Ouverture de la session; quorum; approbation de l'ordre du jour*

Le *Président* ouvre la séance en constatant que le quorum est atteint et que le Comité peut par conséquent délibérer valablement. Il informe le Comité de l'absence de Mr de Boer, soudainement empêché pour raison de santé de participer aux travaux de la présente session. Il regrette que le Comité soit privé de la précieuse collaboration de son secrétaire; toutefois, celui-ci se tient à la disposition du Comité pour répondre à tout appel téléphonique.

L'ordre du jour est approuvé.

---

\* Mr Ambler n'a pu assister à la dernière séance.

\*\* Mr Sakurai n'a pu assister aux deux premières séances.

## 2. *Nouveau membre; nécrologie*

C'est un grand plaisir pour le Président d'accueillir Mr D. Kind, élu à l'unanimité membre du CIPM à la suite du décès de U. Stille. Mr Kind est président de la PTB et sa collaboration sera certainement précieuse pour le CIPM.

La disparition de U. Stille a été particulièrement brutale; elle a privé le CIPM de son vice-président précisément au moment où celui-ci, qui venait de prendre sa retraite de président de la PTB, comptait mettre au service du CIPM et du BIPM toutes ses qualités et sa profonde expérience de la métrologie.

Le *Président* rappelle aussi le souvenir d'Albert Bonhoure et de V.O. Aroutunov.

A. Bonhoure avait fait une longue carrière au BIPM, en particulier dans la section des masses; il avait été nommé adjoint en 1936; il avait pris sa retraite en 1963 et avait été nommé adjoint honoraire.

V.O. Aroutunov a été longtemps directeur de l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléév de Leningrad; il était bien connu de tous car il avait participé aux travaux de plusieurs Conférences Générales; il a joué un rôle important pour la métrologie non seulement en U.R.S.S. mais dans le monde.

Une minute de silence est observée en mémoire de ces personnalités disparues.

## 3. *Élection du Vice-Président du CIPM*

Le *Président* présente la proposition unanime du bureau du Comité, suggérant la candidature de Mr P. Honti au poste de Vice-Président du CIPM. Le Président précise qu'il en a parlé en privé également à quelques membres du Comité et que cette suggestion a été accueillie favorablement. Il croit aussi savoir que Mr Honti acceptera cette charge si cela lui est demandé.

Mr *Terrien* rappelle que ce vote doit, d'après les dispositions de la Convention du Mètre, avoir lieu au scrutin secret.

Le Comité n'ayant pas exprimé le désir d'avoir une discussion prolongée sur cette candidature, il est procédé au vote de cette façon.

Mr Honti est élu vice-président du CIPM à l'unanimité.

Le *Président* félicite Mr Honti de cette élection et lui exprime le plaisir qu'il éprouve à la perspective de travailler dans une collaboration plus étroite encore au sein du bureau du Comité.

Mr *Honti* remercie le Président et le Comité de l'honneur qui lui est fait et auquel il ne s'attendait pas. Dans la limite de ses possibilités,

il compte remplir la mission qui lui est confiée dans l'intérêt de la métrologie et du CIPM.

Mr *Terrien* précise que Mr *Honti* a beaucoup travaillé en faveur de la métrologie en Hongrie. Dès 1954, il a dirigé la délégation hongroise à la CGPM et il a, dès la création de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale, joué un rôle important dans cet organisme. Cela lui permettra de renforcer les relations du bureau du Comité avec l'OIML.

L'ordre du jour appelle le rapport du Secrétaire du CIPM. En l'absence de ce dernier, Mr *Terrien* donne lecture du rapport préparé par Mr de Boer.

#### 4. Rapport du Secrétaire du Comité

(27 mai 1975 — 28 septembre 1976)

1. *États membres de la Convention du Mètre.* — La liste des États membres est restée inchangée et comporte toujours 44 États.

##### 2. *Membres du Comité International*

*Décès.* — Le décès de notre Vice-Président U. Stille, survenu le 7 mars 1976, a jeté la consternation chez ses nombreux amis. Nous avons tous pu admirer sa compétence, l'étendue de ses connaissances pour tout ce qui concerne la métrologie et les relations internationales, sa droiture, et le soin attentif qu'il apportait à l'accomplissement de tous ses devoirs. Sa disparition est une immense perte pour nous et pour la communauté scientifique.

*Élection.* — A la suite d'un vote par correspondance à scrutin secret, Mr Dieter Kind a été élu le 14 juin 1976 membre du Comité International au siège laissé vacant par le décès de U. Stille. Mr Kind est Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt à Braunschweig.

3. *Réunions de Comités Consultatifs.* — Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie a tenu sa 8<sup>e</sup> session sous la présidence de Mr A. Maréchal (3-5 septembre 1975). Exceptionnellement, cette session a eu lieu au NPL, à Teddington, afin d'assurer une étroite liaison avec la Commission Internationale de l'Éclairage qui s'est réunie à Londres à la même époque.

Le Comité Consultatif de Thermométrie a tenu sa 11<sup>e</sup> session sous la présidence de Mr H. Preston-Thomas (15-17 juin 1976).

Le Comité Consultatif des Unités a tenu sa 5<sup>e</sup> session sous la présidence de Mr J. de Boer (23-24 juin 1976).

4. *Bureau du Comité International.* — Les principales activités du bureau du Comité furent les suivantes. Il s'est réuni le 14 novembre 1975 afin de régler quelques questions laissées en suspens lors de la session de mai 1975 du CIPM, les décisions à prendre étant prématurées à cette époque.

En particulier, le bureau du Comité a comparé le niveau de la grille des salaires au BIPM, qui était restée inchangée depuis 1973, au niveau des salaires pratiqués en France; il a décidé le relèvement approprié de cette grille.

La révision du règlement de la Caisse de retraites a été abordée, puis discutée plus à fond lors d'une autre réunion du bureau du Comité le 14 juin 1976.

Le bureau du Comité a examiné les propositions qui seront présentées au CIPM concernant la désignation d'un directeur et d'un sous-directeur du BIPM qui prendraient leurs fonctions après le départ du directeur actuel, J. Terrien, qui sera atteint par la limite d'âge, et dont le départ est prévu à la fin de l'année 1977.

5. *Indications financières.* — Le tableau ci-après donne la situation de l'actif du BIPM, en francs-or, au 1<sup>er</sup> janvier des années portées en tête de colonne :

	1973	1974	1975	1976
Fonds ordinaires .....	2 673 129,92	2 979 898,93	4 448 364,62	5 455 315,24
Caisse de retraites .....	444 635,53	544 116,71	682 419,48	855 396,40
Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique .....	21 763,59	39 465,59	39 465,59	39 465,59
Caisse de prêts sociaux ...	—	4 136,88	7 156,34	10 811,45
Totaux .....	3 139 529,04	3 567 798,11	5 177 406,03	6 360 988,68

Ce rapport ne donne lieu à aucun commentaire.

### 5. Rapports des Comités Consultatifs (CCPR, CCT, CCU); réunions futures

#### Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)

Mr *Maréchal*, président du CCPR, présente le rapport (*voir* p. P 1) de ce Comité Consultatif qui s'est réuni en septembre 1975. Exceptionnellement, la réunion a eu lieu à Londres où la plupart des participants assistaient à la 18<sup>e</sup> session de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). Le sujet essentiel abordé par le CCPR a été la question de la redéfinition des unités photométriques. C'est une question difficile; elle a été soulevée dans un document présenté conjointement par le National Bureau of Standards (États-Unis) et le National Measurement Laboratory (Australie), et elle a entraîné de longues discussions. Mr *Maréchal* donne lecture des sept Recommandations proposées en conclusion par le CCPR (p. P 11).

Les Recommandations P 1 à P 4 concernent essentiellement les unités photométriques; leur discussion est renvoyée à la suite, après le compte rendu de la session du CCU.

Les Recommandations P 5 et P 6 demandent au CIPM de sanctionner les fonctions  $V'(\lambda)$  pour la vision scotopique et les fonctions  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  et  $\bar{z}(\lambda)$  pour la colorimétrie. Ces fonctions ont été adoptées par la CIE et sont utilisées depuis de nombreuses années. Il serait donc souhaitable que le CIPM, qui a déjà adopté la fonction  $V(\lambda)$ , sanctionne également ces fonctions. Le CIPM approuve à l'unanimité les Recommandations P 5 et P 6.

La Recommandation P 7 a pour objet la date de la prochaine réunion du CCPR; il appartient au Président de ce Comité Consultatif de fixer cette date en accord avec les personnes directement intéressées.

Au sujet des Recommandations P 1 à P 4, le *Président* souligne que le CIPM devra prendre un jour une décision, mais pas nécessairement cette année. Il demande aux membres du CIPM qui ont des points de

vue très nets sur la question de lui en faire part au cours des six prochains mois.

Mr *Ambler* rappelle que cette question des unités photométriques a aussi été discutée à la réunion du Comité Consultatif des Unités; il demande donc que le CIPM entende les conclusions du CCU avant de se prononcer sur les Recommandations P 1 à P 4 du CCPR.

#### Comité Consultatif des Unités (CCU)

En l'absence de Mr de Boer qui a présidé la 5<sup>e</sup> session (juin 1976) du CCU et dirigé ses travaux, Mr *Terrien* présente le rapport provisoire de cette session (*voir* le rapport définitif p. U 1). Le CCU n'a pas présenté de recommandations formelles, mais seulement un ensemble de conclusions.

#### *Brochure sur le SI*

La conclusion N<sup>o</sup> 1 concerne la brochure du BIPM « Le Système International d'Unités (SI) », dont il convient de préparer la 3<sup>e</sup> édition.

Dans la 2<sup>e</sup> édition (1973) l'usage des symboles « °K » et « deg » était encore toléré; cette tolérance devrait disparaître. Mr *Preston-Thomas* précise que le Comité Consultatif de Thermométrie a fait à ce sujet une recommandation au CCU; l'ensemble du CCT est très favorable à la suppression de cette tolérance.

Mr *Terrien* souligne que cette tolérance résulte d'une Résolution de la 13<sup>e</sup> CGPM, aussi le CIPM doit-il, pour le moment, se borner à exprimer son opinion; il devra proposer à la prochaine CGPM d'abroger cette tolérance.

Le CCU a aussi demandé au CIPM d'examiner l'opportunité de recommander à la CGPM la suppression du chiffre « 1 » dans les noms d'unités tels que « 1 par mètre ».

Mr *Terrien* note que cette décision est importante pour les législateurs. En anglais, il existe des expressions du type « reciprocal metre » ou « reciprocal second » qui n'ont pas toujours leur équivalent dans les autres langues. Dans un projet de l'ISO, les expressions correspondantes employées en français sont « par mètre, par seconde ». La décision ne concerne pas seulement les scientifiques mais également les utilisateurs. Mr *Terrien* suggère que toute décision à ce sujet soit remise à plus tard.

Pour Mr *Ambler*, il n'est pas nécessaire que la version française et la version anglaise d'un même texte soient rigoureusement identiques.

Mr *Honti* note qu'il s'agit de la nouvelle édition de la brochure du BIPM et que le CIPM doit prendre une décision: ou bien s'en tenir à l'ancien texte ou bien suivre les propositions du CCU. Personnellement, il est d'avis de n'apporter aucune modification à l'ancien texte.

Mr *Perlstein* soutient l'opinion de Mr *Honti*. En Suisse le problème est le même; les lois sont publiées en trois langues et le problème est le même en allemand qu'en français.

En conclusion, le *Président* constate qu'aucun changement ne peut être décidé actuellement; il est donc convenu de ne pas modifier l'ancienne rédaction sur ce point.

Toujours dans la brochure du BIPM sur le SI, le CCU a décidé de supprimer les mots « [et non de poids ni de force] » qui avaient été insérés dans les commentaires accompagnant la définition de l'unité de masse. Ces mots avaient été ajoutés afin de rappeler que la déclaration de la 3<sup>e</sup> CGPM (1901) visait à bien marquer la distinction entre « masse » et « poids ». La discussion sur ce point a toutefois montré que dans de nombreux pays, et ceci quelle que soit la langue, on ne fait pas toujours cette distinction dans le langage populaire.

### *Symbole du litre*

Dans sa conclusion N<sup>o</sup> 2, le CCU a proposé le remplacement de la lettre « l » minuscule par « L » majuscule comme symbole du litre.

Mr *Preston-Thomas* est très favorable à ce changement.

Mr *Honti* est d'un avis contraire. Depuis qu'il prend part aux travaux du CIPM, il a déjà vu beaucoup de changements et encore davantage de propositions de changement. Il les classe en deux catégories. Les uns sont motivés par des nécessités scientifiques, ce fut le cas par exemple de la définition de la seconde; cela est raisonnable. Les autres ne sont pas nécessaires pour des raisons scientifiques mais tendent à une plus grande logique. Dans ce dernier cas il faut très soigneusement envisager les avantages et les inconvénients du changement. Mr *Honti* pense que si l'on concevait aujourd'hui le système métrique, il faudrait choisir L comme symbole pour le litre. Mais le symbole l est employé depuis plus de cent ans dans les pays qui se servent traditionnellement du système métrique et jusqu'à présent l'utilisation de ce symbole n'a pas soulevé de difficulté majeure.

La position des pays qui introduisent maintenant le système métrique dans leur législation se comprend, mais il faut aussi tenir compte de la pratique centenaire qui existe dans les autres pays. En conclusion, Mr *Honti* est opposé au changement du symbole du litre.

Mr *Preston-Thomas* insiste; pour lui, il ne s'agit pas d'une question de logique mais de commodité et d'universalité. Il suggère d'accepter L comme alternative à l.

Mr *Issaev* appuie la position de Mr *Honti*. Avant tout, il précise que dans la langue russe le risque de confusion entre la lettre l et le chiffre 1 n'existe pas. Mais il veut surtout faire remarquer que des changements même minimes dans la désignation des unités entraînent de grosses dépenses; il pense en particulier aux rééditions de manuels scolaires qui deviennent nécessaires. Par ailleurs, il rappelle la règle selon laquelle les capitales sont réservées aux symboles des unités dont le nom est un nom propre ou en est dérivé.

Mr *Issaev* ajoute que, d'après l'expérience qu'il a de la propagation

du SI en U.R.S.S., il convient d'être extrêmement prudent avec les moindres changements.

Mr *Perlstein* suggère que tout en gardant comme symbole principal l, L puisse être utilisé lorsqu'il existe une possibilité d'erreur ou de confusion.

Mr *Kind* préfère que l'on s'en tienne au symbole traditionnel. Il demande si dans le passé le CIPM a ainsi laissé le choix en ce qui concerne les symboles.

Mr *Preston-Thomas* répond que la seule alternative que l'on ait eue dans le passé concernait °K et K et le CIPM envisage précisément de mettre fin à cette tolérance.

Mr *Ambler* est favorable à L mais il est sensible aux objections contre des changements minimes mais trop fréquents dans cette brochure.

Mr *Maréchal* est pour la prudence dans ce type de décision.

Mr *Honti* suggère que l'on pourrait envisager d'utiliser une abréviation lorsque la confusion entre la lettre l et le chiffre 1 est possible.

Le *Président* résume la situation. Les pays de langue anglaise se convertissent au système métrique; il ne peut donc être question de retarder la décision sur le symbole du litre. Il suggère de conserver le symbole l et, lorsqu'il existe un risque de confusion, d'écrire le mot litre en entier ou à défaut d'utiliser l'abréviation « ltr. ». Il ne souhaite pas proposer l'alternative L ou l, car on pourrait accuser le CIPM d'être indécis.

Mr *Terrien* rappelle qu'il faut aussi penser aux unités dérivées.

L'ensemble du Comité, à l'exception de Mr *Preston-Thomas* un peu réticent, se rallie à la proposition de son président de conserver « l » avec la possibilité d'utiliser « ltr. ».

Mr *Honti* demande si la CGPM doit ratifier cette décision.

Le *Président* répond par l'affirmative; cela sera fait en 1979.

### *Grandeurs comportant un facteur biologique*

Le Comité passe aux conclusions Nos 3, 4 et 5 du rapport du CCU (p. U11). Pour la discussion de ces points, il a demandé à Mr *Allisy* d'assister à la séance afin de pouvoir rendre compte des travaux de la « Main Commission » de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) qui s'est réunie du 19 au 25 septembre 1976 à Bruxelles.

Auparavant, Mr *Terrien* commente le document qu'il a préparé à la demande du CCU sur les grandeurs comportant un facteur biologique. Ce document a été envoyé également aux membres du CIPM.

Le nom de l'unité n'est pas suffisant pour identifier la grandeur. En effet, toutes les grandeurs qui ont la même dimension ont la même unité lorsqu'elle est exprimée au moyen des unités SI de base. Mais les utilisateurs n'y sont pas toujours habitués, ils indiquent souvent l'unité sans spécifier la grandeur. Les grandeurs photométriques, acoustiques et certaines grandeurs concernant les rayonnements ionisants sont définies par deux éléments; l'un est purement physique, par exemple la puissance avec le watt comme unité, l'autre est une valeur convenue

correspondant à la sensibilité de l'organe concerné. Le facteur employé pour introduire la sensibilité a-t-il une dimension ou non ? En photométrie, la candela étant une unité de base, ce facteur a une dimension et son unité est par exemple le lumen par watt. Il existe bien d'autres grandeurs de même type; si l'on procède comme avec les grandeurs photométriques, nous pourrions avoir dix ou vingt unités de base, ce qui est contraire à la simplicité recherchée dans le SI. Mais on peut aussi convenir que la sensibilité n'a pas de dimension, et éviter ainsi cette prolifération d'unités.

Mr Allisy expose ensuite la position de l'ICRU.

Il précise que l'ICRU s'intéresse essentiellement aux grandeurs et s'en reporte au CCU pour les unités. Avant l'introduction du SI, la dose absorbée (quotient d'une énergie par une masse) était exprimée en rads, et l'équivalent de dose (dose absorbée multipliée par un facteur de pondération sans dimension) était exprimé en rems. Depuis l'introduction du SI, le rad a été remplacé par le joule par kilogramme ou gray. Que convient-il de faire pour l'équivalent de dose ? Faut-il un nouveau nom ?

L'ICRU propose que l'équivalent de dose soit maintenant appelé « effectance » ou « prado », acronyme de « protection adjusted absorbed dose » et que cette grandeur soit exprimée en grays ou en joules par kilogramme. Si cette grandeur porte un nouveau nom, elle pourrait s'exprimer en grays. En alternative, l'ICRU propose que le terme équivalent de dose subsiste et que l'unité correspondante soit le « sievert », nom proposé par l'International Commission on Radiological Protection (ICRP) et non pas par l'ICRU.

L'ICRP rassemble essentiellement des gens qui utilisent ces grandeurs. A la réunion de l'ICRU (septembre 1976), il a été décidé que son Président enverrait une lettre à l'ICRP expliquant pourquoi la première proposition est préférable.

Mr *Preston-Thomas* indique que le document envoyé par Mr Terrien sur les unités comportant un facteur biologique a été étudié par les photométristes du NRC et du NBS. Le but de Mr Terrien est d'empêcher la prolifération des unités. Mais si cela doit conduire à la confusion parmi les utilisateurs, cela n'est pas souhaitable. Une façon de tourner la difficulté consisterait à définir de nouvelles fonctions de base biologiques; au lieu du lumen par exemple, on aurait une fonction de base. Il faut considérer le document de Mr Terrien comme un point de départ et définir une nouvelle classe de fonctions de base biologiques. De même que le radian et le stéradian constituent une classe d'unités, il y aurait ainsi une autre classe composée de fonctions.

Pour Mr *Ambler*, la question est fondamentale parce que le SI est un système adapté aux grandeurs physiques. Il est important de lui conserver ce caractère. Pourtant, si l'on ne prend pas une décision, on va avoir un système touffu, qui ne sera pas nécessairement accepté par

les utilisateurs. Dans quelle mesure le CIPM doit-il approuver des unités de ce genre ? Nous avons besoin d'une nouvelle classe d'unités pour faire face au problème.

Mr *Perlstain* insiste sur le fait que le problème doit trouver sa solution à courte échéance. Il signale qu'en Suisse il y a des difficultés pour introduire le gray. L'opposition contre cette unité est assez vive par crainte d'accidents dus à des confusions. Il demande à Mr Allisy quelle est la position de l'ICRP. Mr Allisy répond que l'ICRP n'a pas encore été effectivement informée des décisions de l'ICRU; seuls quelques membres de l'ICRP également membres de l'ICRU sont informés.

Mr *Issaev*, qui a une longue expérience des mesures dans le domaine des rayonnements ionisants, rappelle qu'il a été difficile de passer du röntgen au rad, de même qu'il est maintenant difficile de passer au gray. Pour lui, c'est un problème de formation en physique du personnel médical. Peut-être est-on allé trop vite pour introduire ces unités : celles-ci étant liées à l'action biologique, le coefficient est différent selon l'énergie et la nature des particules. Un certain laps de temps est nécessaire pour que les utilisateurs s'adaptent à toute nouvelle unité. La question est également liée à l'étalonnage des appareils de mesure. Il insiste sur la prudence dont il faut faire preuve pour introduire de nouvelles unités.

Mr *Ambler* suggère de constituer un groupe de travail comprenant des membres des trois comités concernés (CCU, CCEMRI, CCPR) pour étudier l'ensemble de l'introduction dans le SI de ce type d'unités.

Mr *Terrien* croit savoir qu'un groupe de travail de ce genre a été constitué entre les États-Unis et le Canada; il serait intéressant de connaître son rapport. Il pense qu'il faut discuter sur des documents écrits. Mr *Preston-Thomas* répond que ce groupe est en train de préparer un projet concernant les unités photométriques.

#### *Autres suggestions pour la brochure sur le SI*

Mr *Djakov* soumet une lettre qu'il avait envoyée au BIPM fin juillet 1976, lettre qui contenait des suggestions pour la prochaine (3<sup>e</sup>) édition de la brochure sur le SI. Cette lettre est arrivée après la réunion du CCU; c'est regrettable, mais il n'est pas possible que le CIPM reprenne toute la discussion et se substitue au CCU. Cette lettre est donc renvoyée au CCU.

Mr *Djakov* souhaiterait que cette 3<sup>e</sup> édition réponde à certaines questions qui sont restées sans réponse jusqu'à maintenant, questions qui ont été généralement soulevées par la mise en pratique du SI. Il cite par exemple le cas du bar; cette unité doit être abandonnée mais elle est toujours légale dans de nombreux pays. Mr *Djakov* voudrait que le projet de la 3<sup>e</sup> édition soit soumis aux membres du CIPM, à certaines organisations internationales intéressées et éventuellement aux services métrologiques des pays membres de la Convention du Mètre. Il préférerait que la publication de la 3<sup>e</sup> édition soit retardée afin qu'elle soit plus parfaite.

Le *Président* ne pense pas que cette suggestion puisse être retenue pour la 3<sup>e</sup> édition en cours de préparation. Si l'on devait suivre ce processus, cela prendrait beaucoup trop longtemps. On peut envisager cette façon de faire pour la 4<sup>e</sup> édition, sinon cela retarderait la 3<sup>e</sup> édition jusqu'en 1978 alors que la précédente date de 1973.

Mr *Kind* pense que l'amélioration de la brochure est un processus continu. Il ne faut pas seulement considérer l'édition en langue française, mais aussi les éditions dans les autres langues. A son avis, il faut accélérer la sortie de la 3<sup>e</sup> édition en français.

Le *Président* conclut la discussion en convenant que l'on accélérera la publication de la 3<sup>e</sup> édition et qu'il sera tenu compte des suggestions faites pour la 4<sup>e</sup> édition.

### *Billion et trillion*

Au sujet de ces deux noms, le *Président* rappelle qu'en 1948 la 9<sup>e</sup> CGPM a conseillé pour les pays européens de définir billion comme égal à  $10^{12}$  et trillion comme égal à  $10^{18}$  ; mais dans les pays de langue anglaise et même ailleurs, dans les milieux financiers et même dans les milieux scientifiques, on emploie souvent billion pour  $10^9$  et trillion pour  $10^{12}$ . Il faudra soumettre à la prochaine Conférence Générale une proposition tendant à proscrire l'usage de billion et trillion dans les milieux scientifiques puisque maintenant on dispose des préfixes giga et téra. Il n'est pas nécessaire de discuter de la question maintenant, mais on doit en prendre note pour la prochaine CGPM.

### **Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)**

Mr *Preston-Thomas* rend compte des travaux du CCT. Il rappelle qu'en 1975 la Conférence Générale des Poids et Mesures a adopté une édition amendée de l'EIPT-68 et a demandé au CCT de travailler au remplacement de cette échelle.

Le CCT a tenu sa 11<sup>e</sup> session en juin 1976 et l'essentiel de son travail a effectivement porté sur la préparation de la future échelle. Un rapport abrégé a été remis aux membres du CIPM (*voir* p. T 1); les membres du CCT ont reçu un rapport détaillé <sup>(1)</sup>. Le CCT a présenté une recommandation en cinq points (p. T 8). Les points 1, 2 et 3 traitent de questions générales; ils indiquent les recherches que le CCT considère comme nécessaires pour arriver à une nouvelle version de l'EIPT. Le point 4 concerne des méthodes simplifiées de mesure de la température destinées à des utilisateurs qui n'ont pas besoin de la meilleure exactitude. Le point 5 est d'un caractère plus général et concerne les mesures aux températures élevées.

---

<sup>(1)</sup> Ce rapport détaillé est publié dans *Comité Consultatif de Thermométrie*, 11<sup>e</sup> session, 1976.

Par ailleurs, le CCT demande au CIPM l'autorisation d'utiliser une « Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K » (EPT-76; symbole des températures :  $T_{76}$ ) en attendant que soit promulguée la nouvelle EIPT. En effet, il faut tenter de résoudre les difficultés qui existent dans le domaine des basses températures; il faut surtout éviter la prolifération d'un trop grand nombre d'échelles dans ce domaine, les relations entre ces différentes échelles risquant d'être mal connues. L'échelle provisoire entre 0,5 et 30 K est à la fois lisse et proche des températures thermodynamiques. Le texte de cette échelle n'est pas encore rédigé en détail, mais le rapport en donne les lignes générales.

Mr *Preston-Thomas* expose ensuite la façon, très satisfaisante à son avis, dont travaille le CCT. Ce Comité Consultatif comporte cinq Groupes de travail limités chacun à quatre personnes. Ces Groupes de travail, chargés d'une tâche bien délimitée, présentent des rapports au CCT tous les deux ans.

A la demande expresse de Mr *Preston-Thomas*, le CIPM donne au CCT l'autorisation d'utiliser l'« Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K ».

#### **Autres Comités Consultatifs**

Le *Président* donne ensuite quelques informations sur l'activité des Comités Consultatifs qui ne se sont pas réunis récemment.

*Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)*. — Pour les discussions relatives à ce Comité Consultatif, Mr *Guinot*, directeur du Bureau International de l'Heure (BIH), a été invité à assister à la séance.

Mr *Terrien* rappelle que d'après les règles de « Mise en pratique du TAI » (CCDS, 1970), l'intervalle unitaire du TAI doit être égal à la seconde du SI telle qu'elle est réalisée en temps propre au niveau de la mer. Lors d'une session ultérieure, le CCDS a recommandé que le BIH utilise un algorithme pour assurer la continuité et l'exactitude du TAI. Les résultats donnés par trois étalons primaires de fréquence ont montré que la seconde du TAI est trop courte par rapport à la seconde du SI. Il convient donc de faire un ajustement de TAI. L'Assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale (UAI), au cours de sa réunion à Grenoble en août 1976, a décidé à l'unanimité d'effectuer un ajustement unique pour ramener la concordance avec la durée de la seconde du SI. Il s'agit là d'une décision nettement indépendante du choix de l'algorithme qui permettra de piloter TAI, pour en assurer ensuite la continuité et en maintenir l'exactitude par rapport aux étalons à césium qui réalisent la seconde du SI.

Mr *Guinot* ajoute que l'ajustement du TAI entraîne un changement dans UTC. Les fréquences qui sont reliées à UTC devront être réduites de  $10 \times 10^{-13}$  en valeur relative.

Le *Président* demande des commentaires car il est possible que certaines personnes considèrent comme prématuré d'effectuer un changement. Le CIPM doit affirmer une opinion qui ne comporte pas de réserve.

Mr *Kind* informe le Comité que les responsables de ces questions dans son laboratoire sont d'accord pour que l'on fasse le changement le 1<sup>er</sup> janvier 1977. Mr *Preston-Thomas* est du même avis, ainsi que Mr *Ambler* à qui la date proposée convient.

Mr *Terrien* précise qu'à l'Assemblée Générale de l'UAI deux raisons impératives ont été avancées pour introduire l'ajustement dès que possible. Les astronomes ont adopté une nouvelle échelle de temps, pour les éphémérides planétaires, étroitement liée au TAI. Il n'est donc pas souhaitable qu'une discontinuité soit introduite après sa mise en service. De plus, si l'ajustement est introduit plus tard, il entraînera davantage de perturbations et sera plus gênant parce que les utilisateurs deviennent de plus en plus exigeants. En conséquence, l'UAI a été unanimement favorable à ce que l'ajustement ait lieu le 1<sup>er</sup> janvier 1977 et non pas en 1978 comme certains le proposaient.

En conclusion, le *Président* constate que le CIPM est d'accord sur cette décision.

D'après certains, il conviendrait de réunir le CCDS prochainement afin d'étudier la question du pilotage du TAI; le *Président* demande l'avis de Mr *Guinot* à ce sujet.

Mr *Guinot* indique que le problème du pilotage du TAI est un problème difficile. Les étalons primaires à césium ne fonctionnent pas de façon permanente. Il faut avoir recours à des horloges commerciales jouant le rôle de garde-temps; celles-ci présentent un bruit aléatoire et par conséquent une dérive par rapport à l'échelle uniforme. A l'heure actuelle, il est possible de piloter l'échelle avec stabilité à long terme, mais la dérive due au bruit aléatoire détériore la stabilité à court terme; pourtant l'uniformité de l'échelle doit être assurée. On a effectué de nombreuses expériences de simulation d'échelles de temps, sur lesquelles on a fait des études statistiques et il semble possible de piloter une échelle atomique stable et exacte. On peut toutefois imaginer des circonstances dans lesquelles le pilotage serait défaillant. Cela doit donc être étudié par le CCDS de façon approfondie, d'où l'intérêt d'une réunion prochaine.

*Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (CCEMRI). — Son président, Mr *Ambler*, a présenté un court rapport qui n'appelle aucun commentaire.

*Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (CCDM). — Son président actuel, Mr *Otero*, ne semble pas devoir reprendre ses activités du fait de son état de santé; par ailleurs Mr *Stille*, qui avait assumé la présidence par intérim à la session de 1973 du CCDM, est maintenant décédé. De nombreux travaux sont en cours dans le domaine de la mesure des longueurs et il n'y a aucun rapport à présenter pour le moment.

## Réunions futures des Comités Consultatifs

Les réunions futures envisagées sont les suivantes :

- CCE : une réunion dans deux ans serait souhaitable, à la fin de septembre 1978, à une époque voisine de la réunion du CIPM pour faciliter la tâche de son président, Mr Lehany;
- CCPR : la première quinzaine de septembre 1977 est retenue <sup>(2)</sup>;
- CCT : en mai ou juin 1978;
- CCDM : il est suggéré que ce Comité se réunisse en 1978, mais sans autre précision;
- CCDS : il semble nécessaire que ce Comité se réunisse prochainement, sans doute au début de 1977 <sup>(2)</sup>;
- CCEMRI : après consultation des intéressés, la date de réunion du Comité principal a déjà été fixée aux 18 et 19 juillet 1977. Au préalable, les trois Sections de ce Comité se réuniront pour remettre leur rapport.  
Section I, Rayons X et  $\gamma$ , électrons : 2 au 6 mai 1977  
Section II, Mesures des radionucléides : 14 au 16 juin 1977  
Section III, Mesures neutroniques : 30 mai au 2 juin 1977;
- CCU : aucune réunion n'est envisagée pour le moment.

## 6. Révision de la composition des Comités Consultatifs

Le bureau du Comité n'est pas encore prêt à présenter des propositions précises, car il lui reste des questions fondamentales à étudier à fond; il faut attendre la prochaine session du CIPM pour prendre des décisions.

Pour le moment, le *Président* demande au CIPM de n'apporter que de petites modifications à la composition actuelle des Comités Consultatifs.

Au sujet du problème des unités photométriques, problème posé par le CCPR mais qui concerne aussi le CCU, le *Président* remarque qu'il faut envisager les rapports entre ces deux Comités Consultatifs. Il se peut que le CCU, dans sa forme actuelle, ne soit pas en mesure de traiter ce problème. Malheureusement, l'absence de son président, Mr de Boer, oblige à remettre la discussion sur ce sujet à plus tard.

En ce qui concerne le CCEMRI, des changements bénéfiques sont intervenus au sein de ce Comité Consultatif depuis que Mr Ambler en assure la présidence. Aucune révision fondamentale n'est à envisager pour le moment.

Mr *Ambler* demande toutefois l'autorisation d'inscrire l'Electro-technical Laboratory de Tokyo et le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants du Centre d'Études Nucléaires de Saclay

---

<sup>(2)</sup> Note ajoutée aux épreuves : Le CCPR se réunira du 7 au 9 septembre 1977, et le CCDS du 26 au 28 avril 1977.

dans la Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) du CCEMRI. L'accord du Comité lui est donné.

Au CCDM, il faudra envisager de nommer un nouveau président compte tenu de l'état de santé du président actuel, Mr Otero. Les membres du Comité sont invités à y penser afin que la décision puisse être prise lors de la prochaine session du CIPM.

Mr *Terrien* propose que l'Institut National de Métrologie du CNAM soit admis au CCDM. Il précise que ce laboratoire a une section d'optique et d'interférométrie particulièrement active, dirigée par un excellent physicien. Le Comité donne son accord sur cette proposition.

En ce qui concerne le CCDS, il n'est pas nécessaire de modifier pour le moment sa composition actuelle.

Il faut encore une session pour terminer le travail fondamental demandé par l'établissement du TAI et les problèmes annexes. Ultérieurement, il faudra certainement apporter des modifications à la composition du CCDS pour résoudre les problèmes liés à la relativité.

Au CCPR, son président Mr *Maréchal* souhaiterait adjoindre comme expert nommé désigné Mr E. Ingelstam (Suède), dont l'expérience serait particulièrement utile dans les discussions sur les questions actuelles d'unités.

Pour le CCE, le bureau du Comité a pensé qu'il faudra certainement créer de petits Groupes de travail en s'inspirant de ce qui a été fait au CCT. La question sera discutée avec son président, Mr Lehany.

Mr Lehany a proposé par écrit d'adjoindre au CCE le Van Swinden Laboratorium des Pays-Bas et l'Institut National de Métrologie de Roumanie. Le Van Swinden Laboratorium est un laboratoire actif, bien connu du BIPM depuis plusieurs années; il serait certainement souhaitable de l'inscrire sur la liste des membres du CCE.

Le *Président* craint que de nombreux laboratoires émettent le même souhait. A son avis, il serait peut-être plus sage d'attendre que l'on ait formé au sein du CCE les Groupes de travail dont il a été question avant d'inviter d'autres laboratoires. Certains laboratoires pourraient ainsi être invités à participer aux travaux des Groupes de travail plutôt qu'à ceux du Comité principal.

Mr *Kind* ajoute qu'il ne faut pas inscrire un laboratoire sur la liste des membres d'un Comité Consultatif sur sa simple demande. Pour qu'un laboratoire soit nommé membre d'un Comité Consultatif, il faut qu'il travaille à un niveau suffisamment élevé et que ses travaux soient connus dans les milieux métrologiques.

Mr *Preston-Thomas* préconise la présence dans les Comités Consultatifs d'un laboratoire par pays. Le nombre de pays adhérents à la Convention du Mètre n'est pas si grand. Son expérience lui fait conseiller la création de Groupes de travail. On donnerait ainsi à davantage de laboratoires

la possibilité d'émettre leur opinion et finalement le CIPM serait mieux informé des besoins de chaque pays.

La discussion se poursuit sur les rôles des deux laboratoires proposés dans leur pays respectif.

Finalement, la proposition ne rencontrant aucune opposition formelle, les deux laboratoires néerlandais et roumain sont inscrits sur la liste des membres du Comité Consultatif d'Électricité.

## 7. Travaux du BIPM

La troisième séance du Comité a été essentiellement consacrée à l'exposé par les physiciens responsables des travaux qui ont été poursuivis depuis deux ans au BIPM. Mr Giacomo, sous-directeur, a assuré la présentation de ces travaux.

Dans le domaine des *mesures de longueur*, il faut signaler l'installation d'un dispositif d'affichage numérique des indications des microscopes photoélectriques.

On a commencé une comparaison internationale de mesure de deux règles divisées. Il est prévu que cette comparaison s'étale sur deux ans. Les règles sont actuellement au National Measurement Laboratory en Australie, première étape de la comparaison.

Le BIPM a beaucoup travaillé sur les *lasers*; il a aidé plusieurs laboratoires à construire des lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode. On a effectué des comparaisons de lasers du BIPM avec des lasers de l'INM (Paris), du NPL (Teddington) de la PTB (Braunschweig) et de l'IMGC (Turin). Ces comparaisons ont permis d'évaluer la reproductibilité de la fréquence, dans l'état actuel, et par exemple de comparer les installations électroniques utilisées qui étaient différentes dans chaque laboratoire et qui influent sur cette reproductibilité.

Dans le domaine des *mesures de masse* on a abordé l'étude des effets de la pression et de l'état hygrométrique sur la conservation des étalons de masse. Le problème s'est posé il y a quelque temps à la suite de mesures faites au NBS, qui ont donné des résultats surprenants.

Le BIPM a mené une enquête sur ce problème; une réunion de spécialistes des mesures de masse doit se tenir à Sèvres du 23 au 25 novembre 1976. Les travaux sur la mesure de la masse volumique de l'eau sont poursuivis.

En ce qui concerne l'*échelle de temps*, les recherches sur l'évaluation de l'écart entre la seconde du SI et la seconde du TAI ont conduit à reconnaître la nécessité d'ajuster la fréquence du TAI.

En *thermométrie*, dans le cadre de l'extension de la réalisation de l'EIPT au BIPM, on a en particulier réalisé le point triple de l'argon.

En *électricité*, l'effort est toujours porté sur la conservation du volt à l'aide de l'effet Josephson. T. Witt s'acquitte de ce travail avec succès. Le raccordement de  $V_{69-BI}$ , défini par un groupe de piles, à  $V_{76-BI}$  conservé par l'effet Josephson, est maintenant bien établi.

En *photométrie*, c'est surtout à une activité importante d'étalonnage de lampes que le BIPM s'est consacré.

En *gravimétrie* les travaux continuent; le gravimètre enregistreur fonctionne de façon permanente sans dérive appréciable. Le BIPM travaille en collaboration avec l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Italie) sur le gravimètre absolu transportable, dont l'exactitude ( $1 \times 10^{-8}$ ) a été confirmée au cours de plusieurs campagnes et devrait permettre d'améliorer considérablement les liaisons intercontinentales. Il travaille aussi à la réalisation du gravimètre destiné à l'Observatoire de Mizusawa (Japon). A cette occasion, A. Sakuma signale que l'on a pu assurer la construction industrielle d'excellents trièdres réflecteurs employés avec ces gravimètres.

Dans la section des *rayonnements ionisants*, il faut avant tout signaler l'acquisition faite par le BIPM, grâce à l'intervention de Mr Ambler, d'une source de  $^{60}\text{Co}$  qui permettra à l'avenir de faire des mesures de dose absorbée par la méthode calorimétrique et de recevoir les appareils utilisant cette méthode en provenance des laboratoires nationaux.

Mr Terrien souligne le rôle important joué par J.W. Müller dans le dépouillement des résultats des comparaisons faites dans le domaine complexe des rayonnements ionisants. Les recherches de J.W. Müller en statistique en font un des meilleurs experts dans l'interprétation des mesures des phénomènes aléatoires; il a permis par exemple de faire des progrès dans la méthode des coïncidences, méthode simple en apparence mais dans laquelle tout se complique lorsqu'on recherche la meilleure exactitude.

Pour conclure cet exposé, Mr Giacomo fait le bilan des études d'étalons, des comparaisons internationales, des articles publiés, des rapports internes, des conférences faites par le personnel du BIPM; il pense que le « rendement » de l'activité du BIPM est plus que satisfaisant.

Cet exposé sur les travaux du BIPM a été complété par une visite des laboratoires qui a précédé la traditionnelle visite du caveau des prototypes métriques.

## 8. Visite du Dépôt des Prototypes métriques

### *Procès-Verbal*

Le 29 septembre 1976, 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 .....	21,3 °C
» maximale .....	22,5 °C
» minimale .....	17 °C
État hygrométrique .....	80 %

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

*Le Directeur  
du Bureau,*

J. TERRIEN

*Le Conservateur en Chef  
des Archives de France,*

LE PESANT

*Le Président  
du Comité,*

J.V. DUNWORTH

### 9. Questions administratives

*Exercice 1975.* — Mr Terrien présente le rapport de l'expert-comptable pour 1975. Les principales informations contenues dans ce rapport figurent également dans le Rapport Annuel qui est envoyé aux Gouvernements et aux membres du CIPM.

Mr *Maréchal* pose une question sur la valeur du franc-or. Mr *Terrien* répond que cette valeur demeure inchangée : 1 franc-or = 1,814 52 franc français. C'est celle qui est indiquée dans les Notifications envoyées aux Gouvernements.

Cette question intéresse aussi d'autres organisations internationales qui ont leur siège en France. Il y a eu à ce sujet, il y a quelques mois, une réunion avec un représentant du Ministère des Finances français. La conclusion a été que cette valeur de 1,814 52 franc français peut être encore maintenue pendant un ou deux ans. Il faudra alors se tourner vers une autre unité de compte : le droit de tirage spécial du Fonds Monétaire International. Le Ministère des Finances de France étudie la question et doit donner une réponse dans un ou deux ans.

Mr *Kind* demande à l'Administrateur, J. Gaillard, s'il a des difficultés particulières, tant en ce qui concerne le personnel que l'équipement, dans la gestion du budget du BIPM.

J. Gaillard répond que le seul problème vient de la lenteur de la rentrée des contributions. L'an dernier, à pareille époque, trente-trois États avaient payé leur contribution. Cette année vingt-sept seulement se sont acquittés de leur dette.

Le quitus est donné à l'Administrateur et au Directeur pour l'exercice 1975.

*Budget pour 1977.* — Pour faciliter la comparaison, le projet de budget pour 1977 est présenté avec, en regard, le budget de l'année écoulée et le budget en cours. Mr *Terrien* signale que les dépenses effectives pour les voyages en 1976 excéderont nettement les prévisions. Il est certain que les voyages sont un aspect important de l'activité des principaux physiciens. Pourtant le Comité doit se prononcer sur le dépassement en question.

En revanche, le chapitre des dépenses d'investissement est toujours en économie. La raison en est que l'inflation dont souffre la France actuellement empêche le recrutement de nouveaux membres du personnel scientifique et par voie de conséquence les besoins en équipement sont moindres.

Mr *Perlstein*, se référant au poste des intérêts des fonds, remarque qu'il avait été prévu 50 000 francs-or en 1975, 70 000 en 1976 et que l'on indique 200 000 dans le budget pour 1977 ; il demande d'où viennent ces différences.

Mr *Terrien* répond que le BIPM n'était pas jusqu'ici en mesure de faire des estimations correctes ; c'est en effet pour lui une expérience récente. Le BIPM a essayé de compenser les pertes dues à l'inflation par des placements portant intérêt ; les intérêts ont été supérieurs à ce que l'on attendait.

Mr *Perlstain* demande si le directeur a l'intention de faire des transformations importantes dans les bâtiments.

Mr *Terrien* répond que les dépenses pour les bâtiments correspondent essentiellement à des frais d'entretien et à des dépenses de réaménagement. Il envisage de devoir refaire la couverture en ardoises du bâtiment de l'Observatoire. Ce toit n'a pas été refait depuis 70 ans et au cours des dernières années il a nécessité de nombreuses réparations qui conduiront sans doute à la décision d'une réfection totale.

Mr *Preston-Thomas* demande au directeur ce qu'il compte faire avec les monnaies non convertibles. Mr *Terrien* répond qu'il fait ce qu'il peut. Il a d'ailleurs le plaisir d'annoncer que Mr *Issaev* a apporté avec lui quatre thermomètres à résistance de platine, dont deux fonctionnent jusqu'au point de l'or, en paiement partiel des sommes restant dues par l'U.R.S.S. en monnaie non convertible.

Après ces explications le budget pour 1977 est approuvé.

### Budget pour 1977

RECETTES		Francs-or
Contributions des États .....		5 310 000
Intérêts des fonds .....		200 000
Taxes de vérification .....		10 000
Remboursement des taxes sur les achats .....		180 000
Total .....		<u>5 700 000</u>

### DÉPENSES

#### A. Dépenses de personnel :

1. Traitements .....	2 700 000	} 3 395 000
2. Allocations familiales .....	155 000	
3. Sécurité sociale .....	165 000	
4. Assurance-accidents .....	25 000	
5. Caisse de Retraites .....	350 000	

#### B. Dépenses de fonctionnement :

1. Bâtiments (entretien) .....	260 000	} 1 250 000
2. Mobilier .....	10 000	
3. Laboratoires et ateliers .....	570 000	
4. Chauffage, eau, énergie électrique .....	150 000	
5. Assurances .....	15 000	
6. Impressions et publications .....	65 000	
7. Frais de bureau .....	65 000	
8. Voyages .....	100 000	
9. Bureau du Comité .....	15 000	

#### C. Dépenses d'investissement :

1. Laboratoires .....	560 000	} 730 000
2. Atelier de mécanique .....	50 000	
3. Atelier d'électronique .....	90 000	
4. Bibliothèque .....	30 000	

D. Frais divers et imprévus .....

275 000

E. Utilisation de monnaies non convertibles .....

50 000

F. Ajustement de la Réserve de Trésorerie .....

—

Total .....

5 700 000

*Caisse de retraites et de prévoyance.* — Un projet de modification du règlement de cette Caisse est soumis au CIPM. En présentant ce projet, Mr *Terrien* souligne que les deux questions « retraites » et « prévoyance » peuvent être dissociées pour la discussion. Le calcul des retraites tel qu'il est fait au BIPM est assez simple en comparaison de ce qu'il est dans beaucoup d'autres régimes de retraites. Il est souhaitable de conserver cette simplicité. Il avait été décidé il y a deux ans de réviser ce régime de retraites. Le bureau du Comité a travaillé sur cette question et le projet qui est soumis au CIPM est le résultat final d'une visite que Mr Giacomo a faite à Mr de Boer, Secrétaire du CIPM. Mr de Boer est en effet bien au courant de ces questions, car il a fait partie du Comité financier du CERN et il a également eu à s'occuper de ce genre de problèmes aux Pays-Bas.

Mr *Kind* demande si ce projet doit être approuvé par un organisme, officiel ou privé.

Mr *Terrien* répond qu'il n'y a pas d'autre approbation à obtenir que celle du CIPM. Si la question posée porte sur l'approbation d'un expert en la matière, on a, dans le passé, pris conseil d'un actuaire.

Mr *Kind* s'informe des incidences financières de ce projet.

Mr *Terrien* répond que les nouvelles dispositions entraîneront un accroissement des charges, mais qu'elles sont tout à fait dans les possibilités du BIPM.

Le *Président* ajoute que, si l'inflation était encore plus forte, le BIPM ne serait certainement pas le seul à être en difficulté. L'équilibre d'une caisse de retraites ne peut être prévisible absolument dans le temps. Dans un organisme comme le BIPM une partie du personnel, comme les techniciens par exemple, est nécessairement de nationalité française et on doit offrir à ce personnel ce qu'il obtiendrait s'il travaillait chez un employeur français.

Le *Président* précise que le bureau du Comité a beaucoup travaillé sur ce projet, qui lui paraît approprié et dont il recommande l'approbation par le CIPM.

Le projet de règlement de la Caisse de retraites et de prévoyance est adopté et prendra effet le 1<sup>er</sup> janvier 1977.

Le *Président* signale toutefois que le bureau du Comité souhaite que le BIPM puisse s'assurer pour le risque « prévoyance ». Le BIPM a pris contact à ce sujet avec une compagnie d'assurances, mais n'est parvenu pour l'instant à aucune conclusion.

*Statut du personnel.* — Mr *Terrien* présente un projet d'additif à l'Annexe I du Statut du personnel du BIPM. Il s'agit de l'octroi de deux allocations à caractère familial. Le *Président* précise que ces allocations existent dans le régime de prestations sociales français et qu'elles représenteront une faible charge pour le budget du BIPM.

Le Comité autorise le BIPM à verser ces allocations aux intéressés.

*Nominations d'adjoints.* — Mr *Terrien* soumet au vote du Comité la nomination au grade d'adjoint de G. Girard et T. Witt; cette nomination doit se faire par un vote à bulletin secret.

Au cours de ces dernières années G. Girard a pris très à cœur son rôle au BIPM. C'est sur lui que repose depuis plusieurs années l'essentiel des responsabilités concernant les mesures de masse au BIPM. Mr *Terrien* pense qu'il convient de le nommer adjoint puisqu'il en assume la responsabilité avec efficacité et conscience.

Quant à T. Witt, il travaille au BIPM depuis plus de quatre ans maintenant et s'est d'emblée manifesté comme un physicien dynamique et méticuleux. Il a mis sur pied la réalisation du volt au moyen de l'effet Josephson avec plein succès. Sa nomination au grade d'adjoint est justifiée en raison de ses travaux.

Les votes à bulletin secret sont unanimement favorables à ces deux nominations.

## 10. Désignation des futurs directeur et sous-directeur du BIPM

Le *Président* informe le Comité du départ de Mr *Terrien* qui, atteint par la limite d'âge, quittera son poste de directeur le 1<sup>er</sup> janvier 1978. A l'approche de ce départ le Comité doit dès maintenant prendre des décisions pour l'avenir.

Mr *Terrien* rappelle qu'aux termes du Règlement annexé à la Convention du Mètre, le directeur et le sous-directeur doivent être élus au scrutin secret par le CIPM. Il lui paraît évident de proposer Mr P. Giacomo comme futur directeur. Le Comité a encore cette fois-ci eu l'occasion de l'entendre présenter les travaux du BIPM et a pu ainsi se rendre compte qu'il est bien au courant de toutes les activités du BIPM. Mr *Terrien* ajoute que le rôle de Mr Giacomo comme sous-directeur a été essentiel dans le fonctionnement du BIPM et qu'il a eu ainsi la possibilité de reconnaître son efficacité dans le travail. Il propose donc que Mr Giacomo soit dès maintenant élu « directeur désigné ».

Mr *Kind* demande depuis quelle date Mr Giacomo travaille au BIPM. Mr *Terrien* répond qu'il y travaille depuis 1966; il rappelle qu'avant d'entrer au BIPM, Mr Giacomo a fait une carrière universitaire au cours de laquelle il a entre autres occupé le poste de directeur-adjoint du Laboratoire Aimé Cotton; il a ensuite été professeur à l'Université de Caen et directeur de l'École Nationale Supérieure d'Électronique et Électromécanique à Caen.

Mr *Terrien* rappelle aussi que depuis une quinzaine d'années un de ses soucis majeurs a été de recruter de jeunes physiciens pour assurer les fonctions supérieures au BIPM. A l'époque de l'entrée de Mr Giacomo au BIPM, et avec l'appui de Mr Howlett alors président du CIPM, de gros efforts avaient été faits pour susciter des candidatures, en particulier de physiciens de différentes nationalités. Seule la candidature de P. Giacomo avait été retenue. Il peut en effet paraître regrettable que l'on propose de nouveau un physicien français au poste de directeur alors que le directeur actuel est déjà un Français. La compétence technique et scientifique doit dominer les préoccupations du Comité, plutôt que la notion d'équilibre des nationalités.

Le *Président* souligne en effet la difficulté de s'assurer les services d'un bon scientifique de nationalité étrangère. Lorsqu'un physicien a déjà fait ses preuves, il est difficile de l'amener à changer de situation. A son avis, Mr Giacomo est tout à fait apte à perpétuer la tradition du BIPM et il a maintenant une bonne connaissance de la scène internationale. Il pense que c'est une candidature avec laquelle le Comité ne court aucun risque.

Après un vote à bulletin secret, Mr P. Giacomo est élu « directeur désigné » à l'unanimité.

Mr Giacomo, qui avait été prié de quitter la salle pendant que se déroulait ce débat, est invité à se joindre à nouveau au Comité. Le *Président* le félicite. Mr Giacomo répond en disant qu'il est très honoré d'être appelé à prendre la succession de Mr Terrien. Il sait que c'est une charge très lourde. Il remercie le Comité de la confiance qu'il vient de lui témoigner.

Le bureau du Comité s'est également préoccupé de pourvoir le futur poste de sous-directeur, poste qui est devenu essentiel au cours des années. Tant à cause de la diversité des travaux expérimentaux qu'à cause du développement considérable des relations internationales, les responsabilités qui reposent sur le directeur se sont accrues et rendent nécessaire la présence d'un sous-directeur.

C'est seulement cette année que Mr Terrien a eu la chance de trouver un candidat susceptible d'entrer au BIPM au mois de septembre 1977 et qui ne soit pas de nationalité française. Il s'agit de Mr T.J. Quinn, de nationalité britannique, que certains membres du Comité connaissent sans doute et dont le curriculum vitae a été distribué aux membres du Comité. T.J. Quinn est physicien; il travaille depuis 1962 au National Physical Laboratory de Teddington, sous la direction de Mr Dunworth, et il a déjà fait ses preuves en participant à diverses activités internationales.

Mr Terrien exprime sa reconnaissance au Président Dunworth qui envisage favorablement cette candidature, bien qu'il s'agisse d'un des physiciens qui contribuent le plus au succès des travaux du NPL; ce faisant, Mr Dunworth fait passer l'intérêt international et celui du BIPM avant l'intérêt de son propre laboratoire. Le bureau du Comité propose donc d'engager Mr Quinn au BIPM l'an prochain et de le nommer dès maintenant « sous-directeur désigné » pour le 1<sup>er</sup> janvier 1978.

Le *Président* ajoute que Mr Quinn était promis à une carrière brillante au NPL. Il y est apprécié à la fois comme scientifique et comme animateur. Il est conscient des problèmes qui se posent sur le plan international. De plus, il connaît bien le français. C'est une occasion exceptionnelle qui se présente pour le BIPM de s'assurer la collaboration d'un homme de valeur.

Mr *Preston-Thomas*, en tant que président du CCT, connaît Mr Quinn depuis 1962. Il le considère comme l'un des meilleurs thermométristes du monde. Il s'associe à ce qu'ont pu déjà dire à son sujet le Président et Mr Terrien.

Mr *Ambler* rappelle que Mr Quinn a passé un an au NBS où l'on a fort apprécié ses qualités scientifiques, ainsi que son enthousiasme et son énergie.

Mr *Kind* pense que, d'après ce qu'il a entendu dire de Mr Quinn, le BIPM ne devrait avoir qu'à se féliciter qu'il accepte d'y venir travailler.

Le vote à scrutin secret est unanime pour engager Mr T.J. Quinn en septembre 1977 et le nommer « sous-directeur désigné » pour entrée en fonction au 1<sup>er</sup> janvier 1978.

### 11. Proposition du Chili concernant la répartition des contributions des États membres de la Convention du Mètre

Le *Président* rappelle cette proposition <sup>(3)</sup>. Dans le passé déjà de petits pays, et quelquefois des pays dans lesquels aucun travail métrologique n'était effectué, ont demandé une réduction de leur contribution. Cela n'a jamais été accordé. Il ne faut pas perdre de vue que dans les Conférences Générales des Poids et Mesures un seul vote négatif peut bloquer les travaux de la Conférence. Il n'est pas normal qu'un pays qui n'a aucune activité métrologique puisse ainsi entraver les travaux des autres membres de la Convention du Mètre. C'est dans ce contexte qu'il faut examiner la proposition du Chili.

En effet, il ne s'agit pas de refuser à un demandeur le bénéfice des avantages et des résultats des travaux des organes de la Convention du Mètre. Tous les renseignements sur les résultats de ces travaux sont à la disposition de tous, jusques et y compris des pays qui n'ont pas adhéré à la Convention du Mètre.

L'Organisation Internationale de Métrologie Légale a à faire face à des problèmes du même genre. L'expérience a montré qu'il n'est pas souhaitable d'avoir comme membres des pays dans lesquels l'activité métrologique est inexistante.

Il y a un argument supplémentaire : si l'on diminue les contributions de certains pays, il faudra augmenter d'autant celles des grands pays ; or, ces derniers ont déjà à faire face à de lourdes charges dans leur activité nationale.

Le Comité est d'accord pour qu'aucune modification ne soit introduite dans le mode de répartition des contributions.

### 12. Questions diverses

*Metrologia*. — A la demande du Président, Mr Preston-Thomas a rédigé un compte rendu de la situation de la revue internationale *Metrologia* ; Mr Preston-Thomas commente ce compte rendu qui a été remis aux membres du CIPM. Comme beaucoup de revues, *Metrologia* rencontre actuellement des difficultés financières. La question la plus importante est celle du nombre de pages de la revue. La restriction du nombre de pages imposée par l'éditeur entraîne des retards dans la publication des articles présentés par des membres des laboratoires nationaux, auxquels Mr Preston-Thomas avait demandé de considérer *Metrologia* comme un organe officiel de choix.

---

<sup>(3)</sup> Voir *Comptes rendus 15<sup>e</sup> CGPM*, p. 93 et *Procès-Verbaux CIPM*, 43, 1975, p. 14.

Le *Président* propose que le bureau du CIPM, en collaboration avec Mr Preston-Thomas, étudie sérieusement la situation de *Metrologia*; il demande au Comité de l'autoriser à prendre toute mesure qui s'avérerait nécessaire. Il demande aussi aux personnes présentes d'envoyer à Mr Terrien dans les semaines qui viennent tout commentaire ou suggestion à ce sujet.

\* \*

Le Comité ayant épuisé son ordre du jour fixe ensuite la date de sa prochaine session. Après une brève discussion sur l'opportunité de s'en tenir à l'habitude de réunir le Comité à cette époque de l'année, il est convenu que la 66<sup>e</sup> session du CIPM aura lieu du mardi 20 septembre au vendredi 23 septembre 1977 au Pavillon de Breteuil.

Le *Président* clôt la présente session en remerciant les membres de leur coopération qu'il a plus que jamais appréciée pendant cette session durant laquelle ont été prises des décisions certainement importantes pour l'avenir du BIPM.

\* \* \*

Le mercredi 29 septembre 1976, à l'issue de sa séance de l'après-midi et en présence de l'ensemble du personnel du BIPM, le Comité reçoit Mr H. Moreau, Métrologiste rédacteur, qui vient de terminer sa cinquantième année de travail au service du BIPM. Le Président le félicite pour cette longue carrière métrologique; il lui remet un exemplaire, relié spécialement pour cette circonstance, du volume « Le Système Métrique » que Mr Moreau a rédigé en 1975 à l'occasion du centenaire du BIPM, ainsi qu'un peson à contrepoids ancien.

Mr Terrien retrace en quelques mots la carrière de Mr Moreau au BIPM. Très sensible à cette manifestation de sympathie, Mr Moreau remercie les membres du Comité en soulignant les satisfactions professionnelles que lui a procurées la métrologie au cours de ce demi-siècle consacré à l'œuvre du BIPM.

---

# RAPPORT DU DIRECTEUR

## SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION

### DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

(octobre 1974 — septembre 1976)

---

#### I. — PERSONNEL

##### *Remarques générales*

Un seul engagement nouveau ayant eu lieu pendant la période de deux années couverte par ce rapport, l'effectif se maintient à environ 50 personnes.

Le plus urgent est de recruter un physicien de très haut niveau et suffisamment jeune.

A. GAMA a été promu au grade de technicien à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1975.

Nous avons appris avec tristesse le décès d'Albert BONHOURS, Adjoint honoraire, survenu le 21 février 1976. A. Bonhours avait fait au BIPM, de 1912 à 1963, une carrière exceptionnellement longue; il avait eu pendant de nombreuses années la responsabilité des étalons géodésiques et des étalons de masse.

##### *Engagement*

Bernard BODSON, qui était depuis 1964 mis à la disposition du groupe de dosimétrie par le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (France), a été engagé à titre permanent comme mécanicien le 1<sup>er</sup> juillet 1976.

#### II. — BÂTIMENTS

##### *Observatoire*

En septembre et octobre 1975, au-dessus de l'entrée de l'observatoire, le terrasson a été entièrement rénové; on en a profité pour augmenter la pente du chéneau encaissé qui a été refait en feuilles de plomb; la couverture de zinc a été refaite à neuf, ainsi que le recouvrement du mur d'acrotère et du bandeau extérieur.

En salle 5 (masses), une cabine étanche a été construite et aménagée intérieurement; elle sera utilisée en particulier pour le nettoyage des étalons.

En salle 15 (électricité), l'installation électrique a été entièrement refaite pour permettre le passage à la tension 380/220 V; un nouveau dispositif de climatisation a été mis en place.

Un tapis antidérapant a été posé dans l'escalier conduisant au premier étage.

#### *Petit Pavillon*

La façade nord a été restaurée par l'équipe d'entretien du Bureau (octobre 1975).

Toutes les façades ont été ravalées (avec adjonction de feuilles de laine de verre sur les façades nord et est); les volets et les portes ont été repeints.

Les gouttières et les bas de combles ont été entièrement refaits (juin 1975).

Une petite salle de bains a été installée par l'équipe d'entretien du Bureau (septembre 1975) dans le logement du gardien principal.

#### *Dépendances*

Les façades des garages et de la menuiserie ont été repeintes (mai 1975).

La voie d'accès à l'atelier de mécanique à partir de la cour principale a été complètement refaite: chaussée cimentée et antidérapante étendue jusqu'au mur de soutènement (novembre et décembre 1975).

Le mur de soutènement du jardin fleuriste a été réparé par l'équipe du Bureau.

L'allée cimentée du jardin potager a été refaite.

### III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

#### **Remarques générales**

Tous les travaux ont continué normalement avec la coopération de plus en plus étroite et suivie des grands laboratoires nationaux. L'événement exceptionnel que fut la célébration du centenaire de la Convention du Mètre et du Bureau International des Poids et Mesures, et la préparation de la 15<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures, ont nécessité une participation active de tout le personnel, en particulier pour la rédaction et la publication du volume du centenaire « Le Bureau International des Poids et Mesures 1875-1975 ».

Parmi les travaux ayant bien progressé, citons:

- l'asservissement de lasers sur une raie d'absorption;
- la contribution du BIPM à la détermination de la vitesse de la lumière;
- l'amélioration de l'utilisation des balances et des étalons de masse;
- le contrôle de la stabilité des étalons de force électromotrice par l'effet Josephson;
- la réalisation du point triple de l'argon, point fixe de définition de l'Échelle Internationale Pratique de Température;

- la mise en place d'une source radioactive de  $^{60}\text{Co}$  ayant une activité de 170 TBq ( $\approx 5\,000$  Ci) en vue de mesures de dose absorbée;
- la préparation de mesures relatives précises concernant des émetteurs de rayons  $\gamma$ , selon le vœu des laboratoires nationaux;
- la circulation d'instruments de mesure du débit de fluence de neutrons monocinétiques rapides, la réalisation d'une source de neutrons monocinétiques de 14,7 MeV;
- l'aide du BIPM à des institutions de divers pays en vue de la construction et de l'utilisation de gravimètres absolus de précision.

Enfin, les comparaisons internationales et la vérification d'étalons pour de nombreux pays sont toujours une des activités essentielles du BIPM, pour lesquelles il faut rechercher sans cesse l'amélioration de la précision, de la rapidité et de la sécurité des mesures.

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 : membres du groupe de Recherche de Dosimétrie (Paris) qui travaillent au BIPM conformément à l'arrangement conclu avec le Ministère français des Affaires Sociales (*Procès-Verbaux CIPM*, 32, 1964, p. 14), et physiciens ayant effectué un stage de longue durée.

## Longueurs (P. Carré, J. Hamon)

### Comparateur photoélectrique et interférentiel

#### *Révision et vérifications*

La révision du comparateur, effectuée par la Société Genevoise d'Instruments de Physique à partir de mars 1974 (Rapport 1974, p. 28), a été terminée en novembre 1974.

L'alignement de l'interféromètre a alors été réajusté au moyen d'une lunette d'alignement puis contrôlé en utilisant les anneaux à l'infini donnés par l'interféromètre à trièdres. On a procédé à la vérification des circuits et de l'étalonnage des thermocouples et du thermomètre à résistance de platine utilisés pour la mesure de la température de l'étalon en cours d'étude, au réglage de la commande de la compensatrice de l'interféromètre du réfractomètre et à la vérification de l'étanchéité de la chambre à vide de cet appareil. Un nouveau treuil électrique et un dispositif réducteur de vitesse ont été installés pour les manœuvres d'ouverture et de fermeture de la porte du caisson étanche; le moteur de l'une des turbines du conditionnement d'air a été remplacé.

#### *Dispositif numérique d'affichage des indications des microscopes photoélectriques*

Lors de la conception du comparateur, le système analogique d'affichage des indications des microscopes photoélectriques a été étudié de façon que l'on puisse choisir, selon les besoins, l'un des trois champs suivants :  $\pm 500\ \mu\text{m}$ ,  $\pm 100\ \mu\text{m}$  et  $\pm 5\ \mu\text{m}$ . En pratique, on n'utilise que la partie centrale de ce dernier champ : domaine de quelques dizaines de nanomètres lors des pointés interférentiels statiques, de  $\sim 200\ \text{nm}$  à

+ 200 nm lors des mesures par comptage de franges. D'autre part, il nous a semblé souhaitable de disposer d'un système de contrôle et éventuellement de secours pour le cas où le système analogique viendrait à présenter des anomalies fréquentes de fonctionnement. On a donc étudié un dispositif numérique d'affichage, de champ suffisant pour la plupart des besoins et néanmoins suffisamment petit pour que les erreurs dues au tarage et à la non-linéarité soient négligeables (voir Rapport BIPM-76/6).

Si l'on désigne par  $\tau$  la durée pendant laquelle le spot explorateur est à gauche du trait et par  $\tau'$  la durée pendant laquelle il est à droite, la différence  $\tau - \tau'$  est liée à la cote  $x$  du trait par rapport à la position moyenne du spot (« axe » du microscope) par la relation

$$x = a \sin \pi \frac{\tau - \tau'}{2T},$$

dans laquelle  $a$  est l'amplitude et  $T$  la période du mouvement sinusoïdal du spot explorateur. L'électronique associée aux microscopes fournit des créneaux qui sont par exemple positifs lorsque le spot est à gauche du trait et négatifs lorsqu'il est à droite. Pour mesurer  $\tau - \tau'$ , il suffit de compter les périodes d'un oscillateur stable de fréquence  $f$ , positivement pendant la durée des créneaux positifs et négativement pendant la durée des créneaux négatifs. Après  $p$  balayages, le compte résiduel est  $n = p \cdot (\tau - \tau') \cdot f$ , d'où, pour  $x \ll a$ :

$$x \approx \frac{\pi}{p} \cdot \frac{a}{2fT} \cdot n = k \cdot n.$$

Dans notre application,  $a \approx 36\ 000$  nm et  $T = 0,02$  s. L'approximation ci-dessus introduit une erreur, proportionnelle à  $x^3$ , qui n'atteindrait que 1 nm pour  $x = 2\ 000$  nm; cette erreur est donc négligeable pour le champ adopté ( $\pm 500$  nm). On a choisi  $p = 500$ , c'est-à-dire une durée d'échantillonnage de 10 s. La fréquence  $f$  a été ajustée à une valeur voisine de 5,6 MHz, de façon que  $k = 1$  pm. L'affichage de  $n$ , privé de ses trois chiffres de droite, donne donc  $x$ , exprimé en nanomètres.

Les essais ont montré que le coefficient  $k$  (« tare » du dispositif) est stable à mieux que  $\pm 7 \times 10^{-3}$  en valeur relative. Le dispositif réalisé s'est révélé un peu plus fidèle que le système analogique et d'emploi plus commode; il est employé systématiquement depuis juin 1975.

Il a été complété par un dispositif de conception identique mais pour lequel la durée d'échantillonnage est 0,02 s ( $p = 1$ ). Ses indications sont lues, après conversion numérique-analogique, sur un voltmètre à aiguille. Le champ est  $\pm 1$   $\mu$ m, la résolution 5 nm environ et la constante de temps de l'ordre de 1 s. Ces caractéristiques sont bien adaptées au réglage du centrage du trait sous le microscope.

#### *Enregistrement de données numériques sur ruban magnétique*

Depuis plusieurs années, les élongations des enregistrements graphiques nécessaires à la détermination des excédents fractionnaires intervenant dans les mesures interférentielles sont enregistrées automatiquement sur cartes (Rapports 1970, p. 38, 1971, p. 29). A cet effet, la courbe obtenue au moyen d'un enregistreur à suiveur de spot associé à un galvanomètre est échantillonnée à intervalles réguliers grâce au potentiomètre dont cet

enregistreur est muni; la tension obtenue est appliquée à l'entrée d'un convertisseur analogique-numérique à 4 096 points dont la sortie (12 positions binaires) est traduite en perforations à raison d'une colonne de carte par échantillon.

Cet équipement sera remplacé par un dispositif d'enregistrement sur cassettes à bande magnétique dont les premiers essais (septembre 1976) ont été très satisfaisants.

La courbe est échantillonnée comme précédemment (période de 0,54 s) mais, pour chaque échantillon, nous enregistrons quatre octets soit 32 positions binaires : douze sont réservées à la valeur numérique de l'élongation, quatre à divers signaux (départ de la prise en compte des échantillons, validation, annulation partielle ou complète des échantillons correspondant à une mesure d'excédent fractionnaire) et huit à des données d'identification fournies au moyen de clés; huit positions binaires sont encore disponibles. Les quatre octets sont fournis séquentiellement, au moyen d'un montage électronique réalisé au BIPM, à une unité d'enregistrement (Automatismes et Systèmes, Arcueil, France) qui les groupe en blocs de 256 octets et commande l'enregistrement de ces blocs (lecteur-enregistreur de cassettes Philips) complétés chacun par quatre octets de contrôle. Une lecture, effectuée simultanément, permet de vérifier la qualité de l'enregistrement. En cas d'anomalie, le bloc est effacé et réenregistré. Cette unité utilise un microprocesseur (Intel, type 8080). Elle forme, avec le lecteur-enregistreur et le montage réalisé au BIPM, un ensemble très compact, aisément transportable, qu'il est prévu d'utiliser aussi pour l'enregistrement des données relatives à l'interféromètre de Michelson de la salle 14. De plus, ce dispositif présente sur l'équipement à cartes l'avantage d'être silencieux et de ne pas produire de parasites électriques.

Les bandes ainsi enregistrées sont exploitées par notre ordinateur IBM 1130 que nous avons équipé d'un lecteur-enregistreur de cassettes Philips. L'interface nécessaire à la connexion de cet appareil a été réalisée au BIPM (Rapport BIPM-75/8).

#### Étalons à traits

#### *Mètres prototypes*

Les Mètres prototypes N° 29 (Suède) et N° 3 (Norvège) ont été retracés en 1975 par les soins de la Société Genevoise d'Instruments de Physique. Ils ont été étudiés avant et après retraçage, au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel.

Les résultats obtenus avant retraçage sont :

$$\text{N}^{\circ} 29 = 1 \text{ m} + 171,15 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (janvier 1975),}$$

$$\text{N}^{\circ} 3 = 1 \text{ m} + 173,73 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (février 1975).}$$

Les valeurs admises à la suite de mesures faites au comparateur normal à microscopes visuels étaient :

$$\text{N}^{\circ} 29 = 1 \text{ m} - 2,56 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ soit } 1 \text{ m} + 170,58 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (1948),}$$

$$\text{N}^{\circ} 3 = 1 \text{ m} + 0,01 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ soit } 1 \text{ m} + 173,15 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (1960).}$$

Après retraçage, nous avons déterminé, pour les deux prototypes,

le coefficient de dilatation linéique au voisinage de 20 °C et, au moyen de seize séries de mesures (huit avant l'étude de la dilatation et huit après cette étude), l'équation à 20 °C. De plus, pour le Mètre N° 29, nous avons déterminé la distance entre les deux traits de l'extrémité B qui définissent, avec le trait de l'extrémité A, l'un un intervalle de 1 m à 20 °C et l'autre un intervalle de 1 m à 0 °C. Les résultats obtenus sont :

$$\left. \begin{aligned} \text{N}^\circ 29 (20 \text{ }^\circ\text{C}) &= 1 \text{ m} + 0,042 \text{ } \mu\text{m} && \text{à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{N}^\circ 29 (0 \text{ }^\circ\text{C}) - \text{N}^\circ 29 (20 \text{ }^\circ\text{C}) &= 173,108 \text{ } \mu\text{m} && \text{à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ \alpha_{20} &= 8,693 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \end{aligned} \right\} \text{(novembre 1975),}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{N}^\circ 3 &= 1 \text{ m} - 0,958 \text{ } \mu\text{m} && \text{à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ \alpha_{20} &= 8,690 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \end{aligned} \right\} \text{(décembre 1975).}$$

### Règles divisées

Ces études ont été effectuées au comparateur photoélectrique.

— Règle N° 68 de 0,1 m en acier à 44 % de nickel (Institut Métrologique Tchecoslovaque, Bratislava) : équation de l'intervalle principal et du millimètre supplémentaire, étalonnage de 18 traits.

— Règle N° 5847 de 1 m en acier à 58 % de nickel (Institut Métrologique Tchecoslovaque, Bratislava) : équation de l'intervalle principal, étalonnage de 45 traits.

— Règle N° 157 de 1 m en nickel (Survey of India, Dehra Dun) : équation.

— Règle N° 10230 de 1 m en invar (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire) : équation.

La valeur obtenue est :

$$\text{N}^\circ 10230 = 1 \text{ m} + 1,15 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (janvier 1975).}$$

Des mesures antérieures avaient donné les valeurs : 1 m + 1,17  $\mu\text{m}$  (1968) et 1 m + 1,11  $\mu\text{m}$  (1972).

— Règle N° 15566 de 1 m en acier nickelé (Laboratoire National d'Essais, Paris) : coefficient de dilatation, équation de l'intervalle principal, étalonnage de 121 traits.

— Règle N° 15175 de 1 m en invar (Norske Justervesen, Oslo) : coefficient de dilatation, équation de l'intervalle principal, étalonnage de 67 traits.

— Règle N° 12924 en acier nickelé (BIPM) : mesure d'un intervalle de 828 mm en vue de la détermination de la longueur d'un nouvel étalon de référence pour la mesure de l'accélération due à la pesanteur; étalonnage de 26 traits particuliers pour les mesures de longueur sur le nouveau spectrographe pour particules alpha.

### Organisation de comparaisons internationales

Lors de sa 4<sup>e</sup> session, le CCDM a reconnu la grande importance pratique des étalons matériels à traits et à bouts (CCDM, 4<sup>e</sup> session, 1970, p. M 48) et l'utilité de comparaisons internationales organisées par le BIPM. Il a, en conclusion, recommandé « que soient organisées des comparaisons internationales d'étalons matériels de longueur ».

Lors de la 5<sup>e</sup> session du CCDM, le BIPM a proposé de faire circuler deux règles en acier nickelé divisées en millimètres, l'une (N° 12924) de 1 m de longueur et l'autre (N° 16806) de 500 mm. Plusieurs laboratoires ont déclaré désirer prendre part, avec le BIPM, à une comparaison internationale : cinq avec la règle de 1 m et six avec la règle de 500 mm (CCDM, 5<sup>e</sup> session, 1973, p. M 22).

La règle N° 16806 a été acquise en vue de ces comparaisons. Commandée en janvier 1973, à la suite d'une proposition de la Société Genevoise d'Instruments de Physique, elle nous a été livrée en juin 1974. Elle est munie de traits dits « vibrés », gravés selon un procédé récent ne nécessitant pas d'ébarbage; ces traits, de largeur 6  $\mu\text{m}$ , sont constitués chacun de sept sillons très fins placés côte à côte. Son étude a été effectuée de mars à mai 1975 : coefficient de dilatation, équation, étalonnage des décimètres, des centimètres des décimètres extrêmes et des millimètres des centimètres extrêmes.

La règle N° 12924, qui est munie d'un tracé classique, a été étudiée en avril et mai 1976 : équation, étalonnage des décimètres, des centimètres des décimètres extrêmes, des millimètres des centimètres extrêmes, des traits extrêmes et des subdivisions en dixièmes de millimètre des deux millimètres supplémentaires. L'étude du coefficient de dilatation a été effectuée en 1968, peu après la réception de cette règle.

Le BIPM a adressé le 18 février 1976 aux laboratoires membres du CCDM une circulaire comportant la description des deux règles, la liste des mesures suggérées par le BIPM et un questionnaire auquel les laboratoires étaient priés de répondre avant le 1<sup>er</sup> juin 1976.

A la date du 21 juillet, les réponses de huit laboratoires (NML, NBS, ASMW, NPL, PTB, NRC, NRLM et IMM) étaient parvenues au BIPM. Ces huit laboratoires désirent prendre part aux comparaisons envisagées, éventuellement avec un programme de mesures allégé; un laboratoire propose qu'une comparaison de mesures de calibres soit organisée.

Les réponses au questionnaire nous ont permis d'établir un projet de plan de circulation comportant deux circuits : le premier (août 1976 à septembre 1977) concernerait le NML, le NRC, le NBS et le NRLM, le second (janvier à septembre 1978) concernerait la PTB, l'IMM, l'ASMW et le NPL; les règles seraient réétudiées au BIPM à la fin de chacun des deux circuits. Ce projet a été communiqué aux laboratoires intéressés le 29 juillet 1976, en même temps que la liste révisée des mesures à effectuer; quatre laboratoires nous ont déjà donné leur accord (septembre 1976). Le NML ayant, dès le mois de mars, indiqué que les mesures prévues devraient être faites à partir d'août 1976 pour ne pas risquer d'être considérablement retardées par un déménagement prévu pour 1977, les règles lui ont été expédiées le 8 juillet 1976.

Étalons à bouts (J. Hamon)

#### *Étalon N° 5 pour la mesure de l'accélération due à la pesanteur*

Cet étalon en « Zerodur spécial », d'environ 828 mm de longueur, a la même forme que les étalons précédemment décrits (Rapport 1967, p. 36).

Une première détermination approchée de sa longueur a été faite, à la pression atmosphérique, au moyen du comparateur photoélectrique, par comparaison à l'intervalle 0-828 mm de la règle N° 12924 précédemment mesuré; on a précisé cette longueur par des mesures interférentielles dans le même appareil. L'étalon a ensuite été mesuré, sous vide, dans l'interféromètre de Michelson 1) avec la radiation étalon primaire, 2) avec celle d'un laser à hélium-néon stabilisé sur le « Lamb-dip » et étalonné, 3) avec celle d'un autre laser à hélium-néon stabilisé sur un pic d'absorption de l'iode. Pour calculer la partie entière de l'ordre d'interférence, nous avons admis pour le matériau un coefficient de compressibilité linéique de  $5,54 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ , soit pour l'étalon un allongement de 0,46  $\mu\text{m}$  lorsqu'il est soumis au vide. Les résultats ont été les suivants :

		Étalon N° 5
Comparateur photoélectrique (pression atmosphérique)	{	par comparaison à la règle N° 12924 .. 827 540,12 $\mu\text{m}$
	{	par mesure interférentielle ..... ,15 $\mu\text{m}$
Interféromètre de Michelson (vide) .....		,638 $\mu\text{m}$

L'écart-type sur cette dernière valeur, moyenne de onze mesures, est 0,002  $\mu\text{m}$ .

Des résultats ci-dessus, on déduit pour le coefficient de compressibilité linéique la valeur  $5,9 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ .

La détermination du coefficient de dilatation linéique de cet étalon a été effectuée dans le même appareil entre 17,4 et 22,9 °C; la valeur moyenne obtenue est :

Étalon N° 5  $\alpha_{20} = - 2,25 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$  (écart-type  $0,10 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ ).

Si l'on représente graphiquement la longueur de l'étalon en fonction de la température, les points se disposent sur deux droites différentes selon que les mesures ont été effectuées à température stable ou décroissante ou bien à température croissante. Ces deux droites, sensiblement parallèles, sont décalées d'environ 60 nm. Il paraît exclu que cette anomalie puisse être expliquée par une propriété du matériau compte tenu de son faible coefficient de dilatation; aucune autre explication n'a encore été trouvée.

On avait déjà observé un phénomène semblable avec trois des quatre autres étalons étudiés précédemment (Rapports 1968, p. 37 et 1973, p. 34); il s'agissait d'étalons en silice fondue de coefficient de dilatation voisin de  $+ 0,4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

### Calibres

Au moyen de l'interféromètre Tsugami, nous avons étudié les calibres en acier suivants :

- pour le Bureau Fédéral des Poids et Mesures (Berne), vingt-six calibres de 5 à 100 mm,
- pour le Service de la Métrologie (Bruxelles), dix calibres de 1,005, 2, 4, 5, 6, 8, 20, 40, 50, 100 mm,

- pour le Norske Justervesen (Oslo), onze calibres de 5, 9, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 et 100 mm,
- pour l'Institut Métrologique Tchécoslovaque (Bratislava), cinq calibres de 125, 150, 175, 200 et 250 mm.

Au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel, nous avons étudié, pour l'Institut Métrologique Tchécoslovaque, le calibre de 250 mm précédemment étudié avec l'interféromètre Tsugami, et quatre autres calibres de 300, 400, 500 et 1 000 mm.

#### Dilatomètre interférentiel de 1 m

L'étude de cet appareil (Rapports 1970, p. 41, 1971, p. 32, 1974, p. 30) a été poursuivie. L'expérience a montré que le coefficient de dilatation linéique d'une règle de 1 m est obtenu avec un écart-type de la moyenne (six ou sept mesures consécutives) de  $2 \text{ à } 3 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ , ce qui est bien l'ordre de grandeur de ce que nous attendions de l'appareil. Toutefois, d'une règle à l'autre, les écarts entre la valeur ainsi obtenue et la valeur déterminée par d'autres méthodes varient de plusieurs  $10^{-8} \text{ K}^{-1}$ . Nous pensons qu'une mauvaise stabilité de la position des trièdres due à leur mode de fixation en bout de règle pourrait être la cause des écarts observés. Des modifications doivent être étudiées avant de reprendre les essais.

#### Base géodésique (G. Girard)

##### *Mesure interférentielle de la règle I 5 de 4 m*

La longueur de cette règle en invar, qui nous sert d'étalon de départ pour les mesures de fils et rubans géodésiques, a été de nouveau déterminée sur l'intervalle (8-16) m de la base. Le résultat obtenu est :

$$I 5 = 4 \text{ m} + 50,6 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (novembre 1975).}$$

La précédente détermination avait donné :

$$I 5 = 4 \text{ m} + 49,4 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (août 1973).}$$

L'allongement de cette règle au cours du temps se poursuit régulièrement.

##### *Fils géodésiques*

On a étalonné dix-huit fils de 24 m (République Populaire de Chine) et un fil de 20 m (France).

##### *Invar géodésique*

La demande de fil en invar géodésique est toujours très importante; nous avons effectué l'étuvage de près de 550 kg d'alliage (environ 31 km de fil) constituant les livraisons 30 (A et B) et 31 (A, B et C). Dix-neuf déterminations de coefficients de dilatation ont été nécessaires au cours de ces traitements thermiques.

## Interférométrie

Lasers (J.-M. Chartier)

Le travail sur les lasers asservis sur des raies d'absorption saturée (de l'iode ou du méthane) se poursuit dans trois directions principales : construction de lasers et de l'électronique associée pour les besoins propres du BIPM, amélioration de la reproductibilité, recherche des décalages systématiques de fréquence. Des comparaisons limitées avec quelques laboratoires nationaux constituent un excellent banc d'essai; de plus, le BIPM ne disposant que d'un seul laser asservi sur l'iode 129 et d'un seul laser asservi sur le méthane, les comparaisons sont les seules occasions d'études fines de fréquence (par battements) sur ces deux lasers.

Au cours de comparaisons avec l'INM (Paris), le NPL (Teddington) et la PTB (Braunschweig), on a pu évaluer la reproductibilité et étudier quelques causes de décalage systématique des fréquences. Les lasers du BIPM et leurs accessoires ont fort bien supporté les voyages; les marges de sécurité pour l'usage courant sont donc très satisfaisantes.

### Études et améliorations

*Électronique associée.* — Entre octobre 1974 et mai 1975, les équipements annexes, principalement l'électronique d'asservissement, ont été améliorés : nouveau préamplificateur sélectif à la fréquence  $3f_0$ , comportant une réjection à la fréquence  $f_0$ , mis au point par R. Felder\*; nouvelle démodulation synchrone utilisant des « portes analogiques » (analog switches); stabilisation de température du point froid des cellules à absorption à iode, entre 8 et 20 °C, à 0,05 K près; amorçage du tube à décharge à l'aide d'une céramique piézoélectrique.

La stabilité de nos lasers ainsi améliorés est maintenant de l'ordre de  $1 \times 10^{-12}$  sur 100 s (écart-type d'Allan).

*Longévité.* — Les trois lasers à He-<sup>20</sup>Ne (<sup>127</sup>I<sub>2</sub>) construits au BIPM et actuellement en service, désignés par BIPM2, BIPM3 et BIPM4, ont fonctionné respectivement 6 800 h pour BIPM2 (affecté aux études de lasers), 4 000 h pour BIPM3 (mesure de  $g$ ), 5 600 h pour BIPM4 (mesures de longueurs d'onde). Les tubes à décharge ont dû être remplacés après environ 3 000 h de fonctionnement.

Le laser à <sup>3</sup>He-<sup>22</sup>Ne (<sup>129</sup>I<sub>2</sub>), don du NBS, désigné dans la suite par NBS/BIPM, a aussi été utilisé pendant plus de 3 000 h. Le tube à décharge donnant des signes de défaillance, un tube de remplacement nous a aimablement été fourni par le NBS; l'échange n'a pas encore été nécessaire.

*Décalages de fréquence.* — Au cours de comparaisons antérieures, on avait déjà constaté la nécessité de connaître avec exactitude la température du point froid des cellules à iode (Rapport 1974, p. 34). Trois autres effets systématiques ont été mis en évidence au cours des dernières comparaisons.

La fréquence moyenne des lasers asservis sur l'iode 127 dépend de l'amplitude de modulation en fréquence : elle diminue d'environ 10 kHz lorsque l'excursion de fréquence croît de 1 MHz, quelle que soit la composante hyperfine utilisée pour l'asservissement. Si cet effet était dû à la

proximité des autres composantes, le signe et l'ordre de grandeur du décalage devraient varier d'une composante à l'autre, de façon qualitativement prévisible. Les décalages observés sont du même signe et du même ordre de grandeur pour cinq lasers sur les six qui ont participé à la comparaison de mars 1976, le sixième (BIPM2) présentant des décalages deux fois moindres.

A puissance relativement élevée ( $> 100 \mu\text{W}$ ), des composantes parasites apparaissent dans le spectre d'absorption saturée des lasers à He-<sup>22</sup>Ne (<sup>129</sup>I<sub>2</sub>). Cet effet a été initialement mis en évidence au NPL sur un laser de la PTB (1, 2); il entraîne des décalages de fréquence qui peuvent atteindre 50 kHz; il a été confirmé sur le laser NBS/BIPM, en mars 1976, à la PTB.

Pour le laser asservi sur le méthane ( $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ), on a remarqué depuis longtemps que la position du récepteur photoélectrique d'asservissement n'est pas indifférente. Un polariseur circulaire suivi d'une lame de verre (facteur de transmission  $\approx 0,20$ ) assure le découplage du récepteur et du laser; l'efficacité du découplage est vérifiée en déplaçant légèrement le récepteur suivant l'axe du faisceau: un tel déplacement est sans effet notable. En revanche, si l'on déplace le récepteur transversalement, la courbe de gain (variation du flux reçu par le récepteur en fonction de la longueur de la cavité) se déplace considérablement par rapport au pic d'absorption saturée. Celui-ci apparaît donc sur une portion de la courbe de gain dont la pente varie fortement en fonction de la position transversale du récepteur. Le décalage de fréquence qui en résulte peut atteindre 15 kHz dans les conditions les plus défavorables; il est nettement inférieur à 5 kHz après un réglage relativement facile.

*Laser à fréquence décalée.* — La fréquence des battements permet d'asservir un laser à He-Ne quelconque sur un laser pilote, lui-même asservi sur une raie d'absorption saturée. L'efficacité de cette méthode a été amplement démontrée par J. Hall et R. Barger. Les qualités de stabilité et de reproductibilité du laser pilote sont presque intégralement transférées au laser « esclave » dont la puissance peut être beaucoup plus élevée et dont la fréquence, non modulée, peut être ajustée dans un domaine appréciable. Ce type de source devrait rendre de grands services dans le domaine des mesures de longueur.

Un ensemble comportant les deux lasers et les deux dispositifs d'asservissement a été construit (fig. 1). Il utilise largement les techniques auxquelles J.-M. Chartier s'est initié au cours d'un stage au NBS (Boulder et Gaithersburg). Le décalage de fréquence est actuellement limité à 300 MHz; il sera étendu à 500 MHz (environ  $1 \times 10^{-6}$ ).

*Étalonnages.* — Les lasers asservis sur le « Lamb-dip », utilisés dans diverses sections, sont régulièrement étalonnés par battements avec l'un des lasers asservis sur l'iode. Deux lasers utilisés dans le gravimètre transportable de l'IMGC (Turin) ont aussi été étalonnés à plusieurs occasions par le même procédé.

---

(1) HELMCKE (J.), Stability and reproducibility of He-Ne lasers stabilized by saturated absorption in iodine. *Proc. 5th International Conference on Atomic Masses and Fundamental Constants*, Paris, June 1975, pp. 337-342.

(2) WALLARD (A.J.), Performance and limitations of iodine stabilized lasers. *Ibid.*, pp. 343-349.

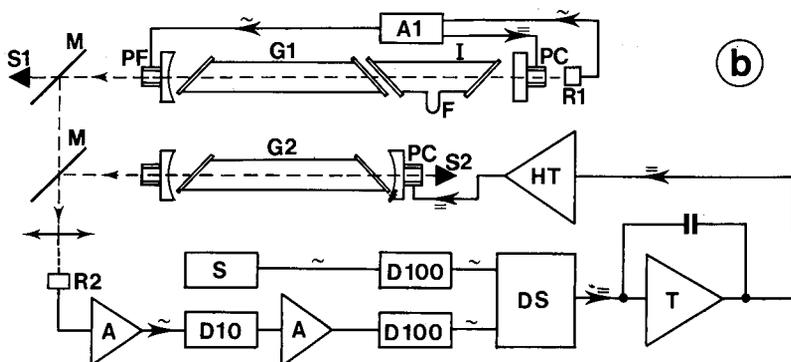
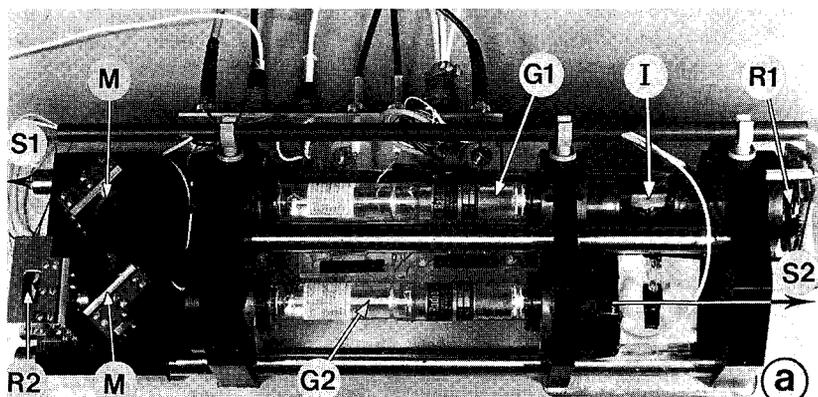


Fig. 1. — Laser à fréquence décalée.

- a. Vue d'ensemble des éléments optiques.
- b. Schéma synoptique des asservissements.

A, amplificateurs non sélectifs; A1, asservissement sur l'absorption saturée de l'iode à l'aide de la composante à  $3 f_0$  du signal délivré par R1 (dérivée troisième); D10, D100, diviseurs de fréquence par 10 ou par 100; DS, détection synchrone à la fréquence  $\Delta f/1\ 000$ ; F, point froid pour régler la pression de la vapeur d'iode; G1, G2, tubes à décharge à  $^3\text{He}-^{20}\text{Ne}$ ; HT, amplificateur continu, sortie en haute tension; I, cellule à iode 127; M, miroirs semi-transparents; PC, céramique piézoélectrique de commande; PF, céramique piézoélectrique excitée à la fréquence  $f_0$ ; R1, récepteur photoélectrique; R2, récepteur photoélectrique à très haute fréquence de coupure, recevant le flux lumineux modulé à la fréquence de battement  $\Delta f$ ; S, générateur à la fréquence ajustable  $\Delta f/10$  (synthétiseur de fréquence); S1, S2, sorties des faisceaux utilisables; T, amplificateur continu intégrateur à très basse fréquence de coupure.

L'évolution de la longueur d'onde déjà observée (Rapport 1973, p. 42), de  $+ 1 \times 10^{-8}$  par an environ, a été confirmée dans tous les cas; elle s'accélère lorsque le tube à décharge est sur le point de devenir inutilisable.

*Collaboration avec d'autres laboratoires.* — R. Felder, en stage depuis janvier 1974, a construit et mis au point plusieurs lasers asservis sur l'iode 127 destinés à l'INM (Paris): deux sont en service, deux en cours de réalisation; il a apporté à l'électronique d'asservissement plusieurs améliorations qui ont été adaptées sur les lasers du BIPM.

Un laser asservi sur l'iode 127 a été construit et mis au point au BIPM dans le cadre de la collaboration avec l'International Latitude Observatory, Mizusawa (Japon) pour la construction d'un gravimètre absolu analogue à celui du BIPM.

*Développements envisagés.* — La construction de plusieurs lasers est encore nécessaire pour les études sur les lasers eux-mêmes, pour leur utilisation aux mesures de longueur et pour les comparaisons ou étalonnages que le BIPM compte développer.

Un second laser asservi sur le méthane permettra des études de stabilité, de reproductibilité et de définition de la longueur d'onde.

Une seconde cellule à iode 129 et un second tube à décharge à néon 22 sont nécessaires pour disposer en deux exemplaires de toutes les combinaisons usuelles d'isotopes de l'iode et du néon, et vérifier, en particulier, la fréquence de la composante k de  $^{129}\text{I}_2$  ( $^{20}\text{Ne}$ ), qui a été utilisée au NBS.

Plusieurs lasers à fréquence décalée devront être construits; ils apporteront une plus grande souplesse aux mesures par battements; ils seront aussi utilisés dès que possible pour les mesures de longueur où ils devraient simplifier et probablement améliorer les pointés interférentiels.

#### *Comparaisons de lasers asservis sur l'iode*

Le BIPM a pris part aux comparaisons suivantes :

PTB-BIPM (novembre 1974, au BIPM),  
INM-BIPM (avril 1975, au BIPM),  
NPL-BIPM (mai 1975, au NPL),  
PTB-NPL-BIPM (mars 1976, à la PTB),  
IMGC-BIPM (juin-juillet 1976, au BIPM).

Le laser BIPM2 a été utilisé comme étalon principal du BIPM pour ces comparaisons; BIPM4 et NBS/BIPM y ont participé à titre secondaire.

Pour chaque couple de lasers, on mesure systématiquement tous les intervalles de fréquence entre les deux lasers asservis chacun sur une composante différente (d à j pour l'iode 127, A à C pour l'iode 129); une comparaison de deux lasers asservis sur l'iode 127 comprend ainsi la mesure de 42 intervalles, ce qui fournit une détermination de la valeur de la différence moyenne entre les fréquences des deux lasers. Chacun des résultats ci-dessous résulte de plusieurs séries de mesures; l'incertitude indiquée est l'écart-type d'une détermination calculé d'après la dispersion des valeurs successives.

*Comparaison PTB-BIPM (novembre 1974).* — Cette comparaison a porté sur un laser à He- $^{22}\text{Ne}$  ( $^{129}\text{I}_2$ ) de chaque laboratoire <sup>(3)</sup>. Après correction pour les différences de puissance et de pression de l'iode, on obtient, en moyenne :

$$^{129}\text{I}_2(^{22}\text{Ne}) : (\text{PTB}) - (\text{BIPM}) = 10 \text{ kHz}, \sigma = 15 \text{ kHz}.$$

Ce résultat est recoupé par la détermination des intervalles entre les fréquences des deux lasers ci-dessus et celles du laser BIPM2 (asservi

---

<sup>(3)</sup> HELMCKE (J.), *PTB Jahresbericht 1975*, pp. 143-144.

sur l'iode 127), dont on déduit, pour la même différence, la valeur 29 kHz,  $\sigma = 20$  kHz.

*Comparaison INM-BIPM (avril 1975).* — Les lasers INM1 et BIPM2 utilisés pour cette comparaison étaient de construction très semblable pour la partie optique, mais très différente pour la partie électronique. On a obtenu :

$$^{127}\text{I}_2(^{20}\text{Ne}) : (\text{INM1}) - (\text{BIPM2}) = 1 \text{ kHz}, \sigma = 3 \text{ kHz}.$$

La mesure des intervalles entre ces deux lasers et le laser NBS/BIPM (asservi sur l'iode 129) donnait, pour la même différence, la valeur  $-9$  kHz,  $\sigma = 13$  kHz.

*Comparaison NPL-BIPM (mai 1975).* — Deux lasers à He- $^{20}\text{Ne}(^{127}\text{I}_2)$  du NPL, désignés par NPLA et NPLM, ont été comparés à BIPM2 (2); on a obtenu :

$$^{127}\text{I}_2(^{20}\text{Ne}) \left\{ \begin{array}{l} (\text{NPLA}) - (\text{BIPM2}) = 8,6 \text{ kHz}, \sigma = 9 \text{ kHz} \\ (\text{NPLM}) - (\text{BIPM2}) = 2,8 \text{ kHz}, \sigma = 5 \text{ kHz} \end{array} \right.$$

*Comparaison PTB-NPL-BIPM (mars 1976).* — Cette comparaison portait sur six lasers du type He- $^{20}\text{Ne}(^{127}\text{I}_2)$  : quatre lasers principaux (PTB4, PTB5, NPL2, BIPM2) et deux secondaires (NPL1, BIPM4), et le laser secondaire NBS/BIPM du type He- $^{22}\text{Ne}(^{129}\text{I}_2)$ . Les lasers secondaires ont été seulement rattachés à l'un des quatre lasers principaux.

Pour les lasers principaux, PTB4 a été arbitrairement choisi comme référence. Douze séries de déterminations ont été effectuées en deux semaines (fig. 2), chacun des trois autres lasers principaux étant comparé à PTB4.

Pour chaque couple de lasers, chacun des 42 intervalles était déterminé sur trois échantillons de 10 s.

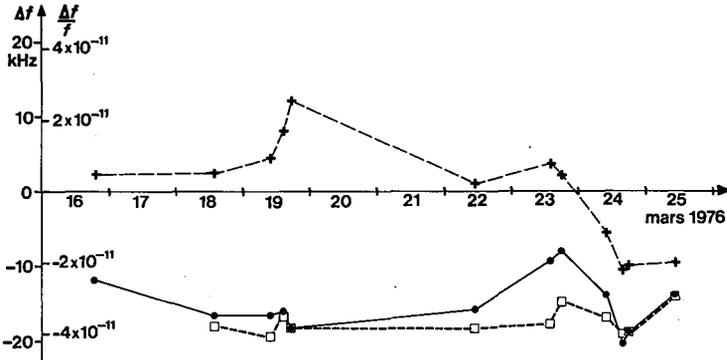


Fig. 2. — Comparaison des fréquences de lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode 127 (mars 1976).

+ (NPL2) — (PTB4), ● (BIPM2) — (PTB4), □ (PTB5) — (PTB4)

Le laser PTB4 a été choisi arbitrairement comme référence. Chaque point correspond à la moyenne des 42 différences  $(f'_i - f_j)$  entre les fréquences  $f'_i$  du laser étudié, asservi sur la composante  $i$ , et  $f_j$  du laser de référence, asservi sur la composante  $j$ . L'écart-type sur la mesure d'une de ces différences est de l'ordre de 1 kHz.

Quelques réglages des asservissements ont été nécessaires dans la durée de la comparaison.

Les résultats provisoires (ramenés à une température du point froid des cellules à iode de 15 °C, et à une excursion en fréquence de 6 MHz) donnent en moyenne :

(PTB4) — (moyenne) =	8,1 kHz,	$\sigma = 2$ kHz
(NPL2) — (moyenne) =	8,1	$\sigma = 7$
(PTB5) — (moyenne) =	— 9,3	$\sigma = 2$
(BIPM2) — (moyenne) =	— 6,8	$\sigma = 4$

*Comparaison IMGC-BIPM (juin-juillet 1976).* — Cette comparaison portait sur les lasers IMGC1/4 <sup>(4)</sup> et BIPM2. Six séries de mesures ont été effectuées au cours desquelles les amplitudes de modulation étaient 5 MHz pour IMGC1/4 et 6 MHz pour BIPM2. Le point froid de chaque cuve à iode a été maintenu à 15 °C à 0,05 K près. Pour le laser IMGC1/4, on a déterminé d'une part l'effet de la pression d'iode (— 7,6 kHz/Pa) et d'autre part l'effet de l'amplitude de modulation (— 6,1 kHz/MHz pour des amplitudes de modulation allant de 5 à 7 MHz). Ces valeurs, qui sont les moyennes des résultats obtenus pour les composantes d à j, sont très semblables à celles qui ont été obtenues antérieurement sur BIPM2.

Comme pour la comparaison PTB-NPL-BIPM, 42 intervalles ont été mesurés lors de chaque série. Les résultats obtenus pour les six séries sont

$$(IMGC1/4) - (BIPM2) = \left\{ \begin{array}{ll} 9,6 \text{ kHz}, & \sigma = 2,5 \text{ kHz} \\ 9,1 & \sigma = 2,6 \\ 8,7 & \sigma = 4,5 \\ 1,0 & \sigma = 1,6 \\ 9,1 & \sigma = 1,8 \\ 12,6 & \sigma = 1,6 \end{array} \right.$$

On obtient ainsi, en moyenne:  $(IMGC1/4) - (BIPM2) = 8,4$  kHz,  $\sigma = 3,9$  kHz.

Ce résultat, ramené à une même amplitude de modulation pour les deux lasers (6 MHz) devient :

$$(IMGC1/4) - (BIPM2) = 2,3 \text{ kHz.}$$

L'ensemble de ces comparaisons de lasers asservis sur l'iode montre que la reproductibilité des fréquences est actuellement de l'ordre de  $\pm 10$  kHz ( $\pm 2 \times 10^{-11}$ ); elle pourrait vraisemblablement être encore améliorée en perfectionnant les asservissements (influence des harmoniques et des tensions continues résiduels) et en analysant les effets systématiques dont l'origine reste encore obscure, mais la limite de  $1 \times 10^{-11}$  paraît déjà difficile à atteindre.

#### *Comparaison de lasers asservis sur le méthane (mars 1976)*

A l'occasion de la comparaison PTB-NPL-BIPM de lasers asservis sur l'iode, on a aussi comparé trois lasers asservis sur le méthane ( $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ).

<sup>(4)</sup> BERTINETTO (F.), REBAGLIA (B.I.), LIVERANI (M.) and GUALINI (S.), Present development of iodine stabilized He-Ne lasers at the IMGC, *Alta Frequenza*, XLIV, 1975, pp. 569-573.

Celui du BIPM est toujours le laser construit au NBS (Boulder); la cellule à méthane et le tube à décharge ont été remplacés, respectivement en 1973 et 1974, grâce aux éléments de rechange donnés au BIPM en même temps que le laser lui-même; on a ainsi retrouvé un très bon rapport signal/bruit, de l'ordre de cent fois supérieur à celui qu'on observait avant cette remise en état. L'asservissement utilise soit la dérivée première, soit la dérivée troisième.

La comparaison avec le laser PTB3 ( $\text{CH}_4$ ) utilisait un laser auxiliaire à fréquence décalée; avec le laser NPL2 ( $\text{CH}_4$ ) on utilisait un compteur-décompteur.

Les résultats provisoires donnent des écarts de l'ordre de  $\pm 5$  kHz entre les trois lasers. Pour le laser du BIPM, une différence de l'ordre de 5 kHz a été observée entre les deux types d'asservissement.

La reproductibilité relative des lasers asservis sur le méthane ( $\pm 5 \times 10^{-11}$ ) est un peu moins bonne que celle des lasers asservis sur l'iode; toutefois, aucun des trois laboratoires n'ayant consacré aux premiers un effort comparable à celui qu'ils ont consacré aux seconds, les deux groupes de résultats n'ont pas le même poids.

#### Comparaison des longueurs d'onde de lasers asservis (J. Hamon)

Deux séries de comparaison des longueurs d'onde de notre laser asservi sur l'absorption saturée de  $\text{CH}_4$  et d'un laser asservi sur l'absorption saturée de  $^{127}\text{I}_2$  ont été faites, l'une avant, l'autre après le transport de ces deux lasers à la PTB.

Les mesures ont été effectuées dans l'interféromètre de Michelson sous vide, à la différence de marche de  $\pm 500$  mm. On a utilisé comme référence la longueur d'onde de la composante  $i$  de l'iode 127:  $\lambda_i = 632\,991\,399$  fm (CCDM, 1973).

La moyenne des douze mesures de la première série est :

$$\lambda_{\text{CH}_4} = 3\,392\,231\,376 \text{ fm (écart-type : 2 fm).}$$

La moyenne des huit mesures de la deuxième série est :

$$\lambda_{\text{CH}_4} = 3\,392\,231\,381 \text{ fm (écart-type : 2 fm).}$$

Rappelons que nous avons obtenu

- en 1971 : 3 392 231 376 fm (16 mesures,  $\sigma_m = 4$  fm),
- en 1973 : 3 392 231 399 fm (16 mesures,  $\sigma_m = 4$  fm),

et que la valeur recommandée par le CCDM en 1973 est :

$$\lambda_{\text{CH}_4} = 3\,392\,231,40 \times 10^{-12} \text{ m.}$$

Nos valeurs, sauf celle de 1973, sont donc trop faibles d'environ 20 fm; des mesures sont en cours pour tenter d'expliquer cet écart: en faisant varier le diamètre du diaphragme d'entrée dans l'interféromètre et le diamètre du trou explorateur placé au foyer de l'objectif de sortie, nous pensons avoir mis en évidence une petite erreur systématique, due à la diffraction, sur la mesure de l'ordre d'interférence avec la radiation infra-

rouge; des expériences complémentaires devront préciser la correction à appliquer.

#### Divers

— Étude, à l'aide du montage optique déjà décrit (Rapport 1972, p. 41), de la planéité de plusieurs miroirs plans destinés à équiper un interféromètre pour la mesure de  $g$  à Mizusawa (Japon).

— Étude d'un dispositif interférentiel permettant le réglage de la verticalité du faisceau d'un laser avec une précision angulaire de l'ordre de  $2''$ ; ce dispositif pourrait être adapté sur un appareil de mesure de  $g$ .

#### Masses (G. Girard)

##### *Kilogrammes prototypes*

Le Kilogramme prototype N° 41 (Tchécoslovaquie) a été comparé avant et après un nettoyage au benzène et à l'alcool purs suivi d'un lavage sous un jet de vapeur d'eau bidistillée, à nos Kilogrammes prototypes d'usage courant N° 9 et N° 31 et au Kilogramme N° 63 (non attribué).

Le nettoyage-lavage a provoqué une diminution apparente de masse de 0,092 mg.

Le résultat trouvé, après nettoyage-lavage, est :

N° 41 (Tchécoslovaquie) 1 kg + 0,548 mg (février 1975).

La valeur précédemment admise (1953) était 1 kg + 0,559 mg.

Le Kilogramme prototype N° 15, attribué en 1889 à la Bavière, a été comparé, dans l'état où la PTB nous l'a confié, à nos Kilogrammes N° 9 et N° 31 en même temps que trois étalons de 1 kg (deux en acier inoxydable et un en laiton) appartenant à la PTB. La valeur trouvée est :

N° 15 (Bavière) 1 kg + 0,318 mg (septembre 1975).

En 1950, on avait obtenu 1 kg + 0,239 mg.

L'ancien Kilogramme prototype en platine iridié N° 42 (réformé en raison d'une marque profonde sur une arête) a été repoli en vue de son utilisation future à des recherches avec la balance NBS-2. Une surcharge en platine iridié de 447 mg a été fabriquée. L'ensemble, qui a été ajusté à 1 kg, constitue maintenant le Kilogramme du BIPM N° 42'.

##### *Nettoyage et lavage des Kilogrammes prototypes*

Dans le Rapport de 1974 (p. 41), on avait mentionné le commencement d'une étude sur l'effet des nettoyages et lavages répétés sur la masse du Kilogramme N° 63 en platine iridié. Cette étude a été poursuivie de la même façon que précédemment et étendue au Kilogramme C (BIPM), également en platine iridié, mais dont la surface est très rayée.

Le tableau I donne les résultats obtenus depuis le début de cette étude.

TABLEAU I

*Effet de nettoyages-lavages répétés  
sur la masse de deux Kilogrammes prototypes*

Date	N° 63	C
mai 1974	1 kg + 310 $\mu$ g	
10-12 juin 1974	+ 306	
17-19 juin 1974	+ 309	
6-10 janvier 1975	+ 308*	1 kg + 207* $\mu$ g
20-22 janvier 1975	+ 309	+ 169
27-29 janvier 1975	+ 309*	+ 162

\* Valeurs obtenues sans nouveau nettoyage-lavage.

Les masses sont données avec un écart-type compris entre 0,6 et 1,1  $\mu$ g.

On constate qu'un seul traitement suffit à nettoyer la surface d'un Kilogramme lorsqu'elle est bien polie mais non lorsqu'elle est très rayée.

*Influence de la pression et de l'état hygrométrique sur les étalons de masse*

*Pression.* — Le NBS nous a communiqué des résultats concernant la variation de la différence de masse entre deux étalons en fonction de la pression à laquelle ils étaient soumis lors de leur comparaison.

La balance NBS-2 étant installée dans une enceinte étanche, nous avons pu comparer entre eux un Kilogramme en platine iridié et trois Kilogrammes en acier inoxydable à des pressions voisines de 100,7 kPa et 94,6 kPa. La correction de poussée de l'air a naturellement été appliquée. Il est apparu, après qu'on eut abaissé la pression, que la masse des Kilogrammes en acier inoxydable avait augmenté de 18  $\mu$ g par rapport à celle du Kilogramme en platine iridié (alors que la correction différentielle de poussée de l'air varie, dans ces conditions, de 96,3 mg à 90,5 mg en moyenne). Le retour à la pression de départ a laissé subsister une augmentation résiduelle de 7 à 9  $\mu$ g qui a diminué d'environ moitié en une semaine.

Cette étude sera poursuivie.

*État hygrométrique.* — Une étude semblable a été commencée sur l'influence de l'état hygrométrique de l'air.

Les deux Kilogrammes en platine iridié N° 9 et N° 31 (surface 72 cm<sup>2</sup> environ), et les deux Kilogrammes en acier inoxydable A1 et N2 (surface 142 cm<sup>2</sup> environ) ont été comparés entre eux à la balance NBS-2; on a fait varier l'état hygrométrique de l'air contenu dans l'enceinte étanche de cette balance. La figure 3 résume les résultats obtenus. Après les deux premières comparaisons, l'air de l'enceinte étanche de la balance a été desséché et conservé dans le même état pendant 8 jours au cours desquels quelques comparaisons ont été effectuées. L'enceinte a ensuite été remise en communication avec l'extérieur et l'état hygrométrique a augmenté.

Le Kilogramme N° 31 a été pris comme référence. Sa propre masse peut varier au cours de l'étude. On observe des variations des différences entre les masses des Kilogrammes N° 9, A1, N2 et la masse du Kilogramme N° 31. On constate que la différence de masse entre deux Kilogrammes en platine iridié reste pratiquement invariable pendant

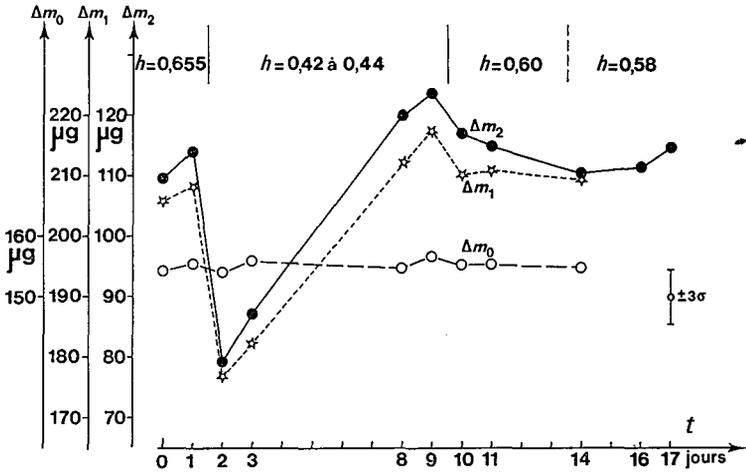


Fig. 3. — Évolution des différences  $\Delta m_0$ ,  $\Delta m_1$ ,  $\Delta m_2$  entre les masses respectives des Kilogrammes N° 9, A1, N2 et la masse du Kilogramme N° 31, consécutive à des modifications de l'état hygrométrique  $h$  de l'air qui les environne.

Les Kilogrammes N° 9 et N° 31 sont en platine iridié, A1 et N2 sont en acier inoxydable.

toute la durée de l'étude. En revanche, la diminution de l'état hygrométrique fait diminuer rapidement, d'environ 30  $\mu\text{g}$ , les différences entre les masses des Kilogrammes en acier inoxydable et la masse du Kilogramme N° 31; ces différences croissent ensuite jusqu'à reprendre leurs valeurs de départ et même les dépasser. Le retour à l'état hygrométrique ambiant les fait de nouveau diminuer jusqu'à leurs valeurs initiales.

Cette étude préliminaire sera reprise et complétée.

Indépendamment des variations éventuelles de masse en fonction de l'état hygrométrique, celui-ci intervient dans la poussée de l'air. Pour calculer la correction correspondante avec une précision qui permette de profiter pleinement des qualités de la balance NBS-2, il faudrait, lors des comparaisons entre Kilogrammes en platine iridié et Kilogrammes en acier inoxydable, connaître l'état hygrométrique à quelques millièmes près.

Nous disposons de deux hygromètres électriques Shaw (l'un indique la température du point de rosée et l'autre, à capacité, indique directement l'humidité relative) et d'un hygromètre à résistance Hygrodynamic, ce dernier fourni par le NBS en 1970 en même temps que la balance NBS-2. Nous avons de plus plusieurs hygromètres à cheveux dont certains sont très anciens.

Nous nous sommes proposé de vérifier l'étalonnage de nos différents hygromètres à l'aide de solutions saturées de sels permettant d'obtenir des états hygrométriques voisins de 0,35, 0,55 et 0,75 qui couvrent le domaine usuel.

On a constaté un désaccord de l'ordre de 0,03 à 0,04 entre les solutions salines et l'hygromètre à point de rosée que nous utilisons comme appareil de référence.

Afin de vérifier l'exactitude de nos étalonnages, l'Institut de Berlin de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt a accepté de vérifier notre hygromètre HygroDynamics par comparaison à son hygromètre étalon.

Cette comparaison a montré que l'étalonnage initial de notre hygromètre HygroDynamics n'avait pratiquement pas varié pour des états hygrométriques de 0,30 et 0,70 mais qu'un écart de 0,03 existait à un état hygrométrique de 0,5. Elle a d'autre part confirmé de façon satisfaisante les résultats que nous avons obtenus à l'aide des solutions saturées de sels, pour les états hygrométriques 0,55 et 0,75, et avec un accord un peu moins bon pour de plus faibles états hygrométriques.

### *Masse volumique de l'eau*

Depuis quelques années, le BIPM étudie, en liaison avec M. Menaché (Institut Océanographique, Paris), l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique.

Une formule théorique reliant la masse volumique de l'eau à sa composition isotopique (teneur en deutérium et oxygène 18), valable entre 0 et 30 °C, a été établie par Menaché. Elle permet de calculer la différence entre la masse volumique de l'échantillon d'eau étudiée et celle du SMOW (étalon d'isotopie), en fonction des écarts relatifs  $\delta_{18}$  et  $\delta_D$  de cette eau par rapport au SMOW pris comme eau de référence pour le calcul.

Cette relation est :

$$\Delta\rho = \rho_{\text{eau}} - \rho_{\text{SMOW}} = (0,233 \delta_{18} + 0,016 6 \delta_D) \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3.$$

En utilisant un corps de volume connu avec suffisamment de précision, une première série de pesées hydrostatiques ont été faites au voisinage de 22 °C sous la pression atmosphérique, avec des eaux purifiées de provenances diverses : eau du robinet, eaux de l'Atlantique et de la Méditerranée, eaux de fusion de glace de l'Arctique.

Les résultats de ces mesures nous avaient amenés à proposer en 1970 <sup>(5)</sup> une formule pratique provisoire donnant des valeurs inférieures de 10 % à celles données par la formule théorique.

Aucune explication de ce désaccord n'avait été trouvée et nous nous proposons alors de reprendre cette étude avec une précision accrue.

Les améliorations ou modifications suivantes ont été apportées au dispositif de mesure :

— révision complète de la balance hydrostatique par son constructeur et réinstallation de cette balance avec une stabilité mécanique meilleure qu'en 1970;

— modification du bain hydrostatique (amélioration de sa protection thermique et commande à distance des changements de position du corps immergé dans l'eau);

— réglage de la température de l'eau au moyen d'un thermostat qui assure une stabilité meilleure que 1 mK à 22 °C et de quelques millikelvins

---

<sup>(5)</sup> GIRARD (G.) et MENACHÉ (M.), Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de sa composition isotopique, *Metrologia*, 7, 1971, pp. 83-87 et *Recueil de Travaux du BIPM*, 3, 1971-1972 (article 13).

à 4 °C; cette température est suivie tout au long de la pesée grâce à un thermomètre à résistance de platine associé à un pont de mesure en courant alternatif;

— substitution d'un cylindre en « Zerodur » de très faible dilatabilité thermique ( $3 \alpha = -7 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ ) au corps immergé en acier inoxydable ( $3 \alpha = 46 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), pour diminuer l'incertitude sur son volume;

— réduction des différences entre les volumes des masses situées sur les plateaux de la balance par l'utilisation de masses en platine iridié, afin de minimiser l'influence de la variation de poussée de l'air.

De nouvelles mesures ont alors été effectuées (mars et avril 1975) par la même méthode avec trois eaux purifiées de provenances différentes : eau de mer, eau du robinet et eau de fusion de glace de l'Antarctique.

Neuf pesées ont été effectuées, pour chaque eau, à chacune des deux températures moyennes de 4,5 °C et 22,0 °C.

Le tableau II résume les résultats obtenus à ces deux températures.

TABLEAU II

Vérification de la validité de la correction d'isotopie calculée  $\Delta \rho$   
 unité : 1 kg/m<sup>3</sup>

	eau (provenance)	$\rho_{\text{eau}}$	$\Delta \rho$	$\rho_{\text{SMOW}} = \rho_{\text{eau}} - \Delta \rho$
$t = 4,5 \text{ °C}$	{ robinet	999,968 7 <sub>4</sub>	— 0,004 0 <sub>2</sub>	999,972 8
	{ Antarctique	951 8 <sub>3</sub>	— 0,020 9 <sub>5</sub>	972 8
	{ mer	971 0 <sub>5</sub>	— 0,001 8 <sub>5</sub>	972 9
$t = 22,0 \text{ °C}$	{ robinet	997,766 7 <sub>9</sub>	— 0,003 5 <sub>7</sub>	997,770 4
	{ Antarctique	749 1 <sub>4</sub>	— 0,020 6 <sub>8</sub>	769 8
	{ mer	768 7 <sub>0</sub>	— 0,001 2 <sub>4</sub>	769 9

$\rho_{\text{eau}}$  : masse volumique de chaque échantillon d'eau ramenée à la pression de 101 325 Pa (1 atm) et à une teneur nulle en gaz dissous.

$\Delta \rho$  : correction d'isotopie, calculée par la formule de la page 43.

La précision avec laquelle ces mesures ont été faites nous a permis de mettre en évidence l'influence des gaz dissous. Nous n'avons pas retrouvé les valeurs admises jusqu'à maintenant, surtout à 22 °C, et nous avons adopté les coefficients de correction que nous avons déterminés expérimentalement. Toutefois, étant donné que pour les trois échantillons d'eau les mesures ont été conduites de façon parallèle, les erreurs qui pourraient être ainsi introduites s'annulent en grande partie sur les différences de masses volumiques.

L'excellente concordance entre les trois valeurs obtenues pour la masse volumique du SMOW, à chaque température (pression d'une atmosphère normale, absence de gaz dissous), montre que la formule théorique est bien vérifiée par l'expérience. De plus, la formule étant vérifiée à deux températures très différentes, on peut estimer qu'elle est pratiquement valable dans un large domaine de température.

Nous pouvons donc considérer qu'actuellement l'influence de la composition isotopique sur la masse volumique de l'eau est suffisamment connue, d'autant plus que les mesures ont porté sur des eaux de masses volumiques

différant de près de  $20 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ ; pour les eaux naturelles rencontrées dans les différents laboratoires, et qui ne diffèrent pas entre elles de plus de  $5 \text{ à } 7 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ , l'incertitude sur la correction d'isotopie sera vraiment très faible.

#### *Masse volumique d'un monocristal de silicium*

Le NBS nous a prêté un monocristal de silicium de forme cylindrique (marqué B) d'environ 50 mm de diamètre et 39 mm de hauteur pour que nous puissions effectuer des essais de pesées hydrostatiques. Bien que l'état de surface de l'une de ses bases soit imparfait, nous avons pu obtenir des résultats encourageants quant à l'utilisation éventuelle de tels cristaux pour une étude sur la masse volumique de l'eau.

Nous avons fait des pesées hydrostatiques à des températures voisines de 21,58 °C et 4,36 °C. La reproductibilité des valeurs obtenues pour la masse volumique du monocristal de silicium est de l'ordre de  $0,4 \times 10^{-6}$ , en valeur relative.

L'eau du robinet (du BIPM), bidistillée, a été utilisée comme étalon; pour sa masse volumique à 4 °C, on a admis 999,972 kg/m<sup>3</sup> et pour sa dilatation thermique celle qui est donnée par la table de Chappuis.

Nous avons obtenu pour la masse volumique du cristal de silicium B :

à 4,36 °C : 2 329,350 kg/m<sup>3</sup>,

à 21,58 °C : 2 329,060 kg/m<sup>3</sup>.

#### *Enquête sur les mesures de masse*

Par rapport aux étalons des autres grandeurs de base du SI, peu de travaux ont été consacrés aux étalons de masse. On peut penser que des travaux coordonnés devraient être entrepris, tant au BIPM que dans les laboratoires nationaux, sur la réalisation, les propriétés et les moyens de comparaison des étalons de masse.

Un questionnaire a été adressé par le BIPM à un certain nombre de laboratoires afin de leur demander notamment quelles études ils souhaiteraient voir entreprendre.

Un résumé de ces réponses a été présenté au CIPM à sa 64<sup>e</sup> session (mai 1975).

A la suite du vote de la Résolution 3, par laquelle la 15<sup>e</sup> CGPM (mai 1975) « ... demande au Bureau International des Poids et Mesures et aux laboratoires nationaux de poursuivre des études visant à améliorer la précision des comparaisons d'étalons de masse », et compte tenu des réponses à ce questionnaire, le BIPM a invité quelques laboratoires à se faire représenter à une réunion qui doit se tenir au Pavillon de Breteuil à partir du 23 novembre 1976.

#### *Études courantes*

— Détermination de la masse et de la masse volumique d'un étalon de masse de 1 kg N° 79 en acier inoxydable « Nicral D » et étalonnage de la série d'étalons de masse N° 96 de 100 g à 1 mg (Sri Lanka).

— Détermination de la masse et de la masse volumique du Kilogramme étalon N° 43 en acier inoxydable « Nicral D » (Venezuela).

— Détermination de la masse de deux étalons de 1 kg en laiton doré (Mexique), trois étalons de 1 kg (voir p. 40): deux en acier inoxydable et un en laiton (PTB, R.F.A.), deux étalons de 1 kg en acier inoxydable (Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Suisse), cinq étalons de 5, 4, 3, 2, 1 g en platine iridié (NBS, États-Unis d'Amérique).

— Étalonnage de la série d'étalons de masse en acier inoxydable N° 90 (Institut Métrologique Tchécoslovaque).

Pour les besoins du BIPM :

— nouvel étalonnage complet des séries d'étalons en platine iridié : série Oe (500 g à 1 mg) et série O (400 g à 1 mg);

— nouvel étalonnage des subdivisions du milligramme (Al1, Ni1, Al2, Al3);

— vérification de l'étalonnage des six séries d'étalons en « monel » (100 à 1 mg);

— détermination de la masse et de la masse volumique de l'étalon J1 de 1 kg en acier inoxydable (25 % Cr, 20 % Ni) acheté en 1974 au Japon;

— détermination de la masse et de la masse volumique d'un cristal de silicium, étalonnage partiel de la série d'étalons Ni5 (5 g à 1 mg) et détermination de la masse de deux étalons de la série Ni4 (pour la Section des Rayonnements Ionisants).

#### *Divers*

Achats :

— une balance Mettler H35AR (portée de 160 g, précision de 0,1 mg);

— une série d'étalons de masse de 500 g à 1 g en acier inoxydable et de 500 mg à 1 mg en platine;

— deux enregistreurs à deux voies (Sefram, France);

— un pont de mesure de résistances modèle H7 (Automatic System Laboratories, Grande-Bretagne); ce pont sert à la détermination de la température à l'intérieur de la balance NBS-2 et à la détermination de la température de l'eau au cours des pesées hydrostatiques.

Réception des trois cylindres en platine iridié (JM13, JM14 et JM15) commandés chez Johnson-Matthey, ainsi que d'un nouveau cylindre (JM16) en remplacement du cylindre JM11 que nous avons dû refuser (Rapport 1974, p. 41).

Mesure, à l'aide d'un gravimètre Worden, du gradient vertical de l'accélération due à la pesanteur à la salle des balances (salle 105); on a trouvé  $\delta g/\delta z = -2,60_5 \pm 0,04 \times 10^{-6} \text{ s}^{-2}$ . (Accessoirement, on a déterminé l'accélération due à la pesanteur au niveau de la table de la balance hydrostatique et on a trouvé  $g = g_A + 6,4_3 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ , où  $g_A$  est la valeur obtenue au point de référence A du BIPM).

Remise en état de la double balance de démonstration construite pour l'Exposition Internationale de 1937 à Paris. Cette balance visualise l'effet de la poussée de l'air lors des pesées. Elle a été présentée à l'Exposition « Métrologie, année 100 » (Palais de la Découverte, mai 1975 à janvier 1976).

## Échelles de temps (J. Azoubib)

### *Temps Atomique International (TAI)*

Depuis sa mise en œuvre en juillet 1973, la nouvelle méthode de calcul du TAI <sup>(6)</sup> n'a pas subi de modification de fond. Des améliorations importantes de forme ont été effectuées; notamment le temps de calcul a été considérablement réduit et l'influence des erreurs d'arrondi sur les résultats a été éliminée. Ainsi, il n'existe plus de problèmes pratiques quant à l'augmentation du nombre d'horloges traitées.

Les types d'horloges qui contribuent au TAI n'ont guère évolué. Des horloges commerciales à césium perfectionnées sont apparues; elles ont une meilleure stabilité à court terme que les horloges ordinaires, mais les deux types d'horloges sont pratiquement équivalents pour les durées d'échantillonnage qui interviennent dans le calcul du TAI. Le nombre d'horloges commerciales utilisées en 1975 a atteint 70. Elles sont situées dans 19 laboratoires nationaux. Deux étalons à césium de laboratoire, l'un au NRC et l'autre au NBS, fonctionnent continuellement sur de longues durées depuis la fin de 1975, et ils participent à la formation du TAI.

Les réceptions de signaux du LORAN-C et de la télévision sont restées les méthodes courantes pour comparer les horloges. Les incertitudes de ces méthodes détériorent d'une façon appréciable les données des horloges telles qu'elles parviennent au BIH. Bien que des expériences prometteuses de liaisons par satellites aient eu lieu, elles ne sont pas entrées dans la pratique.

On peut donc considérer que les propriétés du TAI n'ont presque pas changé depuis 1973. De même, aucune modification n'a été apportée à sa mise à la disposition des utilisateurs: le TAI est donné à environ 0,2  $\mu$ s près par des tables de corrections aux horloges participantes, distribuées tous les mois.

### *Exactitude du TAI*

Le BIH a établi un filtre qui permet d'estimer la durée de la seconde du TAI, exprimée en secondes du SI, au niveau de la mer, compte tenu de toutes les données des étalons primaires de fréquence. Le filtre tient compte des corrélations possibles entre mesures successives faites avec le même étalon primaire. Son application conduit aux résultats présentés à la figure 4.

On note l'excellente stabilité du TAI depuis juillet 1973, mais on constate que son intervalle unitaire est trop court de  $1 \times 10^{-12}$  en valeur relative. Le principe d'une correction de cette erreur par saut de fréquence a été accepté, mais la date de ce saut n'a pas encore été fixée. Par la suite, l'intervalle unitaire du TAI sera maintenu en accord avec les données des étalons primaires. Il a été démontré <sup>(7)</sup> que cela pouvait se faire sans affecter la

---

<sup>(6)</sup> *Rapport Annuel du BIH pour 1973.*

<sup>(7)</sup> GUINOT (B.), *Proc. 2d Cagliari International Meeting* (1974).

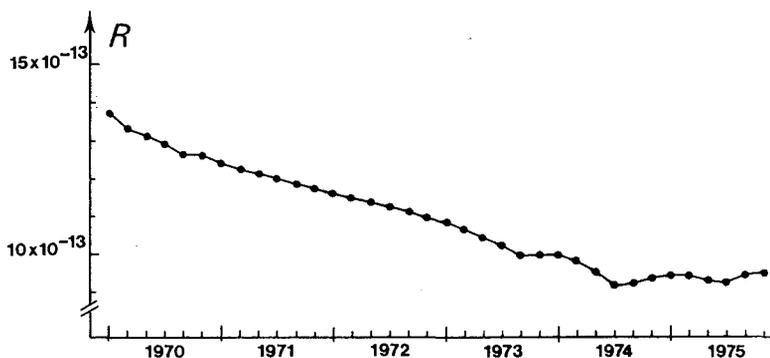


Fig. 4. — Estimations des écarts relatifs  $R$  de l'intervalle unitaire du TAI par rapport à la seconde du SI aux dates indiquées.

L'intervalle unitaire du TAI est plus court que la seconde du SI.

stabilité à court et à moyen terme, la stabilité à long terme (temps d'échantillonnage de plus de 10 ans) étant améliorée.

### Gravimétrie (A. Sakuma)

#### *Marées gravimétriques*

Depuis mai 1974, notre gravimètre à ressort destiné à la mesure des marées gravimétriques à « Sèvres point M1 » (Rapports 1973, p. 48 et 1974, p. 44) fonctionne en permanence et de façon très satisfaisante : nous avons pu obtenir des enregistrements pratiquement ininterrompus portant sur plus de 700 jours.

La décomposition en série de Fourier de ces enregistrements, faite en collaboration avec le Centre International des Marées Terrestres (Uccle, Belgique), montre :

— d'une part, l'excellente qualité de nos enregistrements (faible niveau des bruits, des dérives et des déphasages instrumentaux, insensibilité à la perturbation thermique journalière du sol due à l'ensoleillement, bonne constance à long terme de l'étalonnage de l'appareil, etc.);

— d'autre part, l'existence de déphasages appréciables entre les ondes des marées gravimétriques réelles et les ondes des marées gravimétriques théoriques.

On a ainsi observé, en 1974-1975, une avance de phase de  $3,33^\circ \pm 0,03^\circ$  pour l'onde principale semi-diurne lunaire  $M_2$  (amplitude à Sèvres :  $3,9 \times 10^{-7}$  m/s<sup>2</sup>, période : 12 h 25 min).

On considère que ces déphasages sont dus aux déformations de la croûte terrestre provoquées par les variations cycliques de charge produites par la marée océanique; l'amplitude de la composante verticale des mouvements correspondants du sol est de 1 cm environ en notre lieu de mesure, bien que celui-ci soit situé à plus de 150 km du littoral le plus proche.

En nous fondant sur les résultats de cette décomposition en série de Fourier, et grâce à la possibilité d'étalonner la sensibilité de notre gravi-

mètre à ressort à l'aide de notre gravimètre absolu (avec une exactitude qui est actuellement de 1 % et qui sera portée à 0,3 % dans un proche avenir), nous avons pu établir un programme de calcul pour la prévision des marées gravimétriques à notre point de mesure.

Les valeurs prévues concordent à  $\pm 1 \times 10^{-8}$  m/s<sup>2</sup> près avec nos observations lorsque les conditions météorologiques sont stables. En revanche, des écarts appréciables liés aux variations de la pression atmosphérique ont été nettement observés; ils peuvent atteindre  $\pm 5 \times 10^{-8}$  m/s<sup>2</sup>. L'analyse des perturbations des marées gravimétriques en notre lieu de mesure fait apparaître des coefficients qui varient entre  $-4 \times 10^{-11}$  et  $-1,5 \times 10^{-11}$  m/(s<sup>2</sup>.Pa) ( $-0,4$  et  $-0,15$   $\mu$ Gal/mbar), soit entre 90 % et 35 % environ du coefficient théorique de la perturbation due à la variation d'attraction par la masse atmosphérique, la croûte terrestre étant supposée indéformable. Les coefficients analogues obtenus par d'autres laboratoires d'après des observations de longue durée suivies de traitements statistiques, coefficients considérés comme des constantes locales, varient beaucoup d'un lieu à l'autre, par exemple de 90 % (Frankfurt a. M.) à 20 % (Strasbourg) du coefficient théorique. Nous ne pouvons pas actuellement identifier la cause de la variation des coefficients déterminés à notre point de mesure; nous ne savons pas non plus si ces coefficients sont des constantes locales. Néanmoins, nos observations nous ont permis de constater qu'il existe des écarts de  $\pm 5 \times 10^{-8}$  m/s<sup>2</sup> entre les valeurs mesurées et les valeurs prévues pour les marées gravimétriques et que ces écarts sont significatifs, non seulement après une analyse statistique portant sur une longue durée mais aussi chaque fois qu'il y a des variations appréciables de la pression atmosphérique. Pour faire une étude approfondie de ce phénomène, on devrait tenir compte non seulement de la variation de la pression atmosphérique locale, mais aussi de la distribution de la pression à l'échelle d'une région; il faudrait aussi tenir compte du niveau des eaux souterraines, les variations de ce niveau pouvant produire des variations de la pesanteur du même ordre que celles qui sont dues à l'effet de la pression atmosphérique.

En deux ans, la dérive globale du gravimètre a été très faible :  $2,5 \times 10^{-7}$  en valeur relative dans le sens d'un allongement du ressort (soit + 250  $\mu$ Gal) dont 80 % sont apparus au cours de la première année.

Grâce à cette faible dérive, aucune retouche du réglage mécanique du zéro du gravimètre n'a été nécessaire, alors que de nombreux autres gravimètres exigent qu'une telle opération soit effectuée périodiquement. On pourra donc, comme nous l'avons déjà dit (Rapport 1974, p. 45), utiliser, pour la mesure de forces, de pressions et de masses de très faibles valeurs, des ressorts de bonne qualité dont la grande stabilité des forces élastiques a été constatée; ces ressorts seraient mis en œuvre au moyen de méthodes de zéro et seraient étalonnés à l'aide de notre gravimètre absolu.

Le seuil de sensibilité de notre gravimètre atteint actuellement  $2 \times 10^{-11}$  environ, en valeur relative, pour une durée d'intégration de 40 s. Cette sensibilité correspond à une variation de 1,2 ng de la masse suspendue du gravimètre (60 g); elle est meilleure que celle des ultra-microbalances à fil de torsion (par exemple 2 ng pour une portée de 1 g) qui exigent des moyens d'étalonnage spéciaux; elle correspond également, par exemple :

- à une variation de 12 pN sur une force de 0,6 N,
- à 1 % environ de la force due à la pression des ondes électromagné-

tiques du Soleil agissant sur un miroir de surface  $1 \text{ cm}^2$  placé sur la Terre, — à la force exercée sur une masse de 60 g par le champ de gravitation d'une masse de 3 kg distante de 1 m.

Afin de commencer des études préliminaires sur ces possibilités, nous avons acquis récemment, auprès d'une société pétrolière de Tokyo, un gravimètre de fabrication ancienne (1959) du type North American.

#### *Station gravimétrique de Mizusawa*

Notre collaboration se poursuit depuis 1972 avec l'International Latitude Observatory, Mizusawa, Japon, pour la création d'une seconde station gravimétrique absolue. L'importance du rôle que cette station sera amenée à jouer dans l'avenir a été reconnue par la Commission Gravimétrique Internationale (7<sup>e</sup> session, Paris, septembre 1974) et par l'Association Internationale de Géodésie (Grenoble, août 1975) qui ont adopté des résolutions (8) recommandant la création d'une dizaine de stations analogues à celle de Mizusawa et bien réparties à la surface de la Terre. A la suite de ces résolutions, l'installation de stations absolues a été envisagée par plusieurs laboratoires de divers pays: République Fédérale d'Allemagne, Australie, Canada, États-Unis d'Amérique, etc. Nous sommes en relation avec ces laboratoires pour l'échange d'informations techniques.

La construction de l'appareillage pour la station de Mizusawa progresse de façon très satisfaisante: le BIPM construit actuellement un interféromètre de Michelson fonctionnant sous vide et muni d'un montage anti-vibratoire; il a déjà réalisé un laser à He-<sup>20</sup>Ne asservi sur l'absorption saturée par <sup>127</sup>I<sub>2</sub> et un chronomètre totalisateur; les autres parties du montage sont en cours de fabrication au Japon.

Nous avons quelques difficultés avec la fabrication des trièdres pour la mesure absolue de  $g$ : l'usinage, l'ajustage et les réglages sont complexes et laborieux, de petites erreurs d'usinage risquant de rendre le trièdre inutilisable. Ces difficultés viennent d'être résolues par une société d'optique (Nikon, Tokyo) qui a industrialisé la fabrication des trièdres au moyen de machines automatiques à commande numérique. Les qualités optiques et mécaniques des trièdres réalisés par ce procédé se sont révélées satisfaisantes et même supérieures à celles de nos propres réalisations.

On prévoit que l'assemblage et la mise au point de tout l'appareillage de la station de Mizusawa pourront être effectués en 1977-1978.

#### *Gravimètre absolu transportable*

Le premier prototype de gravimètre absolu transportable est maintenant mis en service avec succès, après huit ans d'étroite collaboration entre le BIPM et l'IMGC (Turin).

L'exactitude de la mesure de  $g$ , qui était de l'ordre de  $\pm 3 \times 10^{-8}$  en valeur relative pendant ces deux dernières années, vient d'être sensible-

---

(8) Commission Gravimétrique Internationale, septembre 1974, Résolution N° 2, *Bulletin Géodésique*, N° 115, 1975, pp. 93-95.

Association Internationale de Géodésie, août-septembre 1975, Vœu N° 16, *Bulletin Géodésique*, N° 118, 1975, pp. 376-378.

ment améliorée : on l'a portée à mieux que  $\pm 1 \times 10^{-8}$  en remplaçant les trièdres de l'interféromètre par des trièdres de meilleure qualité optique et mécanique. Cette amélioration de l'exactitude des mesures nous a permis de réduire de deux semaines environ à moins d'une semaine la durée nécessaire à l'établissement d'une station gravimétrique. Désormais, ce gravimètre absolu sera utilisé pendant plusieurs années à l'établissement du réseau gravimétrique absolu euro-africain, programme financé par des institutions métrologiques et géophysiques. Comme première étape de cet important projet, deux stations absolues ont été créées au cours de la première quinzaine de juin 1976 : l'une à Bruxelles (Bruxelles A, Observatoire Royal de Belgique) et l'autre à Teddington (British Fundamental Station).

A la suite des demandes d'une dizaine de laboratoires de métrologie et de géophysique, nous avons entrepris la réalisation d'un second prototype de gravimètre absolu transportable d'exactitude encore meilleure, d'une part pour nos propres recherches, d'autre part comme prototype pour une fabrication commerciale.

### **Thermométrie** (J. Bonhore)

#### *Échelle Internationale Pratique de Température*

Le BIPM vient d'étendre le domaine de température dans lequel il est capable d'intervenir. Jusqu'en 1975, il ne pouvait utiliser le thermomètre à résistance de platine que de 0 °C à 630 °C et, au delà, le thermocouple platine/platine rhodié jusqu'à 1 064 °C. Il peut maintenant effectuer des étalonnages de thermomètres à résistance (du type à tige ou du type capsule) au-dessous de 0 °C grâce à la réalisation du point triple de l'argon (83,798 K).

#### *Point triple de l'argon*

1) *Cryostat*. — Le cryostat du BIPM, analogue à celui qui a été construit au NRC, est un système classique qui permet d'obtenir un équilibre pratiquement adiabatique autour d'un thermomètre du type capsule. L'argon sous ses trois phases est contenu dans une chambre de mesure reliée à l'extérieur par l'intermédiaire d'un échangeur de température; un écran de rayonnement et un piège pour l'ancrage thermique des liaisons électriques atteignant la chambre complètent le dispositif (*fig. 5*). La régulation thermique de l'échangeur, de l'écran et du piège, à une température identique ou très légèrement supérieure à celle de la chambre, permet d'assurer l'adiabaticisme. On doit alors, pour faire progresser la phase liquide, chauffer la chambre par intermittence.

La chambre de mesure doit présenter une capacité thermique aussi faible que possible. Dans un premier temps, on l'avait réduite à une simple enveloppe extérieure soudée au thermomètre qui se trouvait ainsi en contact direct avec l'argon; ensuite, pour des raisons de commodité et en particulier pour éviter au thermomètre les chocs thermiques dus à des

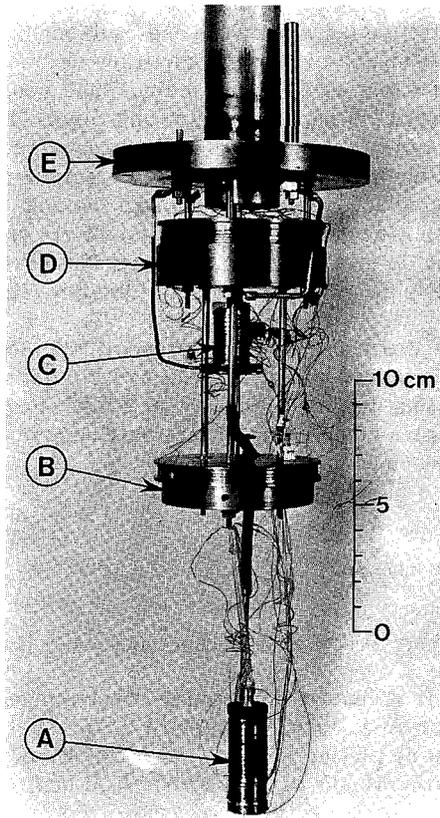


Fig. 5. — Vue générale du cryostat.

A, chambre de mesure; B, support et partie supérieure de l'écran de rayonnement; C, échangeur de température; D, piège d'ancrage thermique; E, support et partie supérieure de l'enveloppe étanche plongée dans l'azote liquide.

soudures répétées, on a muni la chambre d'un doigt de gant destiné à recevoir le thermomètre.

Après les ajustages nécessaires et la mise au point du mode opératoire, les essais du cryostat ont donné entière satisfaction. On a étudié l'influence sur la température observée du point triple de l'argon, du taux de remplissage de la chambre, des températures de l'échangeur, de l'écran et du piège lorsque ces températures sont quelque peu différentes de celle de la chambre. On a aussi examiné comment évoluait la température du point triple de l'argon en fonction de  $1/F$  ( $F$ , fraction liquide de la masse totale d'argon) ce qui constitue un critère de la pureté de l'échantillon d'argon considéré; par souci de rigueur, on a pris l'habitude d'exprimer les résultats pour  $F = 1$  (point de liquidus). Ce critère de pureté est d'autant plus utile qu'on ne dispose pas du matériel nécessaire pour étudier la qualité de l'argon utilisé. La pureté nominale du gaz livré par le fabricant est de 99,999 5 %, mais rien ne permet d'affirmer que cette pureté soit conservée dans la chambre de mesure; les gaz désorbés par les parois risquent en effet

de contaminer l'argon et la faible conductance des canalisations empêche de les évacuer totalement lors des pompages.

On estime savoir reproduire actuellement la température du point triple de l'argon à  $\pm 0,2$  mK près.

2) *Cellule scellée pour thermomètre du type capsule.* — Par leur facilité et leur rapidité d'emploi, les cellules scellées de points triples présentent un intérêt certain. En revanche, leur réalisation est difficile : la forte pression du gaz à la température ambiante ne permet pas de rendre très faible la capacité thermique de l'enveloppe; en outre, la quantité de gaz utilisée, nécessairement petite, ne favorise pas la conservation de la pureté du gaz.

Des cellules scellées contenant de l'argon, à enveloppe en acier inoxydable, existent déjà dans deux laboratoires nationaux (INM et IMG C) et semblent donner satisfaction. Dans le but d'améliorer les échanges thermiques, en particulier avec le thermomètre, on a construit une cellule en cuivre; elle est formée de deux éléments cylindriques réunis par un disque en acier inoxydable. Une fois emplie d'argon, la cellule sera essayée dans le cryostat décrit ci-dessus.

3) *Comparaison entre trois laboratoires.* — Deux thermomètres à résistance de platine du type capsule ont participé à une comparaison entre l'IMG C, l'INM et le BIPM. Les trois laboratoires utilisaient un cryostat adiabatique, mais les installations contenant l'argon étaient différentes : un ensemble fermé (chambre de mesure, échangeur de température, réservoir-ballast) amovible pour l'IMG C <sup>(9)</sup>, une cellule scellée pour l'INM <sup>(10)</sup>, le cryostat indiqué ci-dessus pour le BIPM.

Pour les deux thermomètres, les résistances réduites  $W$  ci-dessous ont été obtenues entre décembre 1975 et mars 1976. Elles sont ramenées à un courant de mesure nul dans le thermomètre et à une fraction liquide  $F = 1$ .

		$W$			$W$		
Thermomètre T226322	{	IMGC	0,216 069 4	Thermomètre T226249	{	INM	0,216 120 4
		INM	0,216 070 3			BIPM	0,216 120 8
		BIPM	0,216 071 2				

L'incertitude sur chaque valeur de  $W$  est estimée à  $\pm 1 \times 10^{-6}$ ; elle correspond à  $\pm 0,2$  mK; l'accord entre les trois laboratoires (écart maximal 0,4 mK) peut donc être considéré comme satisfaisant.

4) *Cellule scellée pour thermomètre à tige.* — On a construit deux cellules et une enceinte en acier inoxydable suivant des plans fournis par l'INM <sup>(11)</sup>. Chaque cellule, qui est recouverte d'une épaisse couche de polyuréthane expansé, est plongée directement dans l'azote liquide. Quand l'argon est

<sup>(9)</sup> PAVESE (F.), Realization of the IPTS-68 between 54.361 and 273.15 K and the triple points of oxygen and argon, in European Conference on Temperature Measurement, the Institute of Physics, London, 1975, **26**, pp. 70-79.

<sup>(10)</sup> BONNIER (G.) et MALASSIS (R.), Réalisation d'un nouveau type de cellule scellée destinée aux étalonnages cryogéniques, *Bull. BNM*, N° 22, 1975, pp. 19-20.

<sup>(11)</sup> BONNIER (G.), Cellule à point triple de l'argon, *Comité Consultatif de Thermométrie*, 10<sup>e</sup> session, 1974, pp. T 106-T 108.

complètement congelé dans la partie inférieure de la cellule autour du puits thermométrique, on ajuste la pression au-dessus de l'azote pour établir une température très légèrement supérieure à la température du point triple de l'argon. On observe alors un palier de température qui n'est plus un équilibre adiabatique mais un pseudo-équilibre à flux de chaleur constant.

On a étudié les propriétés de ce palier (durée, pente) en fonction de la température de l'azote et de la profondeur d'immersion du thermomètre; le palier (segment de droite), dont la durée peut atteindre quatre à six heures, présente une marche ascendante équivalente à 1 mK environ entre  $F = 0$  et  $F = 1$ . On a aussi contrôlé la bonne reproductibilité du palier et, à l'aide d'un thermomètre du type capsule étalonné, on a vérifié que la « température moyenne » fournie par ce type de cellule scellée ne présentait pas d'erreur systématique. Sans avoir encore une longue expérience sur la stabilité de ces cellules, on n'a pas remarqué d'évolution notable en deux ans.

#### *Point triple du méthane*

La température de ce point triple présente l'avantage d'être très proche de 90 K, à la jonction de deux domaines de température de l'EIPT-68. On a étudié, dans le cryostat décrit ci-dessus, les propriétés du point triple sur plusieurs échantillons de gaz provenant d'une même bouteille de méthane de pureté nominale 99,995 %. Facile à réaliser, le point triple est bien reproductible ( $\pm 0,2$  mK). Avec un thermomètre capsule étalonné au point triple de l'argon, au point triple de l'eau et au voisinage de 100 °C (seulement par comparaison à un thermomètre à tige étalon), on a obtenu 90,686 K  $\pm 1$  mK pour valeur de la température (de liquidus) du point triple. Cette valeur provisoire sera vérifiée ultérieurement avec du méthane de pureté 99,999 5 %, après un meilleur étalonnage du thermomètre à 100 °C.

#### *Point triple de l'eau*

Pour contrôler, puis remplacer, des cellules qui présentaient un désaccord excessif, on a fait l'acquisition de trois cellules de fabrication américaine; on doit aussi recevoir prochainement deux cellules d'origine italienne et on espère en obtenir de provenances anglaise et soviétique. La comparaison de ces différentes cellules présente un intérêt certain, intérêt qui serait encore renforcé si d'autres laboratoires acceptaient de participer à cette comparaison en nous fournissant des cellules de leur fabrication.

#### *Four pour la comparaison de thermomètres*

Dans bien des cas, il peut être intéressant d'étalonner des thermomètres à résistance sans avoir recours aux points fixes, par comparaison à un thermomètre étalon. Avec un pont de mesure du type comparateur de courants (pont Automatic System Laboratories, Grande-Bretagne, par exemple), cette comparaison est d'autant plus facile qu'on peut prendre le thermomètre étalon comme résistance de référence; on élimine ainsi la plus grande partie des erreurs éventuelles d'origine électrique liées au pont. Il est

suffisant de connaître la température du four à quelques dixièmes de kelvin près puisque le rapport des résistances de deux thermomètres ne varie que lentement avec la température; en revanche, il est nécessaire que l'uniformité de température du four soit excellente ou, tout au moins, que les thermomètres perçoivent les défauts d'uniformité de manière identique.

Dans ce but, on a modifié un four horizontal dans lequel deux thermomètres étaient mis en place, chacun par une extrémité du four, dans des puits parallèles. Dans le nouveau four (cinq blocs cylindriques de cuivre nickelé), utilisable de 20 à 630 °C, sept thermomètres peuvent être introduits par la même extrémité du four; les puits sont légèrement inclinés par rapport à l'axe du four de façon que les éléments sensibles des thermomètres soient très près les uns des autres.

#### *Ponts de mesure*

Le BIPM dispose d'un pont de Smith dont les inconvénients (nécessité de nettoyages et d'étalonnages fréquents) sont bien connus et d'un pont ASL automatique à sept décades. Les mesures avec ce dernier appareil ont été améliorées par l'adjonction d'un milliampèremètre qui permet de régler avec précision le courant traversant le thermomètre; en outre, on a acquis un convertisseur numérique-analogique et un enregistreur potentiométrique indispensable pour suivre correctement un palier de température. Cependant, dans ce type de pont, les résistances des lignes ne sont pas éliminées; pour les mesures les plus précises, on a prévu l'utilisation d'un pont Guildline récemment livré au BIPM.

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

Dans le Rapport de 1974 (p. 50), nous indiquions notre intention de compléter l'étude déjà faite sur le rattachement de deux températures thermodynamiques l'une à l'autre, par pyrométrie monochromatique (longueur d'onde de 1  $\mu\text{m}$ ). Dans le domaine de température 630-1 064 °C, on utilisait un tube photoélectrique Cs-Ag-O comme comparateur de luminance des corps noirs. On va maintenant s'intéresser à l'intervalle 419-630 °C, ce qui nécessite un récepteur plus sensible; dans ce but, on a commandé un photomultiplicateur à cathode Ga-In-As qui sera refroidi à — 90 °C. En outre, les thermocouples qui fournissaient la température des corps noirs dans l'EIPT seront remplacés par des thermomètres à résistance.

#### *Études courantes*

Le BIPM possède maintenant un grand nombre de thermomètres à résistance de platine en service dans ses différentes sections. En plus de la vérification de ces instruments, on a étudié seize thermomètres à mercure :

- position du zéro de deux thermomètres (Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques);
- coefficient de pression extérieure et étalonnage par comparaison à un thermomètre à résistance de platine de deux thermomètres à échelle

réduite (Université technique de Lyngby, Danemark) et de douze thermomètres du BIPM (Sections d'Électricité et des Rayonnements Ionisants).

### Manométrie (J. Bonhoure)

#### *Manobaromètre interférentiel*

Dans le Rapport de 1974 (p. 51), on indiquait qu'un manobaromètre interférentiel, identique à celui du BIPM, avait été livré au VNIIM à Moscou en décembre 1973. Les Établissements Jaeger ont installé l'appareil et le BIPM a effectué le réglage de la partie interférométrique en octobre 1974. Depuis lors, et sans aucune intervention ultérieure, l'appareil fonctionne parfaitement.

#### *Études courantes*

Par comparaison à notre manobaromètre interférentiel, nous avons étalonné :

- les deux baromètres à mercure Fuess du BIPM utilisés dans les Sections des Longueurs et des Masses;
- une jauge à vide pour la Section de Gravimétrie.

La jauge à spirale de quartz (Texas Instruments) livrée au BIPM en août 1974, utilisée en particulier pour la mesure de la pression à l'intérieur de la balance NBS-2, et dont le domaine de mesure s'étend de 88 kPa à 115 kPa, a été comparée trois fois au manobaromètre interférentiel à différentes pressions comprises entre 96 kPa et 104 kPa. De plus, elle a été comparée à de nombreuses reprises au baromètre Fuess (N° 2453) installé dans la salle des balances.

La figure 6 donne l'évolution depuis septembre 1974 des corrections à appliquer aux mesures faites avec cette jauge.

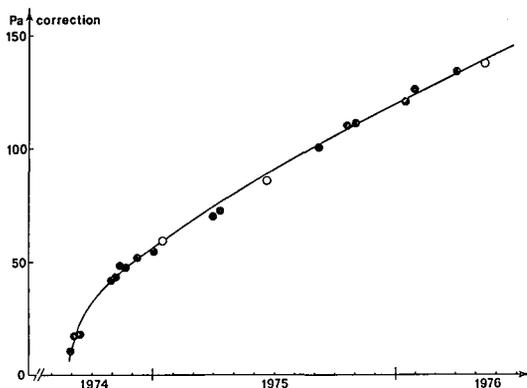


Fig. 6. — Jauge de pression Texas Instruments : évolution de la correction à appliquer aux mesures effectuées au voisinage de la pression atmosphérique.

● comparaison au baromètre Fuess N° 2453; ○ comparaison au manobaromètre interférentiel.

Enfin, nous avons étalonné un baromètre du type Fortin appartenant au Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université de Paris VI.

## Électricité (G. Leclerc, T. Witt)

### *Équipement*

L'air frais utilisé pour refroidir, lorsque c'est nécessaire, les parois de la cabine thermorégulée dans laquelle sont conservées les piles étalons du BIPM (Rapport 1974, p. 51) était primitivement prélevé directement dans la salle 4 maintenue pour cette raison à 19,7 °C. Il l'est maintenant sur une réserve d'air froid installée dans le couloir de ronde, derrière la salle 4. Le groupe frigorifique qui maintient automatiquement cette réserve à 17,5 °C a été placé à l'extérieur de l'observatoire; il est lui-même refroidi par air.

Le dispositif de régulation de la température de la salle 15, dans laquelle on effectue les mesures des résistances (dispositif mis en service en 1952) est définitivement tombé en panne. Il a été remplacé par un nouveau dispositif qui contrôle à la fois la température de l'air et son état hygrométrique et qui a aussi été placé dans le couloir de ronde. La salle a été réaménagée; le pont de comparaison pour résistances (pont Guildline à comparateur de courants continus) y a été installé. Comme il est prévu d'utiliser ce nouveau pont pour déterminer la température des piles étalons au moyen de thermomètres à résistance de platine, plusieurs lignes ont été mises en place entre les salles 4 et 15.

Nous avons acquis :

— douze piles saturées et six piles non saturées (Tinsley) destinées au renouvellement de nos piles de référence;

— une enceinte à air thermorégulée à 30 °C, contenant quatre piles saturées (modèle Transvolt, Guildline), destinée à des échanges éventuels avec d'autres laboratoires;

— deux amplificateurs galvanométriques, une source de courant régulée (réglable entre 0 et 100 mA) et un commutateur du type « cross-bar »;

— un équipement complémentaire pour les mesures de fréquence de 8 à 18 GHz qui améliore par un facteur 100 la résolution de notre fréquence-mètre;

— un voltmètre permettant la mesure des résistances de fuite jusqu'à  $10^{13}$   $\Omega$  (Hewlett-Packard);

— un diviseur potentiométrique pour le contrôle rapide des tensions et des résistances (ESI).

### *Pont double principal*

Cet instrument, qui sert essentiellement à la comparaison des étalons de résistance de 1  $\Omega$ , a été reconstruit. Les quatre bras qui constituent la tête du pont sont maintenant composés par des résistances à faible coefficient de température (ESI), plongées dans de l'huile de paraffine. Les deux étalons comparés à la tare à tour de rôle peuvent être substitués l'un à l'autre, soit mécaniquement (par déplacement), soit électriquement

(par une commutation appropriée, chaque étalon conservant alors la même position pendant toute la durée des mesures). Deux inverseurs, construits par notre atelier, permettent en outre, l'un d'inverser les bras « tare » et « mesure », l'autre d'inverser les rôles des bras « extérieurs » et « intérieurs ».

*Dispositif pour l'étude du coefficient de pression des étalons de résistance*

Pour étudier l'influence de la pression sur la valeur de la résistance de nos étalons de référence, nous avons construit un appareil (fig. 7) dans lequel ces étalons peuvent être soumis à des pressions comprises entre 100 et 200 kPa. L'étalon à étudier est placé dans de l'huile de paraffine et sa température est mesurée au moyen d'un thermomètre à résistance de platine. Sa résistance est déterminée au moyen du pont double.

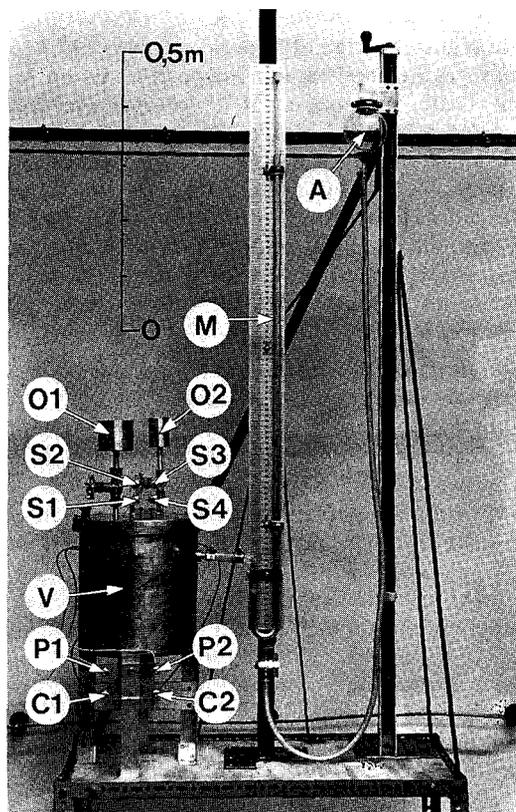


Fig. 7. — Dispositif pour la détermination du coefficient de pression des étalons de résistance.

V, récipient étanche rempli d'huile de paraffine dans lequel on place l'étalon de résistance à étudier; O1, orifice pour le remplissage; O2, orifice pour l'évacuation de l'air pendant le remplissage; C1, C2, bornes pour l'alimentation en courant; P1, P2, prises de potentiel de l'étalon étudié; S1, S2, S3, S4, bornes du thermomètre à résistance de platine utilisé pour déterminer la température de l'étalon en cours d'étude; M, manomètre à mercure; A, ampoule permettant de faire varier la pression dans le récipient V.

*Conservation de l'unité de force électromotrice*

Jusqu'au 31 décembre 1975, le volt a été conservé au BIPM en considérant comme constante la somme des forces électromotrices de 43 piles étalons saturées, réparties en huit groupes et conservées dans un bain d'huile de paraffine à  $(20 \pm 0,05)^\circ\text{C}$ .

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1976, conformément à la recommandation E2 (1975) du CCE, approuvée par le CIPM au cours de sa 64<sup>e</sup> session (1975), l'unité de force électromotrice est réalisée au BIPM à partir d'échelons de potentiel produits par l'effet Josephson en admettant que la fréquence qui correspond à 1 V est 483 594,0 GHz; cette réalisation est désignée par  $V_{76-BI}$ .

Jusqu'à la fin de l'année 1975, nous nous sommes donc surtout attachés à améliorer les performances de notre « installation Josephson » et à déterminer la valeur du coefficient  $2e/h$  en fonction de  $V_{69-BI}$ ; depuis le début de 1976, au contraire, nous utilisons l'effet Josephson pour attribuer des valeurs à nos piles de référence et pour étalonner celles qui nous sont envoyées pour étude.

*Mise en œuvre de l'effet Josephson.* — La comparaison de la tension qui apparaît aux bornes des jonctions Josephson à la force électromotrice des piles, conservées à  $20^\circ\text{C}$  dans le bain d'huile, s'effectue par l'intermédiaire de deux groupes de piles maintenues à  $30^\circ\text{C}$  dans des enceintes thermorégulées commerciales. Le premier groupe (6BIPM1, constitué de 6 piles saturées, ou 6BINS, constitué de 6 piles non saturées) est placé dans la cage de Faraday avec l'installation Josephson; le second groupe (4BIPM2, constitué de 4 piles saturées) est placé à l'extérieur de la cage dans les meilleures conditions d'environnement (température ambiante constante).

Une série de mesures est faite au cours d'une journée; elle comporte les opérations successives suivantes:

1) comparaison de l'une des piles du groupe 6BIPM1 (ou 6BINS) à l'ensemble des piles du groupe 4BIPM2;

2) comparaison de la même pile à la tension Josephson (durée: 4 à 5 heures);

3) répétition de la première comparaison.

*Mesure du coefficient  $2e/h$  en fonction de  $V_{69-BI}$ .* — D'octobre 1974 à mai 1975, nous avons effectué 24 séries de mesures; le groupe 4BIPM2 était lui-même comparé tous les deux mois environ aux 8 groupes de référence qui conservaient  $V_{69-BI}$  (chacune de ces comparaisons exige une quinzaine de jours).

Après une interruption de quelques mois, consacrée à l'amélioration de notre installation Josephson, nous avons repris nos mesures le 29 janvier 1976 et nous les poursuivons régulièrement depuis, à raison d'une série de mesures tous les quinze jours environ.

Les résultats obtenus jusqu'en mars 1976, époque de la dernière comparaison du groupe 4BIPM2 à  $V_{69-BI}$ , sont donnés à la figure 8. On voit qu'au 1<sup>er</sup> janvier 1976 on avait:

$$2e/h = 483\,592,86 \text{ GHz}/V_{69-BI}.$$

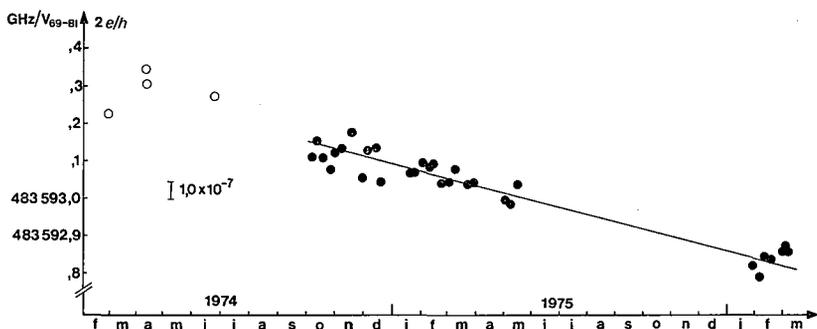


Fig. 8. — Résultats des déterminations de  $2e/h$  effectuées au BIPM depuis février 1974.

La droite a été calculée par la méthode des moindres carrés en utilisant seulement les résultats (pondérés) représentés par les cercles noirs. Sa pente correspond à la dérive de  $V_{69-BI}$ . Les quatre cercles blancs sont relatifs à nos mesures préliminaires.

*Passage de  $V_{69-BI}$  à  $V_{76-BI}$ .* — De la valeur de  $2e/h$  donnée ci-dessus on déduit qu'au 1<sup>er</sup> janvier 1976 :

$$V_{76-BI} = V_{69-BI} + 2,4 \mu V.$$

La pente de la droite correspond à la dérive de  $V_{69-BI}$  au cours de l'année 1975 :  $-0,48 \mu V/a$ . Comme la dérive moyenne de  $V_{69-BI}$  entre le 1<sup>er</sup> janvier 1969 et le 1<sup>er</sup> janvier 1976 n'est cependant que de

$$\frac{-2,4 \mu V}{7a} = -0,34 \mu V/a,$$

c'est que la dérive de la force électromotrice des piles qui conservaient  $V_{69-BI}$  s'est accélérée dans le cours des dernières années, probablement à cause de l'âge des piles et d'une utilisation trop importante.

*Nouveaux groupes de référence.* — Pour conserver  $V_{76-BI}$ , le BIPM dispose actuellement de deux groupes de 4 piles saturées (4BIPM2 et 4BITR1) maintenues à 30 °C dans des enceintes thermorégulées commerciales et de quatre groupes de 6 piles, d'origines diverses, fabriquées depuis trois ou quatre ans et maintenues à  $(20 \pm 0,05)$  °C dans le bain d'huile. Les valeurs de ces piles sont bien entendu régulièrement contrôlées au moyen de l'effet Josephson.

*Construction d'enceintes thermorégulées pour piles.* — La précision avec laquelle la force électromotrice des piles de référence est actuellement déterminée (environ  $1 \times 10^{-7}$ ) étant surtout limitée par l'instabilité de la température des enceintes thermorégulées commerciales, nous avons entrepris la construction de trois enceintes thermorégulées à 30 °C. Deux de ces enceintes sont pratiquement terminées et en cours de réglage; l'une a été construite au BIPM, l'autre au NBS (par T. Witt); la troisième enceinte sera construite au BIPM. Pour ces deux dernières, on a utilisé les plans aimablement fournis par le NBS que nous remercions vivement. Les piles de deux des enceintes considérées comme étalons de référence primaires serviront uniquement à conserver  $V_{76-BI}$ ; les piles de la troisième enceinte

joueront le rôle d'étalons de référence secondaires et serviront pour les étalonnages, conjointement avec les piles conservées dans l'huile à 20 °C.

### *Comparaison des installations Josephson du BIPM et de la PTB*

Dans le but de comparer directement les résultats fournis par deux installations Josephson différentes, nous avons transporté à la PTB (Braunschweig) celle du BIPM (à l'exception de l'équipement hyperfréquence) en avril 1975.

Cinq comparaisons ont été effectuées. L'écart entre les valeurs de la force électromotrice d'une même pile étalon mesurée à l'aide de l'une ou l'autre installation était en moyenne 0,05  $\mu\text{V}$ , soit  $5 \times 10^{-8}$ ; cet écart est compatible avec l'incertitude admise pour ces mesures ( $5,6 \times 10^{-8}$ ). L'installation de la PTB diffère pourtant de celle du BIPM par le type des jonctions utilisées, la valeur de la tension Josephson produite, le type de comparateur de tensions, la température de fonctionnement et la fréquence du rayonnement électromagnétique.

Le résultat de cette expérience confirme que l'uniformité des représentations du volt en usage dans les divers laboratoires pourra être obtenue à  $1 \times 10^{-7}$  près par la mise en œuvre de l'effet Josephson.

### *Comparaison de $V_{76-BI}$ à $V_{NPL}$*

Pour essayer d'apprécier la précision maximale avec laquelle on peut comparer les représentations du volt en usage dans deux laboratoires au moyen de piles étalons voyageuses transportées dans les meilleures conditions, le BIPM et le NPL ont échangé des enceintes thermorégulées transportables (de type commercial), contenant chacune 4 piles saturées. Ces enceintes ont été transportées par avion, comme bagage à main, et ne sont restées que quelques heures hors d'un laboratoire. L'expérience se poursuit actuellement.

### *Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF*

En 1972, au cours de la 13<sup>e</sup> session du CCE, plusieurs laboratoires nationaux ayant exprimé le désir de recevoir une seconde fois les trois condensateurs voyageurs de 10 pF, une nouvelle comparaison internationale a été entreprise en 1973. Deux circuits de comparaison ont déjà été effectués :

- circuit N° 1 NBS  $\rightarrow$  NML  $\rightarrow$  ETL  $\rightarrow$  NBS;
- circuit N° 2 NBS  $\rightarrow$  NPL  $\rightarrow$  NRC  $\rightarrow$  NBS.

Les résultats de ces comparaisons ont été présentés au CCE, en mai 1975 <sup>(12)</sup>.

Un troisième circuit de comparaison sera bientôt terminé; les condensateurs, après avoir été étudiés à l'IEN et au VSL (Van Swinden

---

<sup>(12)</sup> LECLERC (G.), Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF, *Comité Consultatif d'Électricité*, 14<sup>e</sup> session, 1975, pp. E 64-E 67.

Laboratorium, Pays-Bas), sont actuellement à la PTB; ils retourneront au NBS dès que la PTB aura achevé ses mesures.

Le quatrième et dernier circuit de comparaison (NBS → ASMW → IMM → NBS) pourra probablement être entrepris dès la fin de 1976.

### *Études courantes.*

Des étalonnages réguliers sont nécessaires pour surveiller la bonne conservation de nos étalons de référence et pour maintenir la qualité de nos installations de mesure.

Nous avons eu en outre à étudier 28 étalons de résistance de valeur comprise entre 0,1 à  $10^6 \Omega$  (détermination de la valeur à 20 ou à 25 °C et quelquefois du coefficient de température entre 15 et 30 °C) et 65 piles étalons (dont 43 piles nues, définies à 20 °C, et 22 piles maintenues à 30 °C dans des enceintes thermorégulées). La multiplicité croissante des types d'étalons (à étudier les uns dans l'air, les autres dans l'huile), de leurs températures de définition et de leurs valeurs nominales nous oblige à consacrer de plus en plus de temps à ces études. Les laboratoires pour lesquels le BIPM a effectué des étalonnages pendant la période couverte par ce rapport appartenaient aux pays suivants : France, Égypte, Belgique, Bulgarie, Iran, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Norvège, République Démocratique Allemande.

### **Photométrie** (J. Bonhoure)

#### *Installations de mesure*

Dans le Rapport de 1974 (p. 57), on indiquait la construction d'un récepteur photoélectrique à affichage numérique; cet appareil, dont on a vérifié la linéarité, est maintenant en service pour les étalonnages de lampes à incandescence.

On a aussi reconstruit le dispositif portant l'obturateur et les deux filtres utilisés pour le contrôle des températures de répartition par la méthode du rapport rouge/bleu; on a choisi du matériel à commande pneumatique.

#### *Études courantes*

Outre les vérifications de routine des instruments du BIPM, on a effectué le contrôle de 63 lampes à incandescence (étalons d'intensité lumineuse, de flux lumineux ou de température de répartition) appartenant à des laboratoires de Hongrie, Italie, Suède, Suisse et Tchécoslovaquie.

Quinze lampes étalons d'intensité lumineuse (Osram Wi 41 G, sans crochets supports) ont été étalonnées pour le BIPM; on a étudié, en particulier, l'influence des allumages répétés: après vingt allumages (et cinq heures de fonctionnement), l'intensité lumineuse a augmenté de 0,3 % et l'intensité de courant a diminué de 0,05 %.

**Rayons X et  $\gamma$**  (A. Allisy)

**Rayons X : mesure de l'exposition et comparaisons internationales** (M. Boutillon\*)

*Rayons X d'énergie moyenne*

Les différentes corrections applicables à l'étalon du BIPM pour la mesure de l'exposition ont été déterminées. En vue d'établir la correction d'atténuation par l'air sur la distance qui sépare le plan de référence du centre du volume de mesure, la valeur du coefficient d'atténuation linéique a été déterminée expérimentalement en plaçant entre le tube à rayons X et la chambre d'ionisation un tube dans lequel on faisait varier la pression. Cette technique, déjà utilisée pour les rayons X de faible énergie, avait donné des résultats tout à fait concordants avec la technique plus classique qui consiste à déplacer la chambre d'ionisation par rapport au diaphragme.

Le tableau III donne les caractéristiques des quatre rayonnements de référence choisis pour les comparaisons internationales par la Section I du CCEMRI : tension appliquée au tube à rayons X, filtration additionnelle (la filtration inhérente au tube équivaut à 2,3 mm Al), 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> couche de demi-atténuation (CDA) et valeur du coefficient d'atténuation linéique  $\mu$  de l'air, ramené aux conditions  $p = 10^5$  Pa et  $t = 20$  °C.

TABLEAU III

*Caractéristiques des rayonnements de référence*  
(rayons X d'énergie moyenne)

	100 kV	135 kV	180 kV	250 kV
Filtration additionnelle	1,203 7 mm Al	0,232 1 mm Cu	0,484 7 <sub>2</sub> mm Cu	1,570 1 mm Cu
1 <sup>re</sup> CDA	{ 4,027 mm Al ou 0,148 mm Cu	0,494 mm Cu	0,990 mm Cu	2,500 mm Cu
2 <sup>e</sup> CDA		0,77 mm Cu	1,65 mm Cu	3,40 mm Cu
$\mu$	0,355 cm <sup>-1</sup>	0,235 cm <sup>-1</sup>	0,198 cm <sup>-1</sup>	0,172 cm <sup>-1</sup>

La correction due au manque de saturation a été déterminée expérimentalement en mesurant le courant d'ionisation en fonction de la tension appliquée à l'étalon. Les corrections obtenues pour les quatre rayonnements cités dans le tableau III sont respectivement 1,000 4, 1,000 6, 1,000 5 et 1,000 3. A chaque expérience, on a pris la moyenne des courants obtenus avec la polarité + et la polarité —; l'effet de polarité, qui est d'ailleurs faible (de l'ordre de 0,01 %), a été ainsi éliminé. Enfin, les corrections dues au rayonnement diffusé et aux pertes d'électrons dans les parois de la chambre ont été déduites des valeurs expérimentales fournies par Attix et Wyckoff; il est prévu de vérifier les valeurs obtenues au moyen d'expériences utilisant un champ magnétique.

Avant de comparer l'étalon du BIPM aux étalons des laboratoires nationaux, nous avons pris la précaution de le comparer à l'étalon pour

la mesure des rayons X de faible énergie. La comparaison a eu lieu pour le rayonnement de référence 100 kV. La moyenne de douze séries d'expériences échelonnées sur deux mois a donné un écart de 0,17 % entre les valeurs de l'exposition mesurée par nos deux étalons. Cet écart est tout à fait compatible avec les incertitudes estimées.

Des comparaisons internationales d'étalons d'exposition ont été effectuées à l'aide d'instruments de transfert; chaque instrument a été étalonné dans son laboratoire d'origine et au BIPM. Cinq laboratoires nationaux ont participé à ces comparaisons: RIV (Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, Pays-Bas), OMH (Országos Mérésügyi Hivatal, Hongrie), PTB, NPL, NBS. Les étalons de ces différents laboratoires sont des chambres d'ionisation à plaques planes parallèles (sauf celui de la PTB dont la configuration est cylindrique). Leurs dimensions sont en général supérieures à celles de l'étalon du BIPM. Les chambres de transfert utilisées sont en général des chambres à cavité de type Shonka. Chacune est étalonnée plusieurs fois pour chaque rayonnement de référence.

La figure 9 donne les résultats de ces comparaisons. L'accord général (environ 1 %) est moins bon que dans le cas des comparaisons effectuées

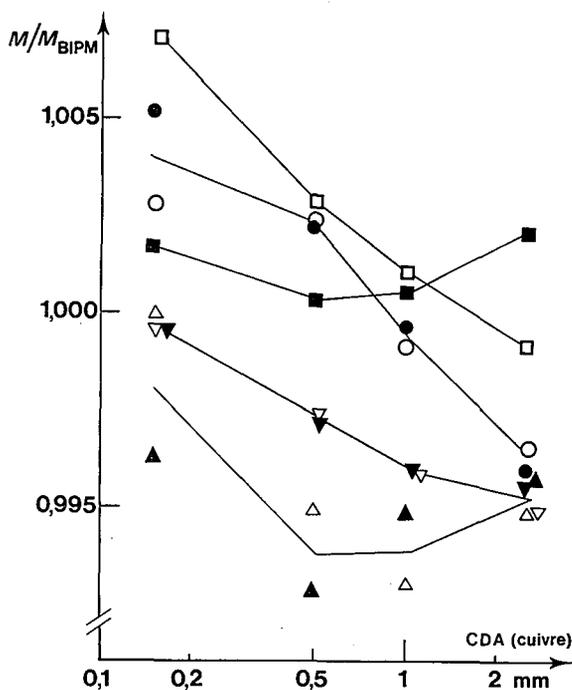


Fig. 9. — Rayons X : comparaisons internationales d'étalons d'exposition.

Les points représentent, en fonction de la couche de demi-atténuation (CDA), le rapport  $M/M_{BIPM}$  du coefficient d'étalonnage de l'instrument de transfert mesuré dans le laboratoire d'origine au coefficient d'étalonnage mesuré au BIPM.

Les différents symboles sont relatifs aux différents instruments de transfert provenant des laboratoires suivants: OMH (○●), PTB (■), RIV (□), NPL (△▲), NBS (▽▼).

dans le domaine des rayons X de faible énergie, où les étalons étaient comparés directement entre eux (l'accord était d'environ 0,5 %).

### *Rayons X de faible énergie*

La Section I du CCEMRI a décidé d'ajouter un quatrième rayonnement de référence aux trois rayonnements précédemment choisis dans le domaine des rayons X mous (10 kV, 30 kV, 50 kV). Cette décision a été prise parce que le spectre du rayonnement de référence 30 kV (CDA de 0,18 mm Al) présentait des pics trop accentués dus aux raies caractéristiques du tungstène. Pour le nouveau rayonnement choisi (25 kV, CDA de 0,25 mm Al), le spectre est plus homogène.

Toutes les mesures nécessaires à la détermination de l'exposition ont été effectuées : détermination de la filtration nécessaire, de l'atténuation par l'air, de la courbe de saturation, de l'effet de polarité et des différentes corrections à appliquer.

### *Étalonnage de chambres de transfert*

Pour le Statens Stralskyyddinstitut (Suède), nous avons étalonné deux chambres de transfert du type Shonka, dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne, et deux chambres de transfert du type PTB, dans le domaine des rayons X de faible énergie.

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

### *Mesure de l'exposition*

a) *Amélioration de l'installation.* — La rotation du barillet dans lequel sont rangées les sources radioactives (Rapport 1965, p. 55) devenant de plus en plus difficile, on a dû procéder à l'extraction des sources pour démonter le barillet. La partie supérieure amovible du château de plomb a été modifiée pour permettre d'y stocker aisément la source la plus intense dont l'activité était alors (juin 1975) 7,1 TBq. Les difficultés de rotation provenaient du durcissement de la graisse (pourtant prévue pour être utilisée sous rayonnement) dont le roulement supérieur du barillet avait été enduit. Un nouveau roulement avec billes en carbure de tungstène, fonctionnant sans lubrifiant, a été mis en place. Après centrage et remise en place des sources, on a trouvé pour le débit d'exposition de référence une valeur plus élevée qu'auparavant ( $1,1 \times 10^{-3}$  en valeur relative). L'écart est significatif puisque l'écart-type à long terme entre 1971 et 1975 était égal à  $10^{-4}$ . Cet écart peut s'expliquer par un changement de position de la source dans son support.

b) *Comparaisons internationales d'étalons d'exposition.* — Deux comparaisons indirectes d'étalons d'exposition ont eu lieu : BIPM-NRC (Conseil National de Recherches, Canada) et BIPM-BARC (Bhabha Atomic Research Centre, Inde).

Dans les deux cas, la chambre de transfert utilisée était du type Shonka. Les résultats sont indiqués dans le tableau IV.

TABLEAU IV

*Comparaisons internationales d'étalons d'exposition (cobalt 60)*

Laboratoire de référence .....	Comparaison BIPM-NRC (chambre Shonka N° 4)			Comparaison BIPM-BARC (chambre Shonka N° 1037)	
	BIPM	NRC	BIPM	BARC	BIPM
Date de l'étalonnage .....	mai 1974	sept.-oct. 1974	janv.-fév. 1975	1974	fév.1975
Coefficient d'étalonnage de la chambre de transfert $M^*$ (en $10^9$ R/C) .....	0,924 02	0,922 22	0,924 30	0,922 6 0,917 4**	0,915 63
Écart-type relatif .....	0,006 %	0,011 %	0,004 %	0,07 %	0,007 %
Nombre de degrés de liberté .....	5	5	5	9	4
	$M_{NRC}/M_{BIPM} = 0,997 9$			$M_{BARC}/M_{BIPM} = 1,007 6$ 1,001 9**	

\* Quotient du débit d'exposition mesuré avec l'étalon du laboratoire concerné par le courant d'ionisation mesuré avec la chambre de transfert dans le même faisceau.

\*\* Valeurs obtenues après révision par le BARC de plusieurs facteurs correctifs de sa chambre étalon ; l'accord se trouve amélioré.

L'analyse complète des erreurs d'une comparaison indirecte est un travail laborieux. On a établi, pour ce type de comparaison, un tableau en quatre parties (données physiques, caractéristiques des deux étalons, mesures effectuées lors des deux étalonnages, variation de la réponse de la chambre de transfert provenant des différences entre les conditions d'étalonnage) facilitant cette analyse. L'incertitude systématique totale est de l'ordre de 0,8 % dans la comparaison BIPM-BARC.

La figure 10 rassemble les résultats des comparaisons effectuées depuis 1971. On y voit deux sortes de rapports de débits d'exposition :

— à gauche,  $\dot{X}_{\text{lab. nat.}}/\dot{X}_{1\text{-BIPM}}$ ; les valeurs de  $I$  (énergie moyenne d'excitation) utilisées dans ces comparaisons, à la fois par le BIPM et par le laboratoire concerné, sont celles de Berger et Seltzer;

— à droite,  $\dot{X}_{\text{lab. nat.}}/\dot{X}_{2\text{-BIPM}}$ ; les valeurs de  $I$  utilisées sont celles de Dalton et Turner.

$D$  est la différence relative ( $3 \times 10^{-3}$ ) entre les deux valeurs,  $\dot{X}_{2\text{-BIPM}}$  et  $\dot{X}_{1\text{-BIPM}}$ , obtenues en calculant le débit d'exposition à partir des mesures de l'étalon du BIPM avec l'un ou l'autre groupe de valeurs de  $I$ . Si l'on veut comparer des étalons n'appartenant pas au même groupe, il faut donc tenir compte de  $D$ : par exemple

$$\dot{X}_{\text{PTB}}/\dot{X}_{\text{NBS}} = [(\dot{X}_{\text{PTB}}/\dot{X}_{2\text{-BIPM}})/(\dot{X}_{\text{NBS}}/\dot{X}_{1\text{-BIPM}})] \times (1 + D).$$

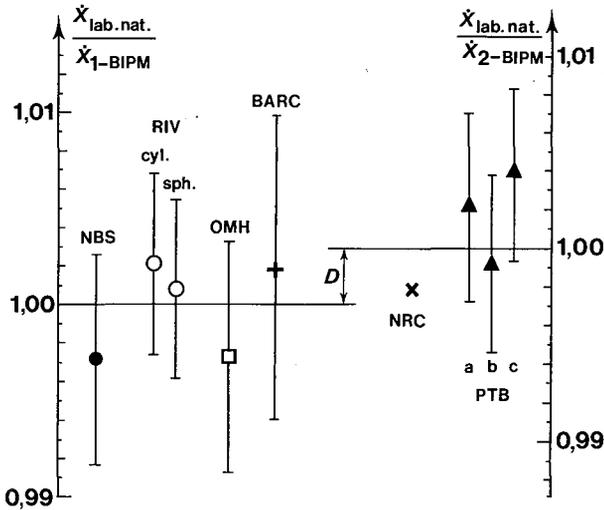


Fig. 10. — Cobalt 60 : comparaisons internationales d'étalons d'exposition effectuées depuis 1971.

Les rapports des débits d'exposition sont divisés en deux groupes,  $\dot{X}_{\text{lab. nat.}}/\dot{X}_{1\text{-BIPM}}$  et  $\dot{X}_{\text{lab. nat.}}/\dot{X}_{2\text{-BIPM}}$ , selon les valeurs de  $I$  (énergie moyenne d'excitation) utilisées pour le calcul du rapport des pouvoirs de ralentissement.  $D$  est l'écart relatif entre  $\dot{X}_{2\text{-BIPM}}$  et  $\dot{X}_{1\text{-BIPM}}$  provenant de la différence des valeurs de  $I$ .

Comparaisons directes : NBS, RIV (deux chambres), OMH et PTB (trois chambres). Comparaisons indirectes : BARC et NRC. Pour le BARC, on a indiqué la valeur révisée.

Les barres d'erreurs représentent la somme quadratique des incertitudes systématiques (pour le NRC, ce calcul n'a pas été effectué).

En marge de ces comparaisons, nous avons effectué des mesures avec une chambre de transfert de la PTB à deux distances différentes ( $d_1 = 1,12$  m et  $d_2 = 2,43$  m) de la source de  $^{60}\text{Co}$ , afin de déterminer si, dans le faisceau du BIPM, le courant d'ionisation  $I$  que cette chambre collecte (corrigé pour l'atténuation par l'air) est inversement proportionnel au carré de la distance. On a trouvé :

$$r = I_1 d_1^2 / I_2 d_2^2 = 0,997\ 9;$$

pour l'étalon du BIPM,  $r = 0,999\ 1$ . A la PTB, les écarts à la loi de l'inverse carré sont plus importants (de l'ordre de 1 % dans ce domaine de distances), la proportion de rayonnement diffusé dans le faisceau étant plus grande qu'au BIPM.

#### *Mesure de la dose absorbée dans le graphite*

a) *Études concernant la masse volumique du graphite du fantôme.* — Rappelons que le fantôme du BIPM est constitué par sept disques de graphite (diamètre 30 cm, épaisseur 28 mm), chacun des deux premiers disques, D1 et D2, comportant en son centre le logement d'une moitié de la chambre d'ionisation (dimensions extérieures de la chambre : diamètre 50,5 mm, épaisseur 10,69 mm). Des mesures de transmission du rayonnement en différentes régions d'un même disque (Rapport 1974, p. 59) avaient montré que les variations locales de la masse volumique du graphite dépassent souvent 2 %. Étant donné ces différences importantes, la masse volumique de la région centrale du disque avant du fantôme (D1 ou D2), qui est la zone la plus critique pour la mesure de la dose absorbée, a fait l'objet d'une détermination particulière. Pour cela, un autre disque D' fut modifié en son centre et rendu identique aux disques D1 et D2 (épaisseur au centre 22 mm). La transmission du rayonnement par la région centrale de D1, D2 et D' fut mesurée à l'aide d'une chambre suffisamment étendue pour recevoir tout le faisceau concerné. Un échantillon correspondant à la zone irradiée fut prélevé au centre de D' et sa masse volumique fut déterminée par pesée et mesure des dimensions. Du résultat ( $1,790\ 7\ \text{g/cm}^3$ ), on a déduit la masse volumique de la région centrale de D1 et D2 ( $1,806\ 4$  et  $1,800\ 1\ \text{g/cm}^3$ ) avec une incertitude d'environ  $3 \times 10^{-4}$ . Ces deux valeurs sont respectivement inférieures de  $2,2 \times 10^{-3}$  et  $3,7 \times 10^{-3}$ , en valeur relative, aux masses volumiques moyennes de ces disques, ce qui est en accord avec une tendance des masses volumiques locales à croître vers la périphérie.

b) *Spectre du rayonnement diffusé de la source de  $^{60}\text{Co}$ .* — Si les mesures de transmission dont il a été question ci-dessus sont corrigées pour le rayonnement diffusé provenant de la portion de disque irradiée, on peut en déduire le coefficient d'atténuation du graphite pour le rayonnement incident sur le disque. On trouve  $\mu/\rho = 0,058\ 3\ \text{cm}^2/\text{g}$ .

On a en outre calculé ce coefficient d'atténuation en tenant compte du rayonnement diffusé présent dans le faisceau; dans notre cas, ce rayonnement provient essentiellement de la diffusion à l'intérieur de la source elle-même. En utilisant le spectre du rayonnement diffusé qu'on avait calculé précédemment par la méthode de Cormack et Johns et les valeurs

des coefficients d'atténuation de Hubbell, on obtient, pour le faisceau incident (photons primaires + photons diffusés d'ordre 1),  $\mu/\rho = 0,0577 \text{ cm}^2/\text{g}$ . On a pensé que l'écart d'environ 1 % entre ce résultat et la valeur expérimentale pouvait être dû au rayonnement diffusé d'ordre supérieur qui avait été négligé dans le calcul.

C'est pourquoi on a calculé, par une méthode de Monte-Carlo, le spectre du rayonnement diffusé provenant de la source et mesuré par la chambre, en évaluant séparément le rayonnement diffusé d'ordre 1. La contribution du rayonnement diffusé à l'exposition mesurée par la chambre est au total 5,2 %, dont 4,95 % pour le rayonnement diffusé d'ordre 1, valeur proche du résultat du précédent calcul (5,1 %). Mais si l'on tient compte de la capsule entourant la source, on obtient une contribution totale de 8,3 % dont 7,6 % pour le rayonnement diffusé d'ordre 1. Le coefficient d'atténuation calculé devient  $0,0580 \text{ cm}^2/\text{g}$  si l'on néglige le rayonnement diffusé d'ordre supérieur et  $0,05825 \text{ cm}^2/\text{g}$  si l'on en tient compte. Ce dernier résultat ne diffère pas significativement de la valeur expérimentale.

c) *Calculs théoriques concernant la mesure de la dose absorbée.* — Un des problèmes qui se posent, lorsqu'on mesure la dose absorbée au moyen d'une chambre d'ionisation à cavité, est de rattacher l'énergie massique libérée dans cette cavité à l'énergie massique qui serait libérée dans une cavité idéale infiniment petite de Bragg-Gray.

Pour résoudre ce problème, il est tout d'abord nécessaire de connaître le spectre des photons à l'intérieur du fantôme. Les premiers calculs faits en 1972 par la méthode de Monte-Carlo ont été améliorés et sont compatibles avec des informations fournies par M. J. Berger (NBS). Ces calculs ont montré que la fluence des photons diffusés était, en première approximation, linéairement dépendante de la fluence des photons primaires, tout au moins sur un intervalle de profondeur, autour de la région de mesure, suffisamment grand par rapport au libre parcours des électrons les plus énergétiques. En tenant compte de la variation de la fluence des rayonnements primaire et diffusé à l'intérieur du fantôme, le calcul de la correction  $K$ , applicable dans le cas d'une cavité d'épaisseur  $2u$ , a été effectué en s'inspirant de la méthode décrite par A. Allisy<sup>(13)</sup> et M. Boutillon et M.-T. Niatel<sup>(14)</sup>.

On peut exprimer  $K$  sous la forme  $K = \exp(-\mu u) \cdot F$ , où  $\exp(-\mu u)$  est l'atténuation des photons primaires par le matériau des parois sur la distance  $u$ , et  $F$  un facteur qui tient compte de la variation de la fluence des photons dans le fantôme et de la variation de la dissipation de l'énergie des électrons libérés par ces photons en fonction de l'épaisseur de la cavité. Pour  $u = 2 \text{ mm}$ , on trouve  $F = 1,009$ . Cette valeur de  $F$  récemment calculée, utilisée conjointement avec la valeur expérimentale de la transmission (voir a) ci-dessus), a amélioré l'accord entre les valeurs expérimentale  $R_{\text{exp}}$  et théorique  $R_{\text{th}}$  de  $R = (I/m)_a / (I/m)_f$ , rapport des courants d'ionisation massiques mesurés par la chambre à cavité placée soit dans l'air soit

---

<sup>(13)</sup> ALLISY (A.), Contribution à la mesure de l'exposition produite par les photons émis par le  $^{60}\text{Co}$ , *Metrologia*, **3**, 1967, pp. 41-51 et *Recueil de Travaux du BIPM*, **1**, 1966-1967.

<sup>(14)</sup> BOUTILLON (M.) et NIATEL (M.-T.), A study of a graphite cavity chamber for absolute exposure measurements of  $^{60}\text{Co}$  gamma rays, *Metrologia*, **9**, 1973, pp. 139-146 et *Recueil de Travaux du BIPM*, **4**, 1973-1974 (article 18).

dans le fantôme. Néanmoins  $R_{\text{exp}}/R_{\text{th}}$  s'écarte encore de l'unité de 0,016. Les causes possibles d'erreur systématique sur le rapport  $R$  sont nombreuses; on se propose d'effectuer des expériences dans des conditions aussi variées que possible pour mettre en évidence celles qui sont significatives.

d) *Installation d'une nouvelle source de  $^{60}\text{Co}$ .* — L'activité de la source actuellement utilisée au BIPM pour les mesures d'exposition n'est plus que 6 TBq (septembre 1976); elle est insuffisante pour effectuer des mesures calorimétriques de dose absorbée <sup>(15)</sup>. Les étalons nationaux pour la mesure de la dose absorbée dans le graphite étant le plus souvent des calorimètres, la Section I du CCEMRI a estimé dès sa réunion de 1972 que le BIPM devrait s'équiper d'une source plus puissante pour pouvoir effectuer des comparaisons internationales d'étalons de dose absorbée. Grâce à Mr Ambler, président du CCEMRI, une source d'environ 170 TBq (soit près de 30 fois l'activité de la source actuelle) nous a été proposée par Mr Stickney (Picker Corporation, Cleveland) dans des conditions exceptionnellement avantageuses et une autre société américaine (Alpha-Omega Services, Inc., Lynwood, California) nous a fait don d'une tête de téléthérapie que nous réutilisons avec une partie de ses accessoires.

On a fait construire un socle (*fig. 11*) qui supporte d'une part la tête avec sa fourche et son bras et d'autre part un banc sur lequel sont placés les fantômes avec leurs détecteurs (calorimètres ou chambres d'ionisation). Pour éviter d'éventuelles erreurs dues à un manque de reproductibilité de la position du faisceau, ce dernier est fixe et c'est le fantôme concerné qui est amené à la position d'irradiation de référence par translation le long du banc, c'est-à-dire perpendiculairement au faisceau.

On a effectué quelques modifications sur la tête, construit de nouvelles pièces coniques protectrices en plomb, démonté et révisé le collimateur et centré le futur faisceau avant la mise en place de la source. Un laser d'alignement permet de matérialiser l'axe du faisceau et servira à centrer les fantômes.

Une circulaire a été adressée aux membres de la Section I du CCEMRI, ainsi qu'un questionnaire relatif aux calorimètres devant participer aux futures comparaisons.

#### Coefficient d'atténuation du silicium pour un rayonnement $\gamma$ de 1,33 MeV (A.-M. Roux\*)

On a déterminé expérimentalement le coefficient d'atténuation du silicium pour une énergie  $\gamma$  de 1,33 MeV, par la méthode utilisée précédemment pour le cuivre et certains composés organiques (Rapport 1974, p. 61).

On a réalisé un filtre de silicium d'épaisseur 25,1 mm ayant une transmission très voisine de celle du filtre d'aluminium de 20 mm. Le taux des impuretés présentes dans le silicium est inférieur à  $2 \times 10^{-6}$ . La masse volumique du filtre, déterminée par pesée hydrostatique, a pour valeur à 20 °C:  $\rho_{20} = 2,329\ 18\ \text{g/cm}^3$  (écart-type 0,000 01  $\text{g/cm}^3$ ); l'erreur systématique est estimée à 0,000 045  $\text{g/cm}^3$ .

---

<sup>(15)</sup> A 1 m d'une source de  $^{60}\text{Co}$  de 1 TBq, le débit de dose absorbée dans le graphite à une profondeur correspondant à 50  $\text{kg/m}^2$  est voisin de 5 mGy/min; l'élévation de température qui en résulte est de l'ordre de 5  $\mu\text{K}$  par minute.

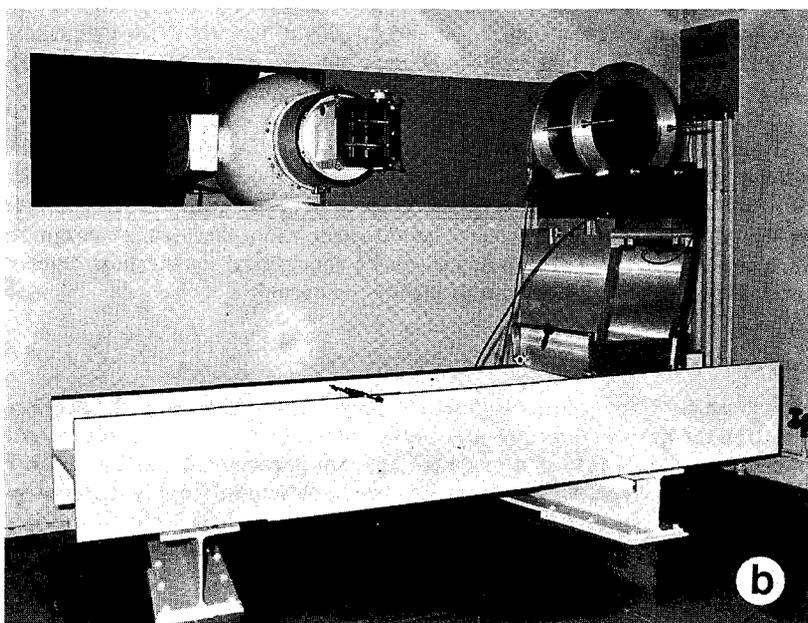
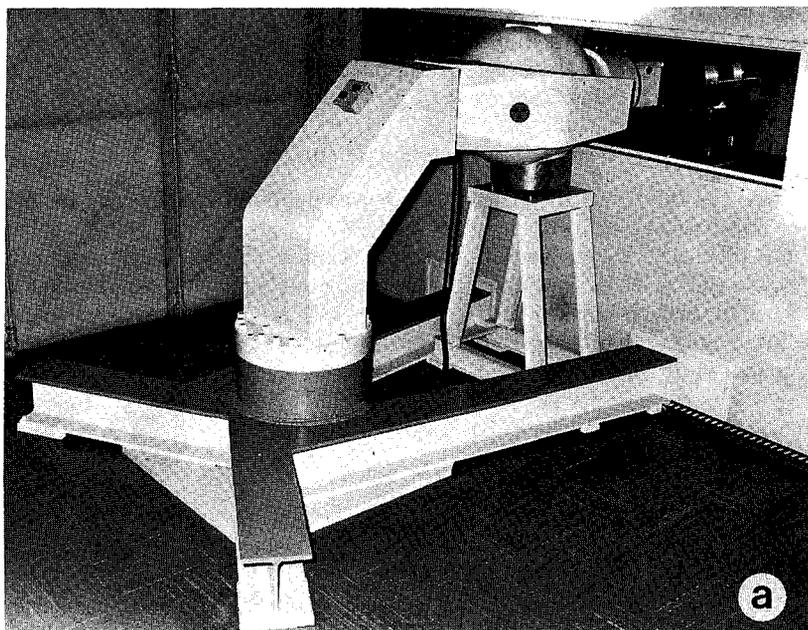


Fig. 11. — Installation pour les comparaisons d'étalons de dose absorbée.

*a.* Vue arrière montrant la tête de téléthérapie avec fourche, bras et socle; au fond à droite, on aperçoit le fantôme de graphite du BIPM.

*b.* Vue avant montrant la tête de téléthérapie et son collimateur ainsi que le banc destiné à supporter les fantômes à irradier; sur ce banc, à droite, le fantôme du BIPM et son support.

Le rapport  $r = \exp(-\mu_{\text{Si}} \cdot x_{\text{Si}}) / \exp(-\mu_{\text{Al}} \cdot x_{\text{Al}})$  a été mesuré pendant plusieurs jours. La valeur moyenne obtenue est  $r = 0,964\ 28$  avec un écart-type relatif de  $1,7 \times 10^{-4}$ . De ce rapport et de la valeur du coefficient d'atténuation de l'aluminium:  $(\mu/\rho)_{\text{Al}} = 0,053\ 13\ \text{cm}^2/\text{g}$  (Rapport 1974, p. 61), on déduit

$$(\mu/\rho)_{\text{Si}} = 0,055\ 23\ \text{cm}^2/\text{g}.$$

L'écart-type relatif est  $0,9 \times 10^{-3}$  (26 degrés de liberté) et l'erreur systématique relative est estimée à  $2,0 \times 10^{-3}$ .

Ce résultat est en accord avec la valeur calculée théoriquement:  $(\mu/\rho)_{\text{Si}} = (0,055\ 06 \pm 0,000\ 22)\ \text{cm}^2/\text{g}$ , qui nous a été communiquée par J. H. Hubbell (NBS). Il existe peu de valeurs expérimentales pour le silicium; notre résultat comble donc une lacune et confirme la valeur théorique ci-dessus.

## Radionucléides

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

Augmenter l'exactitude est un moyen sûr d'améliorer l'uniformité des mesures de radionucléides dans le monde. Pour atteindre ce but, il est nécessaire d'effectuer périodiquement des mesures comparatives entre des laboratoires représentatifs. Cependant, les différents modes de désintégration de plus de 1 500 radionucléides connus présentant une diversité et une complexité immenses, les méthodes de mesure d'activité dites absolues ne peuvent être appliquées qu'à un nombre restreint de cas suffisamment simples. Ce nombre est encore réduit par le fait que souvent certains radionucléides que l'on aimerait étudier ne sont pas disponibles en quantité suffisante ou avec la pureté requise. Néanmoins, des comparaisons internationales judicieusement choisies, soigneusement organisées et complétées par l'étude de certains problèmes spéciaux concernant les mesures d'activité sont susceptibles d'apporter un progrès considérable.

### Comparaisons préliminaires de radionucléides

A la suite d'une enquête effectuée parmi les membres de la Section II du CCEMRI qui ont marqué une nette préférence pour des mesures sur le  $^{139}\text{Ce}$  et le  $^{134}\text{Cs}$ , le BIPM a organisé des comparaisons à participation restreinte. Pour le  $^{134}\text{Cs}$ , les résultats des trois participants avaient une dispersion de 0,3 %, tandis que pour le  $^{139}\text{Ce}$  on note cinq participants et 0,6 % de dispersion. La description détaillée de ces deux comparaisons a été publiée en annexe au rapport de la 3<sup>e</sup> réunion (avril 1975) de la Section II du CCEMRI. Par la suite, il a été décidé d'organiser une comparaison à grande échelle pour laquelle le  $^{139}\text{Ce}$  a été choisi.

### Comparaison internationale d'une solution de $^{139}\text{Ce}$

L'expérience acquise au cours de la comparaison préliminaire a beaucoup facilité le travail d'organisation. Un formulaire pouvant recueillir tous les

renseignements utiles à un dépouillement efficace des résultats a été adressé aux participants bien avant la distribution des échantillons. Des dispositions spéciales ont été prises pour s'assurer de la pureté et de l'homogénéité de la solution distribuée.

Quatre laboratoires ont généreusement prêté leur concours pour les différentes opérations qui précédaient la distribution :

— le National Physical Research Laboratory (NPRL), Pretoria, pour la production de la substance radioactive coûteuse,

— l'Institut d'Électrochimie et de Radiochimie (IER), Lausanne, et le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (LMRI), CENS, Gif-sur-Yvette, pour les examens de pureté radionucléidique,

— l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), Vienne, pour la préparation de la solution, la mise en ampoules et la distribution aux participants.

Pour diminuer le risque de contamination, le NPRL prépara d'abord un échantillon préliminaire dont la pureté s'avéra très satisfaisante. La substance principale fut préparée quelques mois plus tard; elle contenait une impureté non observée précédemment qui, cependant, était encore tout à fait acceptable. Ainsi, le laboratoire de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche) a pu distribuer les ampoules de solution à la date prévue. Le grand nombre de participants traduit l'importance que les laboratoires nationaux et internationaux attachent à cette comparaison. Comme la plupart des participants, le BIPM a employé la méthode de comptage par coïncidences  $4\pi(\text{CP})-\gamma$ . Avant de préparer les sources pour cette comparaison, on a réétalonné les masses incorporées dans la balance Mettler M5 sur lesquelles sont fondées toutes les déterminations d'activité massique.

Un rapport préliminaire (Rapport BIPM-76/8) contenant les détails les plus importants des résultats obtenus par vingt laboratoires a déjà été distribué; deux résultats sont arrivés plus tard. La dispersion totale de 0,03 se réduit à 0,01 si l'on écarte trois résultats qui sont probablement entachés d'importantes erreurs systématiques.

#### *Une expérience à taux de comptage élevés*

Un ensemble de comptage par coïncidences comprend obligatoirement des dispositifs de temps mort pour définir rigoureusement les intervalles de temps pendant lesquels les détecteurs sont insensibles. Il est généralement admis que les pertes de comptage dues à ces temps morts peuvent être calculées avec une exactitude suffisante, tant qu'elles sont petites. Les progrès de l'électronique ont permis d'augmenter la précision des comptages et d'utiliser des sources de plus en plus actives, afin de raccourcir la durée des mesures. Cela a nécessité un examen plus détaillé de la validité des corrections dues aux temps morts.

Le NPL a organisé des mesures comparatives de sources de  $^{60}\text{Co}$  entre sept laboratoires, dont le BIPM. Les activités des sources de  $^{60}\text{Co}$  qui ont circulé parmi ces laboratoires ont été choisies de telle sorte que les taux de comptage se situent entre 2 000 et 130 000  $\text{s}^{-1}$ . Elles ont préalablement été comparées entre elles à l'aide d'une chambre d'ionisation  $4\pi\gamma$ .

Les résultats préliminaires ont déjà mis en évidence des écarts relatifs

pouvant atteindre plusieurs  $10^{-2}$  et dont on recherche actuellement l'origine exacte. L'expérience se poursuit.

*Ensemble N° 3 de comptage par coïncidences  $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$*

Au BIPM on a considéré dès le début la méthode  $4\pi\beta-\gamma$  comme la technique principale de mesure d'activité. L'ensemble actuel est, comme ses prédécesseurs, en usage permanent. Il a fait l'objet d'une description détaillée (Rapport BIPM-75/2) contenant, en outre, un chapitre sur des mesures auxiliaires. Ces mesures concernent en particulier la détermination de l'amplification gazeuse et du seuil de détection du compteur proportionnel, ainsi que les corrections dépendant du schéma de désintégration, du taux de comptage et du retard relatif entre les voies  $\beta$  et  $\gamma$ .

*Étalonnage et distribution de sources solides*

Les demandes de sources étalonnées sont devenues moins fréquentes, mais le maintien d'un stock de quelques dizaines de sources est toujours justifié.

<sup>60</sup>Co. — La préparation par électrolyse et l'étalonnage de ces sources ne posent pas de problèmes particuliers. Normalement, une trentaine de sources sont disponibles, en dehors des quatorze sources de référence qui sont remesurées périodiquement et qui servent à des contrôles fréquents de l'ensemble de comptage.

<sup>54</sup>Mn. — Le maintien d'un stock de sources de ce radionucléide est beaucoup moins aisé que dans le cas précédent. La période est six fois plus courte, les solutions disponibles commercialement contiennent souvent beaucoup d'entraîneur, les compteurs proportionnels sont peu efficaces au rayonnement émis et l'électrolyse s'amorce plus difficilement. Enfin, la pureté radionucléidique est parfois insuffisante et ne peut être déterminée avec les moyens dont disposent la plupart des laboratoires.

De nombreux essais, en partie décevants, avec des solutions reçues de trois laboratoires différents, ont néanmoins permis de préparer une vingtaine de sources de bonne qualité.

Les laboratoires ayant reçu des sources étalonnées du BIPM pendant les deux dernières années sont les suivants :

— Bandung Reactor Centre (Bandung)	2 sources de <sup>60</sup> Co
— Institut d'Électrochimie et de Radiochimie (École Polytechnique Fédérale de Lausanne)	{ 2 — <sup>134</sup> Cs 2 — <sup>139</sup> Ce
— Comisión Nacional de Energía Atómica (Buenos Aires)	6 — <sup>60</sup> Co.

*Mesures sur une solution de <sup>85</sup>Sr*

Le NBS ayant mis à la disposition du BIPM une ampoule contenant une solution étalonnée de <sup>85</sup>Sr pour des mesures à l'aide de chambre d'ionisation, on a décidé d'effectuer aussi des mesures par comptage de coïncidences. Le schéma de désintégration de ce nucléide à capture d'électrons ressemble à celui du <sup>139</sup>Ce (*fig. 12*), mais la vie relativement longue de l'état excité de <sup>85</sup>Rb rend beaucoup plus compliquée l'interprétation des mesures.

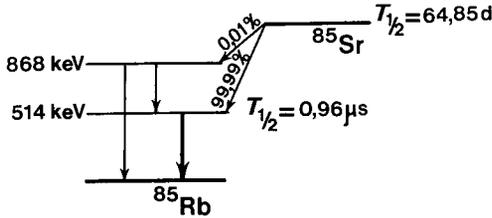


Fig. 12. — Schéma de désintégration du  $^{85}\text{Sr}$ .

Lorsqu'un noyau de  $^{85}\text{Sr}$  capture un électron K, L, . . . , le réarrangement du cortège électronique est suivi de l'émission immédiate d'un photon X ou d'un électron d'Auger de l'énergie correspondante. Cependant, le noyau de  $^{85}\text{Rb}^m$  ne se désexcite qu'après un délai aléatoire et de durée moyenne  $1,4 \mu\text{s}$ . Ce retard variable perturbe la corrélation des événements et l'on perd une partie considérable des coïncidences « vraies » tout en enregistrant trop de coïncidences fortuites. En faisant varier le retard entre les impulsions délivrées par les deux détecteurs avant qu'elles soient acheminées vers le mélangeur de coïncidences, on détermine une courbe (fig. 13) dont la

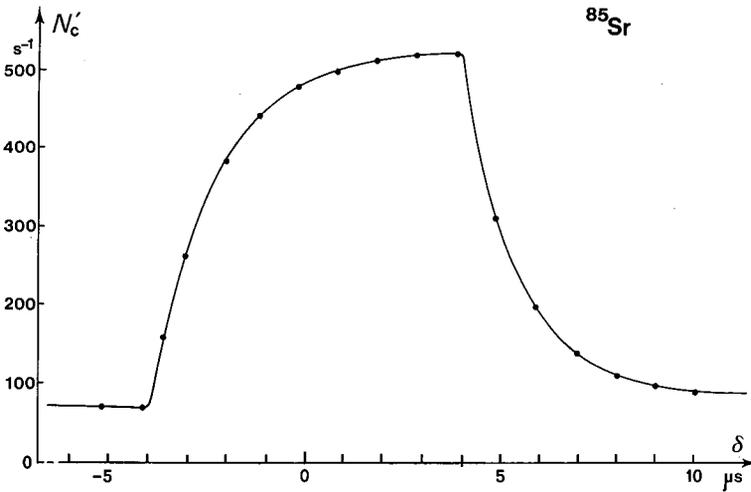


Fig. 13. — Taux de comptage des coïncidences (valeurs expérimentales) en fonction du décalage entre les impulsions délivrées par les deux détecteurs. Temps de résolution:  $4,0 \mu\text{s}$ .

forme analytique peut être calculée. L'ajustement de la courbe calculée aux points mesurés permet de déduire les corrections à appliquer aux taux de coïncidences mesurés. En outre, on procède comme d'habitude en faisant varier l'efficacité du compteur proportionnel pour extrapoler à une efficacité  $\epsilon_p = 1$ , en admettant que le taux de comptage des coïncidences dépend linéairement de l'inverse de cette efficacité (fig. 14).

L'excellent accord entre le résultat final et celui qui a été obtenu par le NBS aurait peu de signification sans une estimation réaliste de l'incerti-

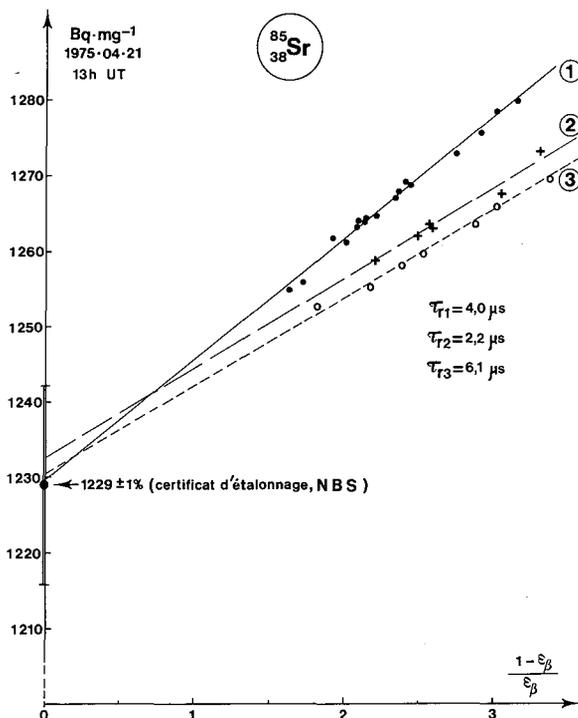


Fig. 14. — Résultats des comptages  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  du  $^{85}\text{Sr}$ .

Activité massique apparente en fonction de l'inverse de l'efficacité  $\epsilon_\beta$ , pour trois valeurs différentes du temps de résolution des coïncidences; extrapolation linéaire à  $\epsilon_\beta = 1$ .

tude systématique. Celle-ci est rendue difficile à cause du nombre élevé de paramètres. Toutefois, on peut montrer que l'erreur systématique du résultat final ne devrait pas dépasser 1 %.

#### Chambres d'ionisation $4\pi\gamma$

*Équipement.* — La chambre d'ionisation à intégration et à géométrie de  $4\pi$  sr peut être employée comme dispositif de référence de très haute fidélité pour les émetteurs de rayonnement  $\gamma$ . L'équipement du BIPM sera utilisé, d'une part, pour créer et maintenir un système international et permanent de référence pour les mesures d'activité et, d'autre part, pour diverses mesures de contrôle.

Les premières mesures effectuées avec le nouvel ensemble avaient révélé un défaut d'alignement des électrodes des deux chambres, susceptible de diminuer légèrement la précision des comparaisons de sources. Il semblait donc préférable d'accepter un retard de la mise en service et de faire réparer les deux chambres par le constructeur.

Les chambres réparées furent placées côte à côte dans un « château de plomb » (fig. 15). Comme elles ne sont pas utilisées simultanément, mais alternativement et pour des contrôles mutuels, cet arrangement est écono-

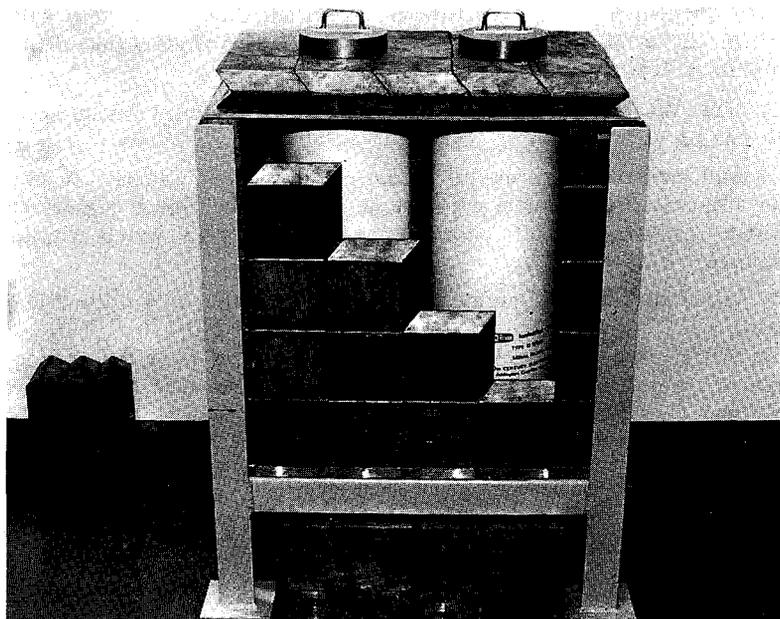


Fig. 15. — Vue des deux chambres d'ionisation placées dans un « château de plomb ».

Les briques de plomb mesurent  $10 \times 10 \times 5$  cm. Les sources peuvent être introduites par le haut dans le « puits » (diamètre intérieur 25 mm) de l'une ou de l'autre des chambres.

mique et bien adapté. Plusieurs supports de sources ont été construits pour assurer un positionnement fidèle des ampoules et des sources de référence. Ces dernières forment un jeu de cinq sources et contiennent respectivement environ 3, 10, 30, 100 et 300  $\mu\text{g}$  de  $^{226}\text{Ra}$  sous forme de sulfate dans de petits tubes scellés, à double paroi, en platine iridié.

Il a été décidé de n'utiliser qu'un seul type d'ampoule de verre pour toutes les mesures futures. Après examen de plusieurs modèles en usage dans divers laboratoires, on a choisi le modèle qui est utilisé par le NBS et qui réunit le plus d'avantages. Un simple appareil tournant, construit au BIPM, permet de sceller les ampoules.

L'ensemble électronique pour la mesure semi-automatique du courant d'ionisation a été conçu et mis en œuvre avec le concours du groupe des rayons X et  $\gamma$ ; il a fait preuve d'une bonne stabilité.

*Mesures préliminaires.* — Ces mesures avaient comme but d'évaluer l'incertitude systématique du rapport entre le courant d'ionisation que produit une source liquide, enfermée dans une ampoule de verre, et le courant qui est produit par une source de référence, le volume de liquide et le type d'ampoule étant prédéterminés.

Des mesures directes au moyen d'une seule source liquide et d'un grand nombre d'ampoules du même type introduiraient des erreurs de centrage considérables qui risqueraient de cacher l'effet recherché. C'est pourquoi on a préféré étudier l'effet des variations des différents paramètres sur le

courant d'ionisation. Les expériences furent effectuées avec des sources de  $^{241}\text{Am}$  ( $E_\gamma \approx 60$  keV) ou de  $^{60}\text{Co}$  ( $E_\gamma \approx 1,25$  MeV); elles portaient sur les points suivants :

1) déplacement d'une source (ponctuelle ou non) selon l'axe ou le rayon de la chambre;

2) déplacement, par rapport à la chambre, des différentes parties d'une ampoule (fond, partie cylindrique, dessus), la source (solide) étant immobile *a*) par rapport à la chambre, *b*) par rapport à la partie d'ampoule considérée;

3) augmentation du volume de la source liquide par adjonction de diluant.

En outre, on a établi des valeurs représentatives pour les dimensions et épaisseurs de paroi et pour leurs écarts-types, en effectuant un grand nombre de mesures sur trente ampoules du type choisi. En supposant que le taux d'absorption des photons est proportionnel à l'épaisseur de paroi traversée, on obtient finalement pour la variation relative (écart-type) du courant d'ionisation

$$\begin{array}{rcc} 0,084 \% & \text{pour des photons de } 60 \text{ keV,} \\ 0,008 \% & \text{—} & \text{—} & 1,25 \text{ MeV.} \end{array}$$

Ces valeurs peuvent être considérées comme les limites inférieures de l'incertitude systématique lorsqu'on mesure une source réelle. D'autres effets contribuent à cette incertitude (différence de centrage entre mesures successives, fluctuations statistiques, variations de la capacité et du courant de « fuites »). Ces effets ne dépendent pas de l'énergie des photons. Leur contribution n'est pas encore bien connue mais semble être voisine de  $5 \times 10^{-4}$  et dépend probablement de la valeur du courant d'ionisation.

*Comparaisons de sources.* — Les cinq sources de radium du BIPM sont comparées entre elles périodiquement. Il suffit de déterminer les quatre rapports des courants d'ionisation produits par ces sources prises successivement deux à deux dans l'ordre de leur activité. Les résultats sont encore peu nombreux, mais l'absence d'effets systématiques semble indiquer que les chambres et les sources sont étanches.

Chaque fois qu'une nouvelle solution étalonnée d'un émetteur de rayons  $\gamma$  est disponible, une partie aliquote et de volume normalisé est mise en ampoule et mesurée par rapport à la source de radium qui produit le courant d'ionisation le plus proche. On a aussi obtenu, pour certaines valeurs d'énergie, des rapports entre le courant d'ionisation et le nombre de photons émis par la source. Ces rapports ont permis d'évaluer par interpolation, pour plusieurs autres émetteurs de rayons  $\gamma$ , les activités minimales nécessaires pour obtenir une réponse suffisamment précise.

*Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$ .* — Les laboratoires nationaux et internationaux ont été informés que le BIPM est en train de créer un système de comparaison permanente de mesures d'activité. Dans un premier temps, treize laboratoires ont prévu d'envoyer au BIPM une cinquantaine d'échantillons de solutions préparées et étalonnées par eux-mêmes. Chaque échantillon comprendra deux ampoules de type normalisé, remplies à un niveau de  $(20 \pm 1)$  mm et

scellées; il sera accompagné des renseignements nécessaires : activité mas-  
sique de la solution, masse, date de référence, etc.

Pour chaque ampoule, le BIPM déterminera le courant d'ionisation  
par rapport à celui qui est produit par une de ses cinq sources de référence.  
Pour chaque radionucléide, les résultats seront inscrits dans un tableau  
contenant déjà tous les résultats précédents. Ces listes seront adressées  
aux laboratoires concernés; elles rendront possibles diverses comparaisons  
intéressantes.

Afin d'assurer une bonne précision des mesures, l'activité des échan-  
tillons devra se situer entre des limites qui ont été fixées pour chacun des  
radionucléides proposés. La limite inférieure acceptable de la période sera,  
en général, de quinze jours. Les échantillons seront conservés au BIPM  
qui pourra, le cas échéant, effectuer des mesures ultérieures.

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

L'analyse de la comparaison internationale de dosimétrie de neutrons  
rapides (INDI), organisée par l'ICRU et effectuée en 1973 à Brookhaven  
(États-Unis), a demandé un travail important. La version finale du rapport  
est actuellement en préparation et l'on espère pouvoir la publier en 1977.

Dans le but d'améliorer l'exactitude de certains procédés qui sont  
utilisés dans les mesures d'activité selon la méthode  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ , plusieurs études  
ont été entreprises; deux d'entre elles sont résumées ci-dessous. La première  
est, pour le moment au moins, d'un intérêt plutôt théorique, tandis que la  
seconde se rapporte à une méthode de mesure utilisée déjà depuis longtemps.

#### Densité d'intervalles pour un processus stationnaire

Considérons un processus régénératif dont l'intervalle de temps entre  
deux événements consécutifs enregistrés est donné par la densité  $f(t)$ . Si  
l'origine du temps  $t$  coïncide avec l'arrivée d'une impulsion (numéro zéro),  
le temps d'arrivée de l'événement  $k$  est décrit par la densité

$$f_k(t) = \{f(t)\}^{*k}, \quad k = 1, 2, \dots,$$

c'est-à-dire par l'autoconvolution d'ordre  $k$  de  $f(t)$ . Or, la situation expé-  
rimentale correspond le plus souvent à un choix « au hasard » de l'origine du  
temps et il en résulte ce que l'on appelle un processus stationnaire ou en  
équilibre. La densité pour l'arrivée de l'impulsion numéro  $k$  est alors donnée  
par la convolution

$$g_k(t) = g(t) * f_{k-1}(t), \quad k = 2, 3, \dots,$$

où

$$g(t) \equiv g_1(t) = \int_t^\infty f(x) dx / \int_0^\infty t \cdot f(t) dt.$$

Le problème que l'on s'est posé est d'établir des formules explicites pour  
 $g_k(t)$  si l'on considère le cas pratique d'un processus de Poisson (avec taux  
de comptage original  $\varrho$ ) qui a été modifié par l'insertion d'un temps mort  $\tau$   
du type non étendu (n) ou étendu (e). Les expressions correspondantes  
 $f_k(t)$  pour le processus ordinaire sont connues depuis longtemps. Nous nous  
contentons d'indiquer les résultats principaux (voir Rapport BIPM-74/6).

Pour un temps mort non étendu, la densité pour l'arrivée de l'impulsion  $k$  est

$${}_n g_k(t) = \frac{\varrho}{1+x} \left[ U(T_{k-1}) - U(T_k) + U(T_k) \sum_{j=0}^{k-1} P_k(j) - U(T_{k-1}) \sum_{j=0}^{k-2} P_{k-1}(j) \right],$$

où

$$x = \varrho\tau, \quad T_k = \varrho(t - k\tau), \quad P_k(j) = (T_k^j / j!) \cdot \exp(-T_k)$$

et  $U$  est la fonction échelon unité.

En particulier, on a donc pour la première impulsion

$${}_n g_1(t) = \begin{cases} \frac{\varrho}{1 + \varrho\tau} & \text{pour } 0 < t \leq \tau, \\ \frac{\varrho}{1 + \varrho\tau} \exp[-\varrho(t - \tau)] & \text{— } t \geq \tau. \end{cases}$$

Dans le cas d'un temps mort étendu, l'expression correspondante, pour l'impulsion  $k$ , est

$${}_e g_k(t) = \varrho \cdot \exp(-x) \cdot \frac{(-1)^{k-1}}{(k-1)!} \cdot \sum_{j=k-1}^J \frac{(-T_j \cdot e^{-a})^j}{(j-k+1)!},$$

où  $J$  est l'entier immédiatement inférieur à  $t/\tau$ .

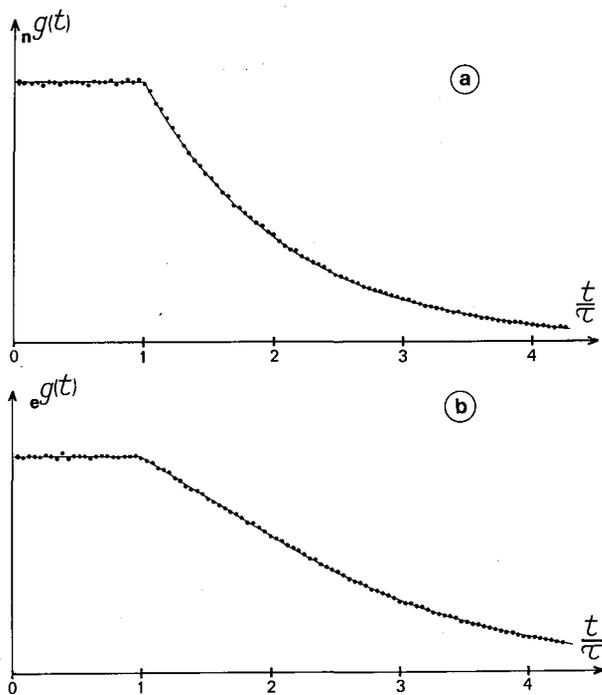


Fig. 16. — Temps d'arrivée de la première impulsion, pour  $t = 0$  choisi au hasard.

Conditions expérimentales :  $\varrho \approx 2\,000 \text{ s}^{-1}$ ,  $\tau \approx 400 \text{ } \mu\text{s}$ .  
Le temps mort est du type non étendu (a) ou étendu (b).

Ici, le cas spécial  $k = 1$  donne

$${}_e g_1(t) = \varrho \cdot \exp(-\varrho\tau) \cdot \sum_{j=0}^J \frac{(-\varrho(t-j\tau))^j}{j!} \cdot \exp(-j\varrho\tau).$$

La figure 16 montre la répartition expérimentale de la première impulsion. Pour les deux types de temps morts l'accord avec la forme théorique est excellent. On note en particulier que la densité est toujours constante pour  $t \leq \tau$ . Un autre résultat intéressant de cette étude est l'identité

$${}_e g_k(t) = {}_e f_k(t + \tau),$$

qui n'est valable que pour un temps mort étendu.

Puisque les premiers moments sont souvent des grandeurs très utiles pour caractériser une variable aléatoire, on en a déterminé quelques-uns pour les intervalles décrits par  $f_k(t)$  et  $g_k(t)$ . Les relations correspondantes se trouvent dans le tableau V; elles généralisent les formules données

TABLEAU V

*Premiers moments pour un intervalle de temps  $t$  décrit par les densités  $f_k(t)$  et  $g_k(t)$*

On a posé  $x = \rho\tau$ ,  $y = \exp x$  et  $\lambda = 1/(1+x)$ .

	Temps mort non étendu		Temps mort étendu	
	${}_n f_k(t)$	${}_n g_k(t)$	${}_e f_k(t)$	${}_e g_k(t)$
$m_1$	$\frac{k}{\rho} \frac{1}{\lambda}$	$\frac{k}{\rho} \lambda \left[ 1 + (1 - \frac{1}{2k}) x (2 + x) \right]$	$\frac{k}{\rho} y$	$\frac{k}{\rho} (y - \frac{x}{k})$
$\mu_2$	$\frac{k}{\rho^2}$	$\frac{k}{\rho^2} \left[ 1 + \frac{\lambda^2 x}{3k} (1 + \frac{x}{4}) \right]$	$\frac{k}{\rho^2} y (y - 2x)$	
$\mu_3$	$\frac{2k}{\rho^3}$	$\frac{2k}{\rho^3} \left[ 1 + \frac{\lambda^3 x}{8k} \right]$	$\frac{2k}{\rho^3} y (y^2 - 3xy + \frac{3}{2}x^2)$	

auparavant. Rappelons que le moment ordinaire (d'ordre  $r$ ) est défini par

$$m_r = E\{t^r\} = \int_0^\infty t^r \cdot h(t) dt, \quad r = 0, 1, \dots,$$

où  $h(t)$  est la densité de probabilité pour  $t$ . De façon analogue, on a pour les moments centrés

$$\mu_r = E\{(t - m_1)^r\}, \quad r = 2, 3, \dots$$

On notera de nouveau que, contrairement à l'opinion usuelle, les expres-

sions pour un temps mort étendu ne sont pas plus compliquées que celles qui sont valables pour le type non étendu.

*Description rigoureuse de la méthode « source et oscillateur »*

Dans une variante de la méthode classique à deux sources pour la mesure d'un temps mort, on détermine d'abord le taux de comptage expérimental  $r$  d'une source radioactive. Puis on superpose aux impulsions de la source celles provenant d'un oscillateur à fréquence fixe  $\nu$ . Le taux de comptage pour ce nouveau processus superposé sera désigné par  $r_0$ . Le problème consiste maintenant à déduire de  $r$ ,  $\nu$  et  $r_0$ , la valeur du temps mort  $\tau$  du détecteur utilisé, temps mort supposé du type non étendu. Vu la complexité du processus résultant, la formule utilisée habituellement <sup>(16)</sup>

$$\tau_0 = \frac{1}{r} \left[ 1 - \sqrt{\frac{r_0 - r}{\nu}} \right]$$

ne peut être qu'une approximation, quoique éventuellement suffisante. Une analyse détaillée du problème a permis de localiser la difficulté

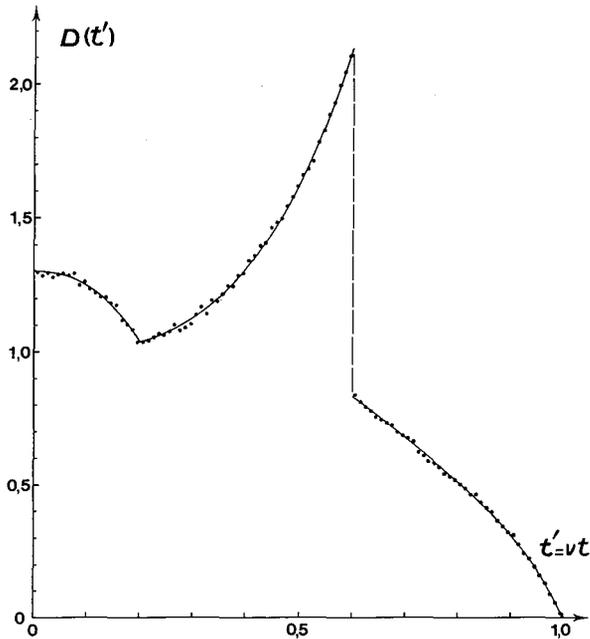


Fig. 17. — Exemple de distribution des intervalles  $t$  entre l'arrivée d'une impulsion enregistrée provenant de la source et l'événement suivant provenant de l'oscillateur.

Les valeurs des paramètres sont  $\rho' = 3$  et  $\tau' = 0,4$ . On a utilisé la variable sans dimension  $t' = \nu t$ . La courbe est obtenue par le calcul; les points résultent d'une simulation (méthode de Monte-Carlo) portant sur un million d'« histoires ».

<sup>(16)</sup> BAERG (A.P.), Variation on the paired source method of measuring dead time, *Metrologia*, 1, 1965, pp. 131-133.

principale : elle vient de la nécessité de connaître la distribution des intervalles de temps entre une impulsion enregistrée provenant de la source et l'impulsion suivante provenant de l'oscillateur, distribution qui peut être très compliquée.

Toute impulsion comptée provenant de l'oscillateur représente un point de renouvellement et, par conséquent, le déroulement ultérieur du processus ne dépend plus de son passé; cela a rendu possible l'établissement d'un programme récursif pour ordinateur permettant d'évaluer numériquement la densité  $D(t)$  des intervalles en question. Cette partie décisive de la nouvelle approche du problème est décrite dans le Rapport BIPM-76/3. La forme de  $D(t)$  est en excellent accord avec le résultat de simulations directes par la méthode de Monte-Carlo, comme on peut en juger par l'exemple donné à la figure 17. La perte  $P$  correspondante est

$$P = \int_0^{\tau} D(t) dt = \mu \cdot \nu \tau,$$

où  $\mu$  est un facteur correctif qui a été tabulé en fonction des deux variables  $\rho' = \rho/\nu$  et  $\tau' = \nu\tau$  (fig. 18). Auparavant on avait admis implicitement que

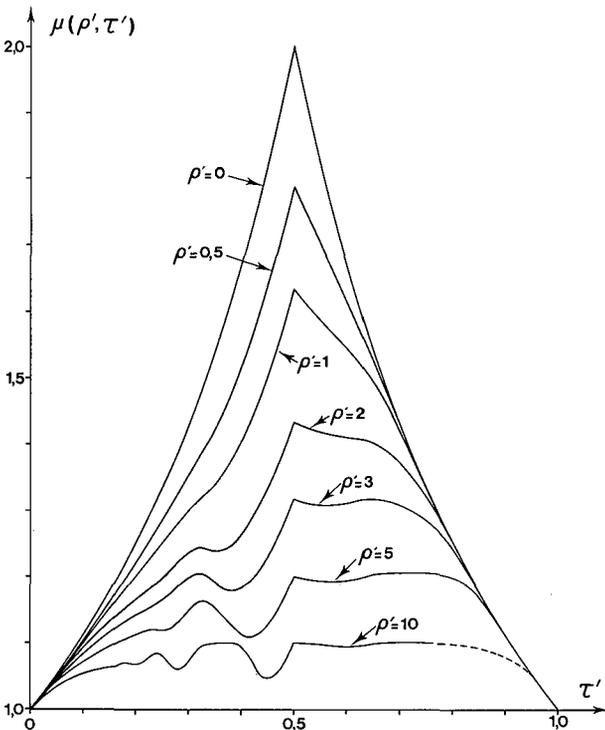


Fig. 18. — Représentation graphique du facteur correctif  $\mu$  en fonction de  $\tau' = \nu\tau$ , pour quelques valeurs de  $\rho' = \rho/\nu$ .

$\mu = 1$ . Les valeurs calculées de  $\mu$  concordent très bien avec celles qui sont obtenues par simulation (voir tableau VI).

TABEAU VI

Valeurs numériques du facteur de correction  $\mu$   
obtenues par calcul ou par simulation par la méthode de Monte-Carlo

Ces valeurs de  $\mu$  correspondent à  $q' = 3$ .

$\tau'$	Facteur de correction $\mu$	
	Calcul	Simulation
0,1	1,083 3	1,087 $\pm$ 0,003
0,2	1,143 1	1,141 $\pm$ 0,002
0,3	1,198 2	1,198 $\pm$ 0,002
0,4	1,183 3	1,182 $\pm$ 0,002
0,5	1,316 8	1,317 $\pm$ 0,002

Après un certain nombre de raisonnements et de calculs qui ne sont pas reproduits ici, on peut montrer que la valeur du temps mort, lorsqu'elle est inférieure à  $1/\nu$ , est donnée rigoureusement par

$$\tau = \frac{1 + \mu}{2\mu \cdot r_v} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4\mu}{(1 + \mu)^2} \cdot \frac{r_v}{r} \cdot \frac{r + \nu - r_v}{\nu}} \right].$$

En pratique, la détermination de  $\tau$  doit se faire aussi par itération puisque le choix de  $\mu$  suppose déjà une connaissance préalable (bien que seulement approximative) de  $\tau$ . On remarquera qu'il ne suffirait pas de poser  $\mu = 1$  pour retrouver l'ancienne expression car celle-ci contient des corrections qui compensent en grande partie l'absence de  $\mu$ .

La nouvelle description donne également des expressions pour la transmission, c'est-à-dire la probabilité de « survie », des impulsions composantes et pour leur superposition; on connaît ainsi le taux de comptage du processus total qui est

$$r_v = \frac{q + \nu - \mu \cdot q\nu\tau}{1 + q\tau(1 - \mu \cdot \nu\tau)}.$$

Cela permet de contrôler l'exactitude de l'ancienne formule pour  $\tau_0$  où il suffit d'insérer  $r_v$  et  $\tau = q/(1 + q\tau)$  pour trouver le rapport

$$\frac{\tau_0}{\tau} = \frac{1 + x}{x} \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 + q' - \mu x}{1 + x(1 - \mu\tau')} - \frac{q'}{1 + x}} \right],$$

où  $x = q\tau = q'\tau'$ . On vérifie ainsi que l'ancienne formule est suffisamment exacte pour le domaine des paramètres pratiquement utilisés car  $\tau_0/\tau$  s'écarte le plus souvent de moins de  $10^{-3}$  de l'unité, et l'on ne manquera pas d'admirer l'intuition physique des inventeurs de la méthode dont ce résultat fait la preuve. D'autre part, il est rassurant de disposer d'une formule exacte qui, outre de tels contrôles, permet d'étendre l'application pratique de cette méthode de mesure d'un temps mort. Pour plus de détails, voir le Rapport BIPM-76/5.

#### Autres travaux

Parmi les travaux non décrits ici, on peut distinguer deux groupes. Une courte revue des méthodes de corrélation (Rapport BIPM-75/5),

écrite pour une nouvelle édition d'un manuel sur les procédés utilisés dans le domaine des radioactivités (NBS Handbook 80), essaie de donner un aperçu des développements récents. Dans un but analogue, on a rassemblé une bibliographie contenant plus de 350 références sur des problèmes liés aux temps morts (Rapport BIPM-75/6); elle devrait aider à réduire le nombre de duplications dans ce domaine.

Le second groupe concerne des études spéciales :

— précision inhérente au comptage modulo 2 (Rapport BIPM-75/7) dont le principe avait été décrit auparavant;

— nombre moyen d'impulsions comptées pour différents choix de l'origine des temps (Rapport BIPM-75/11);

— répartition du temps d'arrivée d'une impulsion dans un processus de Poisson si le nombre total d'enregistrements est fixé à l'avance (Rapport BIPM-75/9); cette dernière étude a d'ailleurs conduit à des résultats assez surprenants.

### Spectrométrie alpha (A. Rytz)

La systématique des masses atomiques, au-delà de  $A \approx 200$ , repose en grande partie sur des mesures absolues de l'énergie de particules  $\alpha$ . Les résultats qui ont été obtenus au moyen du spectrographe magnétique semi-circulaire du BIPM y occupent des positions clés. Bien que la liste des émetteurs de particules  $\alpha$  encore susceptibles de fournir des résultats utiles ait diminué considérablement, elle est encore loin d'être épuisée. Comme l'instrument du BIPM est le seul qui ait été conçu spécialement pour des déterminations absolues d'énergie, ces mesures ne pourraient guère être poursuivies ailleurs.

### Nouveau spectrographe

La nouvelle construction de cette partie très importante était devenue nécessaire à cause de la contamination, de l'usure et de certains petits défauts du spectrographe ancien. Les principales améliorations concernent la thermorégulation et les marqueurs radioactifs qui inscrivent une échelle de référence sur la plaque photographique.

Les dimensions du spectrographe ont été réduites le plus possible pour qu'il puisse être placé dans une boîte de cuivre maintenue à température constante.

Les températures en trois points du spectrographe ont été observées au moyen de thermocouples et dans des conditions réalistes. Elles varieront tout au plus de 0,15 K au cours d'une expérience.

Les repères de l'échelle de référence inscrits sur la plaque photographique (*fig. 19*) sont des traits blancs sur fond noir correspondant à l'ombre d'un fil mince dans un faisceau canalisé de particules  $\alpha$ . La construction des marqueurs est illustrée sur la figure 20. De nombreux essais ont mis en évidence les avantages de ce système.

La distance de chacun des 24 marqueurs au bord intérieur de la fente du spectrographe a été mesurée au comparateur universel, en utilisant une règle divisée spécialement étalonnée. On a aussi déterminé le coefficient de dilatation thermique du spectrographe.

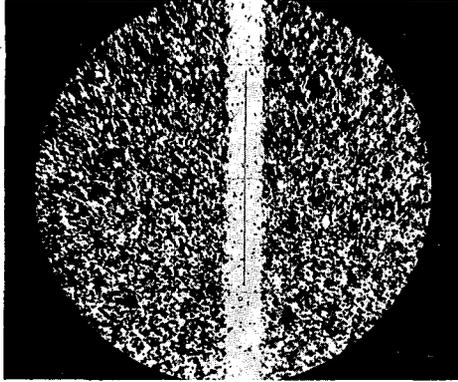


Fig. 19. — Microphotographie d'un trait de l'échelle de référence du spectrographe enregistré dans l'émulsion photographique.

La plage blanche est l'ombre d'un fil de tungstène de  $15\ \mu\text{m}$  de diamètre. Le fond est dû aux traces des particules  $\alpha$  dans l'émulsion photographique.

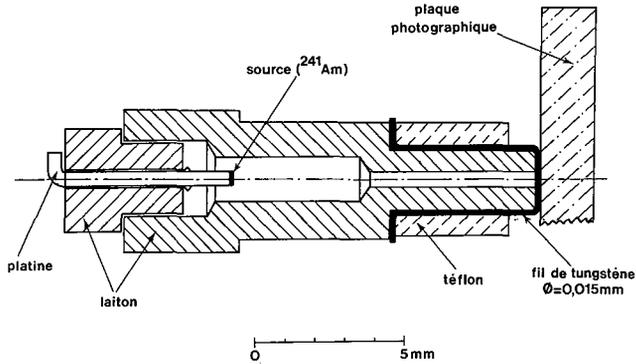


Fig. 20. — Section longitudinale de l'un des marqueurs servant à produire les traits de référence sur la plaque photographique (voir figure 19).

### Mesures de contrôle

L'ensemble complet du spectromètre a été soumis à une série d'expériences de contrôle qui ont donné des renseignements précieux sur l'utilité et le succès des diverses modifications. Il s'agissait en particulier de trouver la position optimale du porte-source en pratiquant des poses successives avec déplacements de la source entre deux poses. Ces expériences ont montré que le spectromètre est maintenant prêt pour de nouvelles mesures.

### Valeurs recommandées d'énergies de particules $\alpha$

De nombreux résultats nouveaux ayant été publiés au cours des deux dernières années, le besoin se fait sentir de commencer la préparation d'une version élargie du catalogue publié en 1973.

## Mesures neutroniques (V.D. Huynh)

### Source de neutrons $D(d, n)^3\text{He}$

Dans les anciennes mesures de débits de fluence, nous avons constaté un écart systématique de 3 à 4 % entre les mesures effectuées, d'une part, par le comptage des particules  $^3\text{He}$  au moyen d'une jonction à barrière de surface au silicium ( $\Phi_{\text{He}}$ ) et, d'autre part, par le comptage des neutrons au moyen d'un scintillateur plastique ( $\Phi_n$ ) lorsque la cible était inclinée à  $45^\circ$  par rapport à la direction du faisceau. En revanche, il y avait un assez bon accord entre  $\Phi_{\text{He}}$  et  $\Phi_n$  lorsque la cible était perpendiculaire au faisceau (Rapport 1971, p. 65). Étant donné que le scintillateur plastique est sensible aux rayons  $\gamma$  et que dans cette comparaison nous n'avions pas pu évaluer la contribution des rayons  $\gamma$  dans le comptage de  $\Phi_n$ , nous avons entrepris une nouvelle série de mesures avec un scintillateur à cristal de stilbène équipé d'un circuit de discrimination neutrons-gamma, à la place du scintillateur plastique. Le principe de cette comparaison a déjà été décrit dans le Rapport de 1971; nous ne donnons ci-dessous que les conditions expérimentales et les résultats.

*Conditions expérimentales.* — Nous avons travaillé avec des deutons incidents de 100 keV et  $4 \mu\text{A}$  de courant cible (seulement  $2 \mu\text{A}$  pour les mesures du tableau VII); les neutrons sont produits par une cible de titane deutéré déposée sur un disque de cuivre de 0,3 mm d'épaisseur. Nous disposons de quatre porte-cibles permettant l'observation des particules  $^3\text{He}$  à  $90^\circ$  (cible à  $45^\circ$ ), à  $120^\circ$  (cibles à  $45^\circ$  et à  $90^\circ$ ) et à  $150^\circ$  (cible à  $90^\circ$ ). Le scintillateur de stilbène a sensiblement les mêmes dimensions que le plastique scintillant, c'est-à-dire 1 cm d'épaisseur et 4 cm de diamètre. A titre de comparaison, après chaque série de mesures avec le stilbène, nous avons aussi effectué une série de mesures avec l'ancien plastique scintillant; cela permet de contrôler la reproductibilité à long terme des mesures.

*Résultats expérimentaux et discussion.* — Les résultats expérimentaux sont rassemblés dans les tableaux VII à X.

On peut en déduire les observations suivantes :

— environ 2 % du comptage avec le scintillateur de stilbène sont dus aux rayons  $\gamma$ ; ces derniers sont principalement produits par la réaction  $(n, \gamma)$  ou par la diffusion inélastique des neutrons dans les matériaux se trouvant au voisinage du détecteur;

— aux erreurs expérimentales près, il semble qu'il y ait un assez bon accord entre  $\Phi_{\text{He}}$  et  $\Phi_n$  mesurés respectivement par la jonction et par le scintillateur de stilbène;

— il y a systématiquement une différence de comptage de 3 à 4 % entre le stilbène (neutrons seuls) et le plastique scintillant (neutrons + gamma), ce qui offre une possibilité de contrôle mutuel de ces deux détecteurs.

En conclusion, il semble que l'effet de l'orientation de la cible sur les comptages de  $\Phi_{\text{He}}$  et de  $\Phi_n$ , observé dans les anciennes mesures, ne soit pas confirmé ici. Il reste néanmoins à expliquer pourquoi on n'a pas retrouvé les anciennes valeurs pour l'observation des particules  $^3\text{He}$  à  $120^\circ$  (cible à  $90^\circ$ ) dans le cas du plastique scintillant (voir tableau IX).

TABLEAU VII

Observation des particules  $^3\text{He}$  à  $90^\circ$  (cible à  $45^\circ$ ) ; scintillateur à  $77^\circ$   
courant cible : 2  $\mu\text{A}$

$d$  : distance entre le scintillateur et la cible.

$\epsilon$  : efficacité du scintillateur (quotient du nombre de coïncidences  $^3\text{He}$ -neutron par le comptage  $^3\text{He}$ ).

$N_\gamma/N_n$  : rapport du nombre de rayons  $\gamma$  au nombre de neutrons détectés par le scintillateur.

$\phi_n$  : fluence de neutrons mesurée par le scintillateur.

$\phi_{\text{He}}$  : fluence de neutrons mesurée par la jonction en prenant l'angle solide du scintillateur comme référence.

	date	durée (en s)	$d$ (en cm)	$\epsilon$	$N_\gamma/N_n$	$\phi_n$	$\phi_{\text{He}}$	$\frac{\phi_n - \phi_{\text{He}}}{\phi_{\text{He}}}$
	1975							
stilbène	21 mai	12000	10,12	0,092 8	$2,7 \times 10^{-2}$	$0,534 \times 10^7$	$0,543 \times 10^7$	$- 1,6 \times 10^{-2}$
	22	12000	8,0	92 4	2,4	1,002	0,998	+ 0,4
	26	12000	8,0	91 9	3,1	1,058	1,053	+ 0,5
	27	12000	10,12	93 0	3,0	0,613	0,608	+ 0,7
	28	11000	8,0	93 3	3,0	0,892	0,904	- 1,3
							Moyenne .....	$- 0,3 \times 10^{-2}$
plastique scintillant	5 juin	12000	10,10	0,092 5		$0,763 \times 10^7$	$0,731 \times 10^7$	+ $4,4 \times 10^{-2}$
	6	10000	8,0	91 4		0,983	0,940	+ 4,6
							Moyenne .....	+ $4,5 \times 10^{-2}$

TABLEAU VIII

Observation des particules  $^3\text{He}$  à  $120^\circ$  (cible à  $45^\circ$ ) ; scintillateur à  $49^\circ$   
courant cible :  $4 \mu\text{A}$

(Les notations sont les mêmes qu'au tableau VII)

	date	durée (en s)	$d$ (en cm)	$\epsilon$	$N_\gamma/N_n$	$\Phi_n$	$\Phi_{\text{He}}$	$\frac{\Phi_n - \Phi_{\text{He}}}{\Phi_{\text{He}}}$
	1975							
stilbène	16 juin	8700	10,12	0,091 3	$2,0 \times 10^{-2}$	$1,528 \times 10^7$	$1,535 \times 10^7$	$- 0,5 \times 10^{-2}$
	17	7600	10,12	90 6	2,1	1,048	1,038	- 0,9
	17	8000	8,0	90 4	2,1	1,827	1,834	- 0,3
	20	8000	8,0	90 5	2,2	1,804	1,805	- 0,3
	27	6000	8,0	90 9	2,3	1,821	1,842	- 1,2
							Moyenne .....	$- 0,6 \times 10^{-2}$
plastique scintillant	18 juin	8000	8,0	0,089 5		$2,089 \times 10^7$	$2,033 \times 10^7$	$+ 2,8 \times 10^{-2}$
	18	8000	10,10	89 8		1,484	1,453	+ 2,2
	25	10000	8,0	92 5		2,832	2,722	+ 4,0
							Moyenne .....	$+ 3,0 \times 10^{-2}$

TABLEAU IX

Observation des particules  $^3\text{He}$  à  $120^\circ$  (cible à  $90^\circ$ ) ; scintillateur à  $49^\circ$   
 courant cible : 4  $\mu\text{A}$

(Les notations sont les mêmes qu'au tableau VII)

	date	durée (en s)	d (en cm)	$\epsilon$	$N_\gamma/N_n$	$\phi_n$	$\phi_{\text{He}}$	$\frac{\phi_n - \phi_{\text{He}}}{\phi_{\text{He}}}$
	1975							
stilbène	4 juil.	8000	8,0	0,090 9	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,322 \times 10^7$	$2,305 \times 10^7$	$+ 0,8 \times 10^{-2}$
	7	10000	8,0	89 4	2,0	2,985	2,965	+ 0,7
	8	8000	8,0	90 7	2,0	2,255	2,248	+ 0,3
	8	8000	10,06	89 2	2,0	1,674	1,683	- 0,5
	10	8000	10,06	91 6	1,9	1,872	1,910	- 2,0
	10	10000	8,0	92 3	1,8	3,399	3,469	- 1,9
	11	6000	8,0	90 3	1,9	2,031	2,023	- 0,3
							Moyenne . . . . .	$- 0,4 \times 10^{-2}$
plastique scintillant	15 juil.	8000	8,0	0,089 5		$2,961 \times 10^7$	$2,848 \times 10^7$	$+ 4,0 \times 10^{-2}$
	16	10000	8,0	91 6		3,836	3,658	+ 4,9
	17	8000	10,03	89 5		1,628	1,573	+ 3,5
	17	10000	10,03	90 0		2,538	2,452	+ 3,5
							Moyenne . . . . .	$+ 4,0 \times 10^{-2}$

TABLEAU X

Observation des particules  $^3\text{He}$  à  $150^\circ$  (cible à  $90^\circ$ ) ; scintillateur à  $24^\circ$   
courant cible : 4  $\mu\text{A}$

(Les notations sont les mêmes qu'au tableau VII)

	date	durée (en s)	$d$ (en cm)	$\varepsilon$	$N_\gamma/N_n$	$\phi_n$	$\phi_{\text{He}}$	$\frac{\phi_n - \phi_{\text{He}}}{\phi_{\text{He}}}$
	1975							
stilbène*	24 sept.	6000	8,0	0,093 5	$1,4 \times 10^{-2}$	$2,127 \times 10^7$	$2,164 \times 10^7$	$- 1,7 \times 10^{-2}$
	25	8000	8,0	92 8	1,5	2,884	2,937	- 1,9
	25	8000	10,02	92 6	1,5	1,950	1,998	- 2,4
	26	8000	10,02	93 8	1,4	2,179	2,247	- 3,0
	30	6000	8,0	93 1	1,4	2,168	2,212	- 2,0
							Moyenne .....	- $2,2 \times 10^{-2}$
plastique scintillant	29 juil.	8000	8,0	0,091 0		$3,041 \times 10^7$	$3,039 \times 10^7$	+ $0,5 \times 10^{-2}$
	29	8000	10,03	89 9		2,002	2,027	- 0,9
	30	8000	10,03	88 5		1,859	1,878	- 0,6
	30	8000	8,0	88 8		3,230	3,253	- 0,3
							Moyenne .....	- $0,3 \times 10^{-2}$

\* Un nouveau cristal de stilbène et un nouveau photomultiplicateur associé ont été utilisés pour effectuer ces mesures.

*Nouvelle source de neutrons  $^3\text{H}(\text{d}, \text{n})^4\text{He}$*

En dehors de la source de neutrons d'énergie 2,5 MeV, produits par la réaction  $\text{D}(\text{d}, \text{n})^3\text{He}$ , le BIPM dispose maintenant d'une seconde source de neutrons monocinétiques dont l'énergie est de  $14,680 \pm 0,130$  MeV; elle est produite par la réaction  $^3\text{H}(\text{d}, \text{n})^4\text{He}$ , avec une énergie de deutons incidents de 140 keV. La cible, du type Ti-T, dont l'épaisseur correspond à  $550 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (support 0,5 mm Cu), a été fournie par le Centre d'Études Nucléaires de Saclay. Avec un courant cible de  $20 \mu\text{A}$ , nous produisons une source dont le taux d'émission est  $1,6 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ .

*Mesure du débit de fluence de neutrons.* — Nous mesurons le débit de fluence de neutrons par la méthode de la particule associée. Le nombre de particules  $^4\text{He}$  est mesuré, pour un angle solide bien défini, par une jonction à barrière de surface au silicium placée à  $150^\circ$  par rapport à la direction du faisceau de deutons. L'angle correspondant à l'émission de neutrons est de  $27^\circ$  (l'énergie moyenne de la réaction est de 97 keV). Étant donné que la jonction est placée à 1 m de la cible, nous avons placé trois diaphragmes de diamètres différents entre la cible et la jonction pour réduire le plus possible le nombre de particules  $^4\text{He}$  diffusées par les parois du tube au bout duquel est placée la jonction : les trois diaphragmes (diamètres 8,2, 6,9 et 5,4 mm) sont placés respectivement à 20, 50 et 80 cm de la cible. Soulignons que le diaphragme qui détermine l'angle solide de détection de la jonction a 4 mm de diamètre. Nous obtenons ainsi un spectre de particules  $^4\text{He}$  très « propre », dans lequel le comptage dans la région de la « vallée » est négligeable par rapport au comptage dans la région du pic.

Rappelons que le nombre de neutrons émis par unité d'angle solide,  $\varphi_n$ , mesuré à partir du comptage des particules  $^4\text{He}$ , est donné par la relation :

$$\varphi_n = N_{\text{He}} \cdot \frac{1}{\Omega_{\text{He}}} \cdot \frac{k_{\text{He}}}{k_n},$$

où

$N_{\text{He}}$  est le nombre de particules  $^4\text{He}$  comptées par la jonction,

$\Omega_{\text{He}}$  est l'angle solide couvert par le détecteur à jonction dans le système du laboratoire,

$k_{\text{He}}$  et  $k_n$  sont les facteurs de conversion des angles solides du système du laboratoire au système du centre de masse, respectivement pour les particules  $^4\text{He}$  et pour les neutrons.

Dans notre cas, nous avons :

$$\frac{k_{\text{He}}}{k_n} = 1,235 \pm 0,012.$$

D'autre part, il faut faire une correction sur  $N_{\text{He}}$  pour tenir compte de la source secondaire parasite  $\text{D}(\text{d}, \text{p})^3\text{H}$ , car les protons produits par cette réaction ont une énergie de 2,7 MeV, très voisine de celle des particules  $^4\text{He}$  (3,0 MeV). Pour cela, il suffit d'effectuer les mesures avec une cible sans tritium mais dont la composition est, pour le reste, identique à celle d'une cible tritiée.

*Instrument de transfert : chambre à fission ( $^{238}\text{U}$ ).* — La chambre à fission a été utilisée comme instrument de transfert (détecteur) dans la comparaison

internationale des mesures de débit de fluence de neutrons à 14,8 MeV. Cette chambre (Rapport 1974, p. 74) est en fait constituée de deux chambres comportant chacune un dépôt de  $^{238}\text{U}$  de  $1,3 \text{ cm}^2$  de surface et dont l'épaisseur correspond à  $1 \text{ mg/cm}^2$ . On utilise comme supports des dépôts deux feuilles de platine disposées dos à dos et qui forment la surface de séparation des deux chambres. Le gaz qui circule à travers la chambre à fission est du méthane pur.

Dans la comparaison internationale, il s'agit de mesurer la sensibilité, c'est-à-dire le quotient du taux de comptage de la chambre à fission par le débit de fluence de neutrons. En pratique, tous les laboratoires mesurent le débit de fluence par l'intermédiaire de la grandeur  $\varphi_n$  (nombre de neutrons émis par unité d'angle solide dans la direction de l'instrument de transfert); il est donc plus commode de comparer directement, pour une distance source-détecteur  $d$  choisie (ici  $d = 10 \text{ cm}$ ), le rapport  $\varepsilon_\Omega = N_c/\varphi_n$ , où  $N_c$  est le comptage total de l'instrument de transfert. Pour des raisons de commodité,  $\varepsilon_\Omega$  sera appelé *sensibilité* de l'instrument de transfert.

Dans notre cas, la chambre à fission est donc placée à  $10 \text{ cm}$  de la cible et à  $27^\circ$  par rapport à la direction du faisceau de deutons. Les impulsions provenant des deux chambres sont enregistrées dans deux sélecteurs d'amplitudes multicanaux; le spectre obtenu pour chacune des deux chambres est ensuite extrapolé à zéro pour obtenir le comptage total  $N_c$ . La figure 21 montre la méthode d'extrapolation du spectre: on trace une ligne droite entre le point qui correspond au minimum de la « vallée » et celui qui correspond à une amplitude nulle (« vrai zéro ») du sélecteur d'amplitudes.

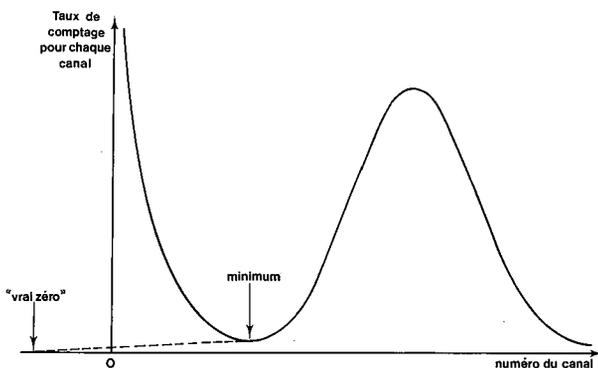


Fig. 21. — Réponse de la chambre à fission déterminée au moyen du sélecteur d'amplitudes.

Nous avons effectué une série de trois mesures de la sensibilité  $\varepsilon_\Omega$  de la chambre à fission. Les résultats sont résumés dans le tableau XI. La moyenne des trois mesures donne un rapport des comptages de la chambre 1 à la chambre 2 égal à 1,056 et une sensibilité de la chambre à fission égale à  $6,362 \times 10^{-8} \text{ coups}/(\text{neutron} \cdot \text{sr}^{-1})$ .

Les incertitudes relatives sur les différentes grandeurs intervenant dans la détermination de  $\varepsilon_\Omega$  sont résumées dans le tableau XII. On obtient pour la somme des incertitudes 4,2 %, et pour leur somme quadratique 1,9 %.

TABLEAU XI

*Résultats expérimentaux concernant  
la détermination de la sensibilité de la chambre à fission*

Numéro de la mesure .....	1	2	3	
Durée de la mesure (en s) .....	4 345	4 739	5 671	
$N_{He}$ .....	5 999 064	5 982 716	5 974 302	
Contribution relative de la source parasite .....	$4 \times 10^{-4}$	$32 \times 10^{-4}$	$45 \times 10^{-4}$	
$\varphi_n$ .....	$5,980 \times 10^{11}$	$5,959 \times 10^{11}$	$5,942 \times 10^{11}$	
Comptage au-delà du minimum	{ chambre 1 ..	19 098	18 969	18 991
	{ chambre 2 ..	17 837	17 807	17 887
Extrapolation à zéro	{ chambre 1 ..	475	450	450
	{ chambre 2 ..	594	594	594
$N_C$ .....	38 004	37 820	37 922	
Sensibilité $\epsilon_\Omega^*$ .....	$6,356 \times 10^{-8}$	$6,347 \times 10^{-8}$	$6,383 \times 10^{-8}$	

\*  $\epsilon_\Omega$  est exprimé en coups pour 1 neutron par stéradian.

TABLEAU XII

*Estimation des incertitudes  
dans la détermination de la sensibilité  
de la chambre à fission*

Grandeur	Incertitude	
	statistique (1 $\sigma$ )	systématique
$N_C$ .....	0,3 %	0,3 %
$N_{He}$ .....	0,03	0,5
$\Omega_{He}$ .....		0,5
$k_{He}/k_n$ .....		1,0
Source parasite .....		0,1
Distance source-chambre à fission ..		1,5
Total ....	0,33 %	3,9 %

*Réaction  $^{56}Fe(n, p)^{56}Mn$ . — Un deuxième « détecteur » de transfert a été utilisé dans la comparaison internationale des mesures de débit de fluence de neutrons à 14,8 MeV; il s'agit de feuilles de fer qui sont irradiées par le faisceau de neutrons et dont on mesure l'activité  $\beta$  à saturation due à la réaction  $^{56}Fe(n, p)^{56}Mn$  (le  $^{56}Mn$  est un émetteur  $\beta^-$  de période 2,578 h).*

On mesure l'activité  $\beta$  à l'aide d'un compteur proportionnel  $4\pi\beta$ , utilisé habituellement pour l'étalonnage absolu des sources radioactives par la méthode des coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ . Dans la comparaison, on mesure la quantité  $N_\beta/\varphi$ , c'est-à-dire le quotient du taux de comptage  $\beta$  à saturation par le débit de fluence de neutrons à 14,8 MeV. On ne tient pas compte de l'efficacité de détection  $\beta$ , de l'absorption par le film très mince de VYNS doré ni de l'efficacité de détection  $\gamma$  dans le compteur  $4\pi\beta$ , car ces effets sont sensiblement les mêmes dans tous les laboratoires participants.

L'organisation de cette comparaison est assurée par le NPL, qui a fait circuler, avant la comparaison proprement dite, deux feuilles de  $^{60}\text{Co}$  parmi les laboratoires participants pour qu'ils effectuent le comptage  $\beta$ ; les résultats concordants obtenus ont permis de conclure à la validité de la méthode. Le NPL a ensuite envoyé trois feuilles de fer naturel de pureté 99,99 % à chaque laboratoire participant. Les trois feuilles (disques circulaires de 2,54 cm de diamètre) reçues par le BIPM sont désignées par les numéros 44, 45 et 48 et ont respectivement des masses de 412,790, 405,670 et 408,522 mg.

Nous avons irradié simultanément les trois feuilles placées respectivement à 10, 13 et 16,08 cm de la cible et nous avons effectué au total trois irradiations, chaque feuille occupant successivement les trois positions, par permutation circulaire.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau XIII.

Le facteur de correction  $f$  tient compte de la variation du débit de fluence de neutrons durant l'irradiation,

$$f = \frac{p \cdot [1 - \exp(-\lambda T/p)]}{1 - \exp(-\lambda T)} \cdot \frac{\sum_i [\Phi_i \cdot \exp(i\lambda T/p)]}{\left(\sum_i \Phi_i\right) \cdot \exp(\lambda T)};$$

les  $\Phi_i$  sont les fluences partielles pour  $p$  intervalles de temps, égaux à  $T/p$ , et  $\lambda$  est la constante radioactive du  $^{56}\text{Mn}$ . Le taux de comptage  $N_\beta$  correspondant à l'activité  $\beta$  à saturation est donc donné par :

$$N_\beta = \frac{N_\beta^i}{f \cdot [1 - \exp(-\lambda T)]}$$

Le débit de fluence de neutrons  $\varphi$ , aux différentes positions où sont placées les feuilles de fer, est donné par :

$$\varphi = \frac{\varphi_n}{T \cdot (k_s d)^2} \cdot \frac{1}{k_s}$$

Le tableau XIV donne les incertitudes relatives sur les différentes grandeurs intervenant dans la détermination de  $N_\beta/\varphi$ .

En conclusion, l'ensemble des trois irradiations pour les trois feuilles de fer donne des résultats assez concordants; cela semble indiquer que la loi de l'inverse du carré de la distance est bien vérifiée et que les effets dus aux neutrons diffusés et à l'atténuation du faisceau par les feuilles de fer sont négligeables.

TABLEAU XIII

Résultats expérimentaux  
concernant la détermination de  $N_{\beta}/\varphi$  pour la réaction  $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$

$T$  : durée d'irradiation.

$d$  : distance entre la feuille de fer et la cible.

$N'_{\beta}$  : taux de comptage  $\beta$  en fin d'irradiation.

$\varphi_n$  : nombre de neutrons émis par unité d'angle solide dans la direction des feuilles de fer, mesuré par la méthode de la particule associée.

$k_a$  : facteur de correction tenant compte du fait que la feuille irradiée n'est pas sphérique, mais plane :  
 $k_a = 1 + (R/d)^2/4$  ( $R$  : rayon de la feuille de fer).

$k_s$  : facteur de correction tenant compte de la source parasite  $D(d,p)^3\text{H}$ .

$f$  : facteur de correction tenant compte de la variation du débit de fluence de neutrons durant l'irradiation

$N_{\beta}$  : taux de comptage correspondant à l'activité  $\beta$  à saturation de  $^{56}\text{Mn}$

$\varphi$  : débit de fluence de neutrons aux différentes positions où sont placées les feuilles de fer

} voir texte.

	date	$T$ (en s)	$d$ (en cm)	$N'_{\beta}$ (en $s^{-1}$ )	$\varphi_n$ (en $sr^{-1}$ )	$k_a$	$k_s$	$f$	$N_{\beta}/\varphi^*$
	1976								
Feuille N° 44	{ 30 avril	18000	10	394,38	$3,105 \times 10^{12}$	1,004 0	1,002 2	0,990 5	$3,187 \times 10^{-4}$
	{ 5 mai	18000	13	176,37	2,387	1,002 4	1,004 2	0,974 5	3,148
	{ 14 mai	18000	16,08	70,68	1,522	1,001 6	1,007 0	0,939 2	3,145
Feuille N° 45	{ 30 avril	18000	13	230,71	$3,105 \times 10^{12}$	1,002 4	1,002 2	0,990 5	$3,127 \times 10^{-4}$
	{ 5 mai	18000	16,08	114,12	2,387	1,001 6	1,004 2	0,974 5	3,112
	{ 14 mai	18000	10	180,37	1,522	1,004 0	1,007 0	0,939 2	3,119
Feuille N° 48	{ 30 avril	18000	16,08	151,54	$3,105 \times 10^{12}$	1,001 6	1,002 2	0,990 5	$3,131 \times 10^{-4}$
	{ 5 mai	18000	10	295,12	2,387	1,004 0	1,004 2	0,974 5	3,127
	{ 14 mai	18000	13	107,07	1,522	1,002 4	1,007 0	0,939 2	3,119

\*  $N_{\beta}/\varphi$  est exprimé en coups pour 1 neutron par centimètre carré.

TABLEAU XIV

*Estimation des incertitudes  
concernant la détermination de  $N_{\beta}/\varphi$  pour la réaction  $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$*

Date	$\Delta N_{\beta}$		$\Delta \varphi$				Incertitude totale			
	Statistique (1 $\sigma$ )	Systématique	Statistique (1 $\sigma$ )	Systématique				Statistique (1 $\sigma$ )	Systématique	
				$\Delta \varphi_n$	$\Delta d$	$\Delta k_a$	$\Delta k_s$			
1976										
Feuille N° 44	30 avril	0,07 %	0,3 %	$\approx 0$	2,0 %	0,5 %	$\approx 0$	$\approx 0$	0,07 %	2,8 %
	5 mai	0,12	0,3	"	2,0	0,4	"	0,1 %	0,12	2,8
	14 mai	0,19	0,3	"	2,0	0,3	"	0,2	0,19	2,8
Feuille N° 45	30 avril	0,13 %	0,3 %	"	2,0 %	0,4 %	"	$\approx 0$	0,13 %	2,7 %
	5 mai	0,24	0,3	"	2,0	0,3	"	0,1 %	0,24	2,7
	14 mai	0,10	0,3	"	2,0	0,5	"	0,2	0,10	3,0
Feuille N° 48	30 avril	0,16 %	0,3 %	"	2,0 %	0,3 %	"	$\approx 0$	0,16 %	2,6 %
	5 mai	0,12	0,3	"	2,0	0,5	"	0,1 %	0,12	2,9
	14 mai	0,24	0,3	"	2,0	0,4	"	0,2	0,24	2,9

Finalement, le tableau XV résume les valeurs de  $N_{\beta}/\varphi$ , avec leurs incertitudes, obtenues au BIPM.

TABLEAU XV

Valeurs de  $N_{\beta}/\varphi$   
mesurées au BIPM pour la réaction  $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$

Numéro de la feuille	$N_{\beta}/\varphi^*$	Incertitude sur $N_{\beta}$		Incertitude sur $\varphi$	
		Statistique (1 $\sigma$ )	Systématique	Statistique (1 $\sigma$ )	Systématique
44	$3,160 \times 10^{-4}$	0,13 %	0,3 %	$\approx 0$	2,5 %
45	3,119	0,16	0,3	"	2,5
48	3,126	0,17	0,3	"	2,5

\*  $N_{\beta}/\varphi$  est exprimé en coups pour 1 neutron par centimètre carré.

#### Source de radium de l'Union Minière, Bruxelles

Dès l'implantation des laboratoires de la Section des rayonnements ionisants en 1961, le BIPM avait sollicité l'aide de l'Union Minière du Haut-Katanga en lui demandant de mettre à sa disposition, à titre de prêt à long terme, une source de neutrons Ra-Be ( $\alpha, n$ ). Cette Société avait, à l'époque, répondu généreusement à notre appel en nous confiant une source Ra-Be contenant 203,9 mg de radium. Cette source est en dépôt au BIPM depuis novembre 1961.

L'Union Minière nous a fait savoir, en juillet 1976, qu'elle désirait mettre fin à ses activités dans le domaine du radium et qu'elle se proposait de nous céder cette source, définitivement et à titre gracieux. Nous avons accepté avec gratitude l'offre de l'Union Minière et nous désirons la remercier ici de son geste généreux.

#### Centenaire de la Convention du Mètre et du BIPM

A l'occasion du centenaire de la signature de la Convention du Mètre et de la création du BIPM, l'ouvrage « Le Bureau International des Poids et Mesures 1875-1975 » a été publié. Il s'agit d'un ouvrage collectif rédigé principalement par P. Giacomo, H. Moreau, P. Carré, A. Rytz, G. Leclerc, J. Bonhoure, M.-T. Niatel\*, V. D. Huynh et J. W. Müller, illustré de nombreux schémas et photographies réalisés par C. Veyradier et R. Pello, et pour lequel J. de Boer, Secrétaire du CIPM, a rédigé un chapitre sur les unités de mesure.

Plusieurs articles de vulgarisation (voir Publications extérieures) ont été publiés dans diverses revues, en particulier dans le numéro spécial de la *Revue du Palais de la Découverte*, numéro dont P. Giacomo a coordonné la rédaction.

Enfin, plusieurs membres du personnel du BIPM ont contribué active-

ment à l'exposition « Métrologie, année 100 » (mai 1975 à janvier 1976) organisée par le Palais de la Découverte (Paris) et le Bureau National de Métrologie français.

## Publications

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

Depuis octobre 1974 ont été publiés :

1° *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, 5<sup>e</sup> session (1973), avec 23 Annexes.

2° *Comité Consultatif de Thermométrie*, 10<sup>e</sup> session (1974), avec 31 Annexes dont le texte de l'Échelle Internationale Pratique de Température, édition amendée de 1975.

3° *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, 7<sup>e</sup> session (1974), avec 23 Annexes.

4° *Comité Consultatif des Unités*, 4<sup>e</sup> session (1974), avec 2 Annexes.

5° *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie*, 8<sup>e</sup> session (1975), avec 12 Annexes.

6° *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants*, 6<sup>e</sup> session (1975), avec 3 Annexes;

Section I, Rayons X et  $\gamma$ , électrons, 3<sup>e</sup> réunion (1975), avec 10 Annexes;  
Section II, Mesure des radionucléides, 3<sup>e</sup> réunion (1975), avec 5 Annexes;  
Section III, Mesures neutroniques, 2<sup>e</sup> réunion (1974).

7° *Procès-verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tome 42 (63<sup>e</sup> session, septembre 1974) et tome 43 (64<sup>e</sup> session, mai-juin 1975).

8° *Comptes rendus des séances de la 15<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures* (mai-juin 1975), avec 2 Annexes.

9° *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures*, volume 4 (1973-1974).

10° *Le Bureau International des Poids et Mesures 1875-1975*, 230 pages, 115 figures.

Ce dernier ouvrage a été traduit en anglais et publié par les soins du National Bureau of Standards, Washington D.C. (NBS Special Publication 420).

### *Publications extérieures*

ALLISY (A.), Grandeurs physiques et unités; une introduction. *Proc. of an international course on ionizing radiation metrology*, Varenna, sept.-oct. 1974 (sous presse).

ALLISY (A.), La comparaison des étalons de masse. *Bull. Information du BNM*, **6**, N° 20, 1975, pp. 36-41.

ALLISY (A.), Grandeurs physiques et unités en dosimétrie. *Proc. Fifth Symposium on Microdosimetry*, Verbania Pallanza, sept. 1975, EUR 5452 d-e-f, pp. 1-12.

ALLISY (A.), Cours de métrologie du Conservatoire National des Arts et Métiers : Propagation des erreurs aléatoires (*sous presse*).

AZOUBIB (J.), GRANVEAUD (M.) and GUINOT (B.), Estimation of the scale unit duration of time scales (à paraître dans *Metrologia*).

BONHOURE (J.), Détermination radiométrique des températures thermodynamiques comprises entre 904 et 1338 K. *Metrologia*, **11**, 1975, pp. 141-150.

BONHOURE (J.), Intervalle entre les températures thermodynamiques des points de congélation de l'argent et de l'or. *Bull. Information du BNM*, **6**, N° 22, 1975, pp. 12-13.

GIACOMO (P.), Speed of light : the state of the problem. *IEEE Trans. Instr. Measurements*, **IM23**, 1974, pp. 540-542.

GIACOMO (P.), New trends in metrology. *New Physics (Korea)*, **15**, 1975, pp. 43-46.

BOUCHAREINE (P.) et GIACOMO (P.), Évolution de l'étalon de longueur. *Bull. Information du BNM*, **6**, N° 20, 1975, pp. 13-20.

GIACOMO (P.), Le centenaire de la Convention du Mètre et du BIPM. *Le Courrier du CNRS*, N° 18, 1975, pp. 22-23.

GIACOMO (P.), Le centenaire de la Convention du Mètre et du BIPM. *Codata Newsletter*, N° 14, 1975, pp. 8-9.

GIACOMO (P.), Mesure de  $g$ , accélération due à la pesanteur. *Revue du Palais de la Découverte*, Numéro spécial 5, 1975, pp. 62-65.

GIACOMO (P.), Le BIPM. *Ibid.*, pp. 128-133.

GIACOMO (P.), Les lasers en métrologie. *Kvantovaia Elektronika*, **3**, 1976, pp. 879-885 (en russe).

CECCALDI (M.), GIRARD (G.), MENACHÉ (M.) et RIEDINGER (M.), Détermination absolue de la teneur en deutérium d'une eau lourde  $D_2O$ , mesure de sa masse volumique. Calcul de la masse volumique de la variété isotopiquement pure  $D_2^{16}O$  dans les conditions de l'expérience. *Rapport CEA R-4675*, 1975, 39 pages; *Metrologia*, **11**, 1975, pp. 53-65.

LECLERC (G.), Unités et étalons électriques. Rôle du BIPM. In « Colloque international sur l'Électronique et la Mesure », Paris, 26-30 mai 1975, pp. 32-41.

LECLERC (G.), Unités et étalons électriques. Rôle du BIPM. *L'Onde Électrique*, **56**, N° 5, 1976, pp. 231-237.

MOREAU (H.), Le Système Métrique; des anciennes mesures au Système International d'Unités. Chiron, Paris, 1975, 120 pages, 16 figures.

NIATEL (M.-T.), LOFTUS (T. P.) and OETZMANN (W.), Comparison of exposure standards for  $^{60}Co$  gamma rays. *Metrologia*, **11**, 1975, pp. 17-23.

NIATEL (M.-T.), Influence de la vapeur d'eau sur l'ionisation de l'air dans le cas d'une chambre à cavité. *C.R. Acad. Sci.*, **281-B**, 1975, pp. 361-363.

ROUX (A.-M.), A precision measurement of some attenuation coefficients for 1,33 MeV gamma rays. *Metrologia*, **12**, 1976, pp. 65-75.

SAKUMA (A.), Report on absolute measurements of gravity, *Bull. Information du Bureau Gravimétrique International*, N° 35, 1974, 1-39/42.

SAKUMA (A.), La mesure absolue de la pesanteur. *Comité National Français de Géodésie et Géophysique*, Rapport National, 1975, I-36/37.

TERRIEN (J.), News from the BIPM. *Metrologia*, **11**, 1975, pp. 37-41 et pp. 179-183.

TERRIEN (J.), La Métrologie. (Conférence prononcée le 31 mai 1975 à l'occasion du centenaire de la Convention du Mètre) *Revue du Palais de la Découverte*, Numéro spécial 5, 1975, pp. 8-34.

TERRIEN (J.), Constantes physiques et Métrologie. In « Atomic Masses and Fundamental Constants 5 » (Paris 1975), Plenum Press, New York-London, 1976, pp. 24-29.

TERRIEN (J.), Le Système métrique malmené en France. *Sciences et Techniques*, N° 28, 1975, pp. 44-45.

WITT (T. J.), The Josephson effect standard of electromotive force. In « Colloque international sur l'Électronique et la Mesure », Paris, 26-30 mai 1975, pp. 50-57.

WITT (T. J.) and REYMANN (D.), Determination of  $2e/h$  at the BIPM. In « Atomic Masses and Fundamental Constants 5 » (Paris 1975), Plenum Press, New York-London, 1976, pp. 457-463.

WITT (T. J.), The Josephson effect standard of electromotive force. *L'Onde Électrique*, **55**, N° 10, 1975, pp. 575-579.

#### *Monographies et Rapports internes*

Ces documents peuvent être fournis sur demande.

— Procedures for accurately diluting and dispensing radioactive solutions (Monographie BIPM-1, mars 1975, 32 pages) <sup>(17)</sup>.

— The detection and estimation of spurious pulses (Monographie BIPM-2, février 1976, 29 pages) <sup>(17)</sup>.

— Remarque sur la mesure de  $g$  par la méthode des deux stations, par P. Carré et F. Lesueur (Rapport BIPM-74/4, octobre 1974, 3 pages).

— Statistiques de comptage, par J. W. Müller (Rapport BIPM-74/5, octobre 1974, 8 pages).

— Explicit interval densities for equilibrium counting processes, par J. W. Müller (Rapport BIPM-74/6, octobre 1974, 18 pages) <sup>(18)</sup>.

— Caractérisation des fluctuations aléatoires d'un processus temporel par la variance d'Allan, par J. Azoubib (Rapport BIPM-74/7, 11 pages) <sup>(18)</sup>.

— Dispositif de discrimination neutrons-gammas, par P. Bréonce (Rapport BIPM-75/1, février 1975, 8 pages) <sup>(17)</sup>.

— Description de l'ensemble N° 3 de comptage par coïncidences  $4\pi\beta$ (CP)- $\gamma$  utilisé au BIPM, par P. Bréonce, A. Rytz et C. Veyradier (Rapport BIPM-75/2, septembre 1975, 43 pages) <sup>(17)</sup>.

— Intercomparison of a  $^{134}\text{Cs}$  solution (July-September 1974), par A. Rytz (Rapport BIPM-75/3, février 1975, 5 pages).

— Résultats de mesures d'étalons à traits au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel, par J. Hamon (Rapport BIPM-75/4, janvier 1975, 7 pages) <sup>(17)</sup>.

---

<sup>(17)</sup> Publié dans *Recueil de Travaux du BIPM*, **5**, 1975-1976.

<sup>(18)</sup> Publié dans *Recueil de Travaux du BIPM*, **4**, 1973-1974.

— Principles of correlation counting, par J. W. Müller (Rapport BIPM-75/5, mars 1975, 9 pages) <sup>(17)</sup>.

— Bibliography on dead-time effects (Rapport BIPM-75/6, octobre 1975, 33 pages).

— On the precision of the modulo counting technique, par J. W. Müller (Rapport BIPM-75/7, avril 1975, 13 pages) <sup>(17)</sup>.

— Interface pour la connexion d'un lecteur-enregistreur de cassettes à bande magnétique à l'ordinateur IBM 1130 du BIPM, par F. Lesueur et P. Carré (Rapport BIPM-75/8, septembre 1975, 15 pages).

— Temps d'arrivée conditionnels d'impulsions, par J. W. Müller (Rapport BIPM-75/9, septembre 1975, 3 pages).

— Comparaison de deux groupes de piles étalons : principes mathématiques du traitement, par P. Carré (Rapport BIPM-75/10, octobre 1975, 5 pages).

— Some relations between asymptotic results for dead-time-distorted processes. Part I: The expectation values, par J. W. Müller (Rapport BIPM-75/11, décembre 1975, 16 pages).

— Le point triple de l'argon, par J. Bonhoure (Rapport BIPM-76/1, janvier 1976, 13 pages).

— Mesure du débit de fluence de neutrons d'énergie 14,7 MeV au BIPM, par V. D. Huynh (Rapport BIPM-76/2, avril 1976, 5 pages).

— On the evaluation of the correction factor  $\mu(g', \tau')$  for the periodic pulse method, par J. W. Müller (Rapport BIPM-76/3, mai 1976, 14 pages) <sup>(17)</sup>.

— Faisceaux gaussiens et interférométrie, par P. Giacomo (Rapport BIPM-76/4, juin 1976, 21 pages) <sup>(17)</sup>.

— The source-pulser method revisited, par J. W. Müller (Rapport BIPM-76/5, juillet 1976, 16 pages) <sup>(17)</sup>.

— Dispositif numérique d'affichage des indications des microscopes photoélectriques, par P. Carré (Rapport BIPM-76/6, juillet 1976, 9 pages) <sup>(17)</sup>.

— Mesure des différences entre les fréquences de diverses radiations de lasers : principes mathématiques du programme de traitement, par P. Carré (Rapport BIPM-76/7, juillet 1976, 8 pages).

— International comparison of a solution of <sup>139</sup>Ce (March 1976), Preliminary report, par A. Rytz (Rapport BIPM-76/8, juillet 1976, 7 pages).

**Certificats et Notes d'étude**

Du 1<sup>er</sup> octobre 1974 au 30 septembre 1976, 101 Certificats et 5 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1974

N°	
39.	Deux étalons de 1 $\Omega$ N°s 2398 et 2399 (addition) .....
	Service de Métrologie, Bruxelles, Belgique.
40.	Etalon de 1 $\Omega$ N° 144493 .....
	Urad Pro Normalizaci, Prague, Tchécoslovaquie.
41.	Deux étalons de 1 $\Omega$ N°s 78564 et 78567 (addition) .....
	Id.
42.	Quatre étalons de force électromotrice N°s 1, 2, 3 et 4 .....
	Det Norske Justerveresen, Oslo, Norvège.
43.	Trois étalons de 1 $\Omega$ N°s 1753639, 1753641, 1756653 (addition) .....
	Service de la Métrologie, 's-Gravenhage, Pays-Bas.
44.	Deux étalons de 10000 $\Omega$ N°s 851015 et 851036 (addition) .....
	Id.
45.	Six étalons de force électromotrice N°s 66087, 66091, 66124, 66132, 67045 et 67049 (addition) .....
	Id.
46.	Quatre étalons de force électromotrice N°s 35403, 35405, 35633 et 35668 (addition) .....
	Id.
47.	Monocristal de silicium CBNM N° 1 .....
	Bureau Central des Mesures Nucléaires, Geel, Belgique.
48.	Masse de 1 kg en acier inoxydable .....
	Mettler Instrumente A.G., Greifensee- Zürich, Suisse.
49.	Calibre en acier de 25 mm .....
	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
50.	Quatre fils géodésiques de 24 m N°s 671, 672, 673 et 674 .....
	China National Machinery, Chine.
51.	Quatre fils géodésiques de 24 m N°s 675, 676, 677 et 678 .....
	Id.
52.	Quatre fils géodésiques de 24 m N°s 679, 680, 681 et 682 .....
	Id.
53.	Quatre fils géodésiques de 24 m N°s 683, 684, 685 et 686 .....
	Id.
54.	Etalon de 10 $\Omega$ N° 1809757 .....
	Laboratoire d'Océanographie Physique, Université de Paris VI, France.
55.	Etalon de 100 $\Omega$ N° 1809882 .....
	Id.
56.	Deux étalons de 1000 $\Omega$ N° 1805874 et 1807236 .....
	Id.
57.	Etalon de 25 $\Omega$ N° 219979 .....
	Id.

1974 (suite)

N°

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 58. | Kilogramme en "Nicral D" N° 79 .....                        | Standards Weights and Measures Division,<br>Colombo, Sri Lanka. |
| 59. | Série de masses N° 96 de 100 g à 1 mg ....                  | Id.   |
| 60. | Règle de 1 m N° 5847 en acier au nickel<br>(addition) ..... | Urząd pro Normalizacji, Prague,<br>Tchécoslovaquie.             |

1975

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 1.  | Règle de 1 m N° 157 en nickel<br>(addition) .....   | Survey of India, Dehra Dun (U.P.),<br>Inde.                               |
| 2.  | Règle de 1 m N° 10230 en invar<br>(addition) .....  | Organisation Européenne pour la Recher-<br>che Nucléaire, Genève, Suisse. |
| 3.  | Mètre Prototype N° 29 (addition) .....  | Suède.  |
| 4.  | Trois étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2357 K) N°S 697, 705 et 711 ..  | Office National des Mesures, Budapest;<br>Hongrie.                        |
| 5.  | Quatre étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2859 K) N°S 635, 660, 663<br>et 688 .....  | Id.   |
| 6.  | Deux étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2859 K) N°S 364/680 et<br>370/686 (addition) .....   | Id.   |
| 7.  | Mètre Prototype N° 3 (addition) .....   | Norvège.  |
| 8.  | Kilogramme Prototype N° 41 (addition) ....  | Tchécoslovaquie.  |
| 9.  | Kilogramme en "Nicral D" N° 43 .....  | Venezuela.  |
| 10. | Dix étalons de force électromotrice<br>N°S 1450222, 1450230, 1450231, 1450233,<br>1450234, 1450235, 1450236, 1450237,<br>1450238 et 1450239 ..... | Bureau Fédéral des Poids et Mesures,<br>Wabern, Suisse.                   |
| 11. | Quatre étalons de force électromotrice<br>N°S 37246(I), 37539(J), 38399(K) et<br>38400(L) .....   | Centre National d'Etudes Spatiales,<br>Toulouse, France.                  |
| 12. | Quatre étalons de force électromotrice N°S<br>415968 A et B ; 453093 A et B (add.) ....   | Institut Métrologique Tchécoslovaque,<br>Bratislava, Tchécoslovaquie.     |
| 13. | Quatre étalons de force électromotrice<br>N°S 39011, 39197, 39204 et 39242 .....  | Institute of Standards and Industrial<br>Research, Téhéran, Iran.         |
| 14. | Cinq calibres en acier de 5, 15, 25, 50<br>et 75 mm .....   | Bureau Fédéral des Poids et Mesures,<br>Wabern, Suisse.                   |
| 15. | Quatre étalons de force électromotrice<br>N°S 1, 2, 3 et 4 (addition) .....   | Det Norske Justervesen, Oslo,<br>Norvège.                                 |
| 16. | Etalon de force électromotrice N° 7416<br>(addition) .....  | Matériel Electro-Chimique, Paris<br>France.                               |
| 17. | Deux étalons de force électromotrice<br>N°S 7592 et 7593 .....  | Id.   |
| 18. | Trois étalons de force électromotrice<br>N°S 1450224, 1450226 et 1450229 .....  | Id.   |
| 19. | Cinq calibres en acier de 5, 15, 25, 50<br>et 75 mm (addition) .....  | Bureau Fédéral des Poids et Mesures,<br>Wabern, Suisse.                   |

1975 (suite)

N°		
20.	Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2045 K) N <sup>OS</sup> 661013, 661038, 661078, 661109 .....	Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris", Turin, Italie.
21.	Règle de 1 m N° 15566 en acier nickelé ...	Laboratoire National d'Essais, Paris, France.
22.	Six étalons de force électromotrice N <sup>OS</sup> 41042, 41045, 41347, 41351, 41353 et 41690 .....	Service de Métrologie, Bruxelles, Belgique.
23.	Deux étalons de 1 Ω N <sup>OS</sup> 1816192 et 1816196 .....	Id.
24.	Quatre étalons de force électromotrice N <sup>OS</sup> 36459, 36480, 36491 et 36511 .....	National Institute for Standards, Le Caire, Egypte.
25.	Trois étalons de 1 Ω N <sup>OS</sup> 1679692, 1681958 et 1684330 .....	Id.
26.	Fil géodésique de 24 m N° 482 (addition) .	Société Française de Stéréotopographie, Paris, France.
27.	Fil géodésique de 24 m N° 1320 (addition) .....	Id.
28.	Calibre en acier de 100 mm .....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
29.	Mètre Prototype N° 29 .....	Suède.
30.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2042 K) N <sup>OS</sup> 2491 et 2515 (addition) .....	Office de Normalisation et des Mesures, Prague, Tchécoslovaquie.
31.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2353 K) N <sup>OS</sup> 2487 et 2502 (addition) .....	Id.
32.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N <sup>OS</sup> 2335 et 2383 (addition) .....	Id.
33.	Deux étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N <sup>OS</sup> A8 et A9 (addition) .....	Id.
34.	Quatre étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N <sup>OS</sup> B1, B2, B8 et B9 (addition) .....	Id.
35.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2042 K) N° 83, 101 et 146 ....	Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
36.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2353 K) N <sup>OS</sup> 84, 86 et 145 ....	Id.
37.	Sept étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N <sup>OS</sup> 99, 103, 104, 106, 109, 110 et 142 .....	Id.

1976

N°		
1.	Mètre Prototype N° 3 .....	Norvège.
2.	Deux étalons de 1 $\Omega$ N°S 1617922 et 134900MF01 (addition) .....	Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques, Bruxelles, Belgique.
3.	Etalon de 0,1 $\Omega$ N° 134899MF01 (addition) .	Id.
4.	Deux étalons de force électromotrice N°S 378322 et 378351 (addition) .....	Id.
5.	Masse de 1 kg en acier inoxydable .....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
6.	Masse de 1 kg en acier inoxydable .....	Id.
7.	Règle de 1 m N° 15175 en invar .....	Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
8.	Deux thermomètres N°S 1499 et 1501 .....	Université Technique, Lingby, Danemark.
9.	Série de masse N° 90 de 500 g à 1 mg .....	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
10.	Deux étalons secondaires de température de couleur N°S 13AMG et 14AMG .....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
11.	Cinq étalons de masse de 5, 4, 3, 2 et 1 g .....	National Bureau of Standards, Washington, Etats-Unis d'Amérique.
12.	Etalon secondaire d'intensité lumineuse (2042 K) N° 2638 .....	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
13.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2353 K) N°S 2493 et 2521 (addition) .....	Id.
14.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N°S 131 et 2339 (addition) .....	Id.
15.	Quatre étalons secondaires de température de couleur N°S 1619, 2632, 2358 et 155 (addition) .....	Id.
16.	Trois étalons secondaires de flux lumi- neux (2787 K) N°S A6, A10 et A16 (addition) .....	Id.
17.	Deux étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N°S B10 et B16 .....	Id.
18.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N°S 3472, 3473 et 3476 .....	Statens Provningsanstalt, Stockholm, Suède.
19.	Quatre étalons secondaires de flux lumi- neux (2353 K) N°S F2 et F3, et (2787 K). N°S H2 et H3 (addition) .....	Id.
20.	Deux étalons secondaires de flux lumi- neux (2787 K) N°S 3463 et 2 .....	Id.
21.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N°S 13AMG et 14AMG (addition) .....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
22.	Etalon de 10000 $\Omega$ N° 144 .....	Institute of Standards and Industrial Research, Téhéran, Iran.

1976 (suite)

N°		
23.	Etalon de 1 $\Omega$ N° 143157 (addition) .....	Comité d'Etat de Normalisation, Sofia, Bulgarie.
24.	Deux étalons de 1 $\Omega$ N°s 076088 et 076095 .	Id.
25.	Etalon de 10000 $\Omega$ N° 148531 (addition) ...	Id.
26.	Etalon de 10000 $\Omega$ N° 114764 .....	Id.
27.	Etalon de 100000 $\Omega$ N° 125654 .....	Id.
28.	Etalon de 100000 $\Omega$ N° 129368 (addition) ..	Id.
29.	Cinq étalons de force électromotrice N°s 47997, 48008, 48021, 48034 et 48038 (addition) .....	Id.
30.	Huit calibres en acier de 5, 15, 25, 40, 50, 60, 75 et 90 mm .....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
31.	Six calibres en acier de 5, 15, 25, 50, 75 et 100 mm (addition) .....	Id.
32.	Onze calibres en acier de 5, 9, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 et 100 mm (add.) ..	Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
33.	Un calibre en acier de 100 mm .....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
34.	Cinq étalons de force électromotrice N°s C3313, C3314, C3315, C3316 et C3317 .	Institut National des Tests Industriels, Stockholm, Suède.
35.	Etalon de 10000 $\Omega$ N° 1769265 .....	Id.
36.	Deux étalons de 1 $\Omega$ N°s 1679697 et 1684332 .....	Id.
37.	Cinq étalons de force électromotrice N°s F1345, F1373, F1376, F1377 et F1378 .	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse.
38.	Etalon de 1 $\Omega$ N° 1755130 (addition) .....	Bundesamt für Eich- und Vermessungs- wesen, Vienne, Autriche.
39.	Trois étalons de 1 $\Omega$ N°s 509, 511 et 512 .	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, République Démocratique Allemande.
40.	Deux étalons de 10000 $\Omega$ N°s 1 Mgn et 2 Mgn .....	Id.
41.	Six étalons de force électromotrice N°s K630, K631, K632, K633, K634 et K635 .....	Id.
42.	Six étalons de force électromotrice N°s 42839, 42841, 42843, 42844, 42847 et 42851 .....	Id.

NOTES D'ETUDE

1974

2.	Deux masses de 1 kg .....	Ministère de l'Industrie et du Commerce du Mexique.
3.	Réglette décimétrique N° 68 en acier au nickel (addition) .....	Institut Métrologique Tchécoslo- vaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.

1975

N°

- |  |  |
|--|--|
| 1. Fil géodésique de 20 m N° 10991 ..... | Entreprise Thinet, Boulogne-<br>Billancourt, France. |
|--|--|

1976

- |   |   |
|---|---|
| 1. Dilatabilité de 2 longueurs de fil<br>géodésique de 24 m .....                                       | Organisation Européenne pour la<br>Recherche Nucléaire, Genève, Suisse.       |
| 2. Détermination de la position du zéro de<br>2 thermomètres Prolabo N°s 304 et 305<br>(addition) ..... | Société Anonyme Belge de Constructions<br>Aéronautiques, Bruxelles, Belgique. |

#### IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

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

En dehors des renseignements qu'il est amené à fournir sur les unités en général, les étalons et sur ses propres activités, le BIPM suit avec intérêt les progrès de l'adoption des mesures métriques (SI) dans les pays en cours de « metrication ». Les progrès réalisés de 1971 à 1975 ont fait l'objet d'un rapport présenté à la 15<sup>e</sup> CGPM en mai-juin 1975 <sup>(19)</sup>.

Depuis cette date, une décision importante a été prise en décembre 1975 par le Congrès américain et qui a conduit à la signature par le Président des États-Unis d'Amérique du « Metric Conversion Act » (Loi N° 94-168 du 23 décembre 1975). Cette loi constitue pour les États-Unis une étape décisive pour l'établissement d'un programme de conversion graduelle et volontaire au Système International d'Unités en remplacement des traditionnelles mesures anglo-saxonnes.

Depuis 1973-74, l'emploi du SI a été légalisé dans plusieurs pays métriques. De son côté, le BIPM prépare une 3<sup>e</sup> édition de sa brochure sur le SI.

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

— Collaboration effective ou par correspondance aux travaux poursuivis ou effectués par diverses organisations internationales et françaises sur les unités, la terminologie et certaines questions de métrologie dans le domaine des grandeurs physiques : Commission Électrotechnique Internationale, Commission Internationale de l'Éclairage, Organisation Internationale de Normalisation (ISO/TC12), International Commission on Radiation Units and Measurements, Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée, Organisation Internationale de Métrologie Légale, Association Française de Normalisation, Comité Électrotechnique Français, Comité National Français de l'Éclairage, etc.

— Du 14 au 18 avril 1975, une réunion d'un « Joint Working Group on Radiation Quantities » a eu lieu au BIPM entre des représentants de l'ICRU,

<sup>(19)</sup> MOREAU (H.), Les récents progrès du Système métrique. *Comptes rendus des séances de la 15<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (1975)*, pp. 107-125.

de la CIE, du Comité International de Photobiologie et du BIPM pour favoriser l'établissement d'un langage commun pour les grandeurs et unités dans le domaine des rayonnements, qu'ils soient électromagnétiques ou de particules. A. Allisy a contribué à la rédaction du Rapport de cette réunion.

— Du 15 au 19 mars 1976, réunion au BIPM du Comité « Quantities and units » de l'ICRU, avec la participation de A. Allisy.

— Participation de J. Terrien et P. Giacomo à la préparation du Colloque International sur l'Électronique et la Mesure (Paris, 26-30 mai 1975) et, avec A. Rytz, à la préparation de la « Fifth International Conference on Atomic Masses and Fundamental Constants » (AMCO 5), (Paris, 2-6 juin 1975); plusieurs membres du personnel du BIPM ont assisté à ces réunions.

— Collaboration permanente de J. Azoubib avec le personnel du Bureau International de l'Heure à l'élaboration du Temps Atomique International et à l'établissement des Rapports annuels du BIH, conformément aux arrangements conclus entre le CIPM et le BIH à la suite de l'autorisation donnée par la 14<sup>e</sup> CGPM (1971).

— Participation de plusieurs membres du personnel (J. Terrien, P. Giacomo, A. Allisy, G. Leclerc, J. Bonhoure) aux réunions de 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 effectué sur invitation d'un organisme international, national ou privé, et dont les frais ont été pris en charge par cet organisme, totalement (++) ou partiellement (+).

Le directeur du BIPM a effectué les voyages suivants :

— le 28 février 1975, avec P. Giacomo, il a participé à la réunion du bureau du CIPM à Bruxelles, et visité le laboratoire de métrologie dirigé par Mme Henrion;

— le 5 juin 1975, il a reçu à Cambridge, Angleterre, le diplôme de docteur *honoris causa* de l'Université, donné une conférence au laboratoire Cavendish et visité ce laboratoire dirigé par A. H. Cook;

— le 6 juin 1975, il a présenté à la conférence AMCO 5 (Paris) un exposé sur le sujet « Constantes physiques et Métrologie »;

— du 18 août au 3 septembre 1975, il a participé, à Grenoble, France, avec A. Sakuma, à la réunion de l'Association Internationale de Géodésie, puis, avec G. Girard, à la 16<sup>e</sup> Assemblée Générale de l'Union Internationale de Géodésie et Géophysique. G. Girard a présenté les derniers résultats des mesures de l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique, à l'occasion d'un symposium organisé par l'Association Internationale des Sciences Physiques de l'Océan;

— du 3 au 18 septembre 1975, il a participé, avec P. Giacomo et J. Bonhoure, à Teddington, à la réunion du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, puis à Londres, à la 18<sup>e</sup> session de la Commission Internationale de l'Éclairage, avec J. Bonhoure et H. Moreau++, secrétaire du Comité TC-1.1 de cette Commission;

— du 1<sup>er</sup> au 3 octobre 1975, il a participé, avec A. Allisy++ et A. Sakuma, aux réunions du Club de Métrologie de l'Europe de l'Ouest à Stockholm et à Oslo. A. Allisy, secrétaire du Groupe « Heat transfer », a assuré la

rédaction du Rapport de ce Groupe; A. Sakuma a fait une conférence sur la gravimétrie;

— du 19 au 23 mai 1976, il a assisté à Genève à la réunion d'un Groupe de travail de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) chargé d'étudier sur le plan international les questions relatives aux étalons matériels de référence, et a fait une visite à Mr Stanford, Secrétaire Général de la Commission Électrotechnique Internationale;

— le 28 mai 1976, il a participé, près de Karlsruhe (Rép. Féd. d'Allemagne), au Conseil d'Administration de la Commission Internationale de l'Éclairage dont il est le trésorier;

— du 28 juin au 2 juillet 1976, avec P. Giacomo et G. Leclerc, il a assisté à la Conférence on Precision Electromagnetic Measurements à Boulder, Colorado, et visité les laboratoires du NBS. G. Leclerc en a profité pour visiter le NRC (Ottawa) et le NBS (Gaithersburg puis Boulder) dans les jours précédant la Conférence;

— du 3 au 5 juillet 1976, il a fait une visite à L. Howlett, ancien président du CIPM, et visité les laboratoires du NRC à Ottawa, Canada;

— du 12 au 24 juillet 1976, il fut, ainsi que P. Giacomo et A. Allisy, l'un des professeurs de l'École d'Été sur la métrologie organisée à Varenna<sup>++</sup> par la Société Italienne de Physique; il y a donné quatre leçons sur la métrologie et les systèmes d'unités. A. Allisy a fait cinq conférences sur « Fundamentals of statistics applied to metrological data analysis ». P. Giacomo a donné six leçons sur la métrologie des longueurs; il a en outre rempli les fonctions de directeur scientifique conjointement avec A. Ferro Milone et animé trois séminaires sur les longueurs, les masses et l'état des surfaces.

— du 24 août au 2 septembre 1976, il a participé aux travaux de diverses commissions de l'Union Astronomique Internationale réunie en Assemblée Générale à Grenoble.

P. Giacomo s'est rendu :

— du 2 au 7 décembre 1974 à la PTB (Braunschweig) pour y visiter les laboratoires;

— du 17 au 19 juin 1975 à Novossibirsk<sup>+</sup> (U.R.S.S.) pour assister à la Conférence sur les lasers et y présenter un exposé « Lasers et Métrologie »;

— du 23 au 27 juin 1975 à Megève (France) pour une Conférence sur les lasers;

— du 30 novembre au 4 décembre 1975 à Moscou<sup>+</sup>, pour la célébration du cinquantième du Comité des Normes de l'U.R.S.S., où il a fait une conférence sur « Le travail du BIPM »;

— les 11 février et 10 mars 1976 à la Faculté des Sciences de Caen<sup>++</sup> (France), où il a présenté deux conférences sur « la Métrologie »;

— les 24 mai et 10 juin 1976 à la Faculté des Sciences de Marseille<sup>++</sup>, où il a fait quatre conférences sur « la Métrologie »;

— du 5 au 8 juillet 1976 à Copper Mountain (États-Unis d'Amérique), au « Symposium on Time and Frequency », où il a présenté une conférence sur « la Métrologie, compromis entre logique et pratique, pour une meilleure prévision des phénomènes »;

— du 6 au 8 septembre, à l'Université de Montpellier<sup>++</sup>, au Symposium sur l'enseignement de la Physique où il a présenté une conférence « Mesures et incertitude ».

A. Allisy a participé aux réunions suivantes :

— du 23 septembre au 4 octobre 1974, à Varenna<sup>++</sup>, en tant que membre du comité scientifique : International Course on Ionizing Radiation Metrology; il a fait quatre conférences sur le sujet « Quantities and Units ».

— du 21 au 26 septembre 1975 : Fifth Symposium on Microdosimetry, organisé à Verbania Pallanza (Italie)<sup>++</sup> par la Commission des Communautés Européennes, Direction générale de la recherche, de la science et de l'éducation; il a prononcé la conférence d'ouverture;

— du 16 au 25 novembre 1975, à Washington<sup>++</sup>, « Main Commission ICRU »; il en a profité pour visiter le NBS les 26 et 28 novembre;

— du 19 au 25 septembre 1976, à Bruxelles<sup>++</sup>, « Main Commission ICRU ».

A. Rytz a assisté à Bratislava<sup>+</sup>, du 5 au 8 novembre 1974, au Symposium international de métrologie, INSYMET 74. Il s'est rendu ensuite à Vienne (Autriche) où il a rencontré Mr H. Houtermans au laboratoire de l'AIEA à Seibersdorf. Il a finalement visité le Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen;

— il a passé la journée du 11 juillet 1975 au Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse du CNRS (Orsay) pour discuter des problèmes concernant la détermination de l'énergie de particules chargées;

— du 16 au 18 juin 1976, il a participé à la troisième réunion de l'« International Committee for Radioactivity Metrology » à Budapest. Il a ensuite visité l'« Institut für Radiumforschung und Kernphysik » à Vienne (21 juin) et le laboratoire de mesure des radionucléides de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique à Seibersdorf, près de Vienne (22 juin).

— A. Rytz et J. W. Müller ont visité le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (Saclay), le 9 juin 1976, et ont fait des exposés intitulés respectivement « Mesure du <sup>85</sup>Sr par comptage  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  » et « Une nouvelle méthode pour la mesure d'impulsions secondaires ».

G. Leclerc a présenté, le 26 mai 1975, au Colloque International sur l'Électronique et la Mesure (Paris), une conférence sur « Unités et étalons électriques. Rôle du BIPM »;

— il s'est rendu à Toulouse (France) le 7 novembre 1975 à l'occasion de l'inauguration des nouveaux laboratoires de métrologie du Centre d'Études et de Recherches de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace;

— le 20 mai 1976, il a transporté à Teddington l'une des enceintes thermorégulées du BIPM et a rapporté à Sèvres une enceinte du même type appartenant au NPL.

A. Sakuma a effectué les voyages suivants :

— du 15 au 21 mai 1975 et du 13 au 23 avril 1976, à l'International Latitude Observatory (Mizusawa, Japon)<sup>+</sup> pour diriger la création d'une station gravimétrique;

— le 31 janvier 1975, du 7 au 9 octobre 1975 et du 27 au 28 janvier 1976, à l'IMGC (Turin) pour l'établissement du projet concernant la gravimétrie;

— du 29 juin au 12 juillet 1975<sup>+</sup>, aux Air Force Cambridge Research Laboratories (Boston), à la Defense Mapping Agency (Washington), au

NBS (Boulder) et au Geographical Survey Institute (Tokyo) pour des conférences sur la gravimétrie et ses applications;

— le 15 janvier et le 23 juillet 1975, à l'Observatoire Royal de Belgique (Uccle) pour l'analyse des marées gravimétriques;

— du 15 au 16 octobre 1975, à la Technische Hochschule, Darmstadt<sup>+</sup>, pour une conférence sur l'emploi du gravimètre absolu transportable;

— du 25 au 30 novembre, du 17 au 20 décembre 1975 et du 20 au 26 janvier 1976, en Italie pour l'établissement d'un projet du réseau gravimétrique absolu (euro-africain) et pour des expériences préliminaires de mesure absolue de la pesanteur à Rome, Naples, Catane et Pino;

— du 16 au 18 février 1976, à Luxembourg et à Bruxelles pour une conférence sur la géophysique et en vue de l'établissement d'une station gravimétrique absolue;

— le 16 juin, au NPL (Teddington) pour la détermination absolue de la pesanteur et pour des liaisons gravimétriques;

— du 8 au 9 juillet 1976, à l'École Polytechnique Fédérale, Zurich<sup>+</sup>, pour une conférence concernant l'emploi futur de la gravimétrie absolue dans les études géophysiques.

Du 27 octobre au 8 novembre 1974, J. Hamon et J. Bonhoure sont allés à Moscou<sup>++</sup> pour assurer le réglage et la mise au point d'un manobaromètre interférentiel identique à celui du BIPM, puis à Leningrad<sup>+</sup> pour visiter diverses sections de l'IMM.

J. Bonhoure s'est rendu les 14 et 15 octobre 1974 au NPL où il a visité diverses sections, en particulier celle de thermométrie;

— du 9 au 11 avril 1975, il a participé à Teddington à la troisième Conférence Européenne de Thermométrie;

— les 14 et 15 octobre 1975, il s'est rendu à Turin où il a visité l'IMGC et l'IEN;

— enfin, dans le cadre de la session de perfectionnement FORPHESCO organisée au LCIE, il a fait un exposé sur la photométrie le 19 novembre 1975.

J. W. Müller, qui avait été chargé de l'analyse de la comparaison internationale de dosimétrie de neutrons (INDI), a participé à trois réunions du comité de l'ICRU responsable du rapport final de cette comparaison. Ces séances de travail ont eu lieu :

— le 5 octobre 1974 à Neuherberg (Munich, Rép. Féd. d'Allemagne)<sup>++</sup>,

— du 10 au 11 mars 1975 à Bethesda (Maryland, États-Unis)<sup>+</sup>,

— du 17 au 18 mai 1976 à Rijswijk (La Haye, Pays-Bas).

Du 20 au 22 septembre 1976, il a été invité à la PTB<sup>++</sup> (Braunschweig) où il a fait une conférence intitulée « Wann treffen Zufallsimpulse ein? » et dirigé un séminaire sur des problèmes concernant les types d'erreurs et leur combinaison.

T. J. Witt et D. Reymann se sont rendus à Braunschweig du 7 au 24 avril 1975 pour effectuer des comparaisons entre les dispositifs Josephson de la PTB et du BIPM.

T. J. Witt a présenté, le 26 mai 1975, au Colloque International sur

l'Électronique et la Mesure (Paris), une conférence sur « Effet Josephson et étalon de force électromotrice ».

Avec D. Reymann, il a présenté, le 4 juin 1975, à la conférence AMCO 5 (Paris), un exposé sur la détermination de  $2e/h$  au BIPM.

Il a séjourné au NBS (Gaithersburg) du 15 mars au 19 mai 1976 pour construire, avec les conseils techniques de la « Division of Electricity », une enceinte thermorégulée pour piles étalons. Le 28 avril, il a fait une conférence sur « The Josephson effect voltage standard at the BIPM ».

Les 25 mai et 1<sup>er</sup> juin 1976, il a donné, à l'Institut d'Électronique Fondamentale de l'Université de Paris XI (Orsay), deux cours sur « L'effet Josephson et quelques applications en métrologie ».

Dans le cadre de la comparaison des mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques, V. D. Huynh s'est rendu aux laboratoires suivants :

— NBS (États-Unis d'Amérique), du 10 au 16 mars 1975,

— ETL (Japon), du 20 au 31 octobre 1975,

— PTB (Rép. Féd. d'Allemagne), du 1<sup>er</sup> au 12 décembre 1975.

Il a assisté, du 3 au 7 mars 1975, à Washington, à la conférence sur « Nuclear cross sections and technology ».

G. Girard a participé, le 7 novembre 1974, à une réunion organisée à Paris par le Bureau National de Métrologie français à la suite de la Recommandation de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée pour une nouvelle détermination de la masse volumique de l'eau.

À la demande du Président de la Commission I.4 de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée, il s'est rendu, du 8 au 10 avril 1975, à Schliersee (Rép. Féd. d'Allemagne) à une réunion des groupes de travail de l'Association Internationale des Propriétés de la Vapeur, où il a exposé le point de vue de cette Commission sur la table provisoire de la masse volumique du SMOW (Standard Mean Ocean Water);

— du 3 au 6 septembre 1975, il a participé, à Madrid, aux réunions de la Commission I.4 (Physicochemical Measurements and Standards) et assisté à celles de la Sous-Commission I.4.1 (Calibration and Test Materials) de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée; il a exposé les travaux que comptent réaliser certains laboratoires à la suite de la Recommandation de cette Union pour une nouvelle détermination de la masse volumique de l'eau;

— le 21 novembre 1975, il a fait un exposé devant les membres de la Société Française des Thermiciens sur le problème de la masse volumique de l'eau;

— le 23 juin 1976, il s'est rendu à l'Institut de Berlin de la PTB pour reprendre l'hygromètre Hygrodynamic après son étalonnage et a pu s'entretenir de problèmes relatifs à l'hygrométrie avec les responsables de cet Institut. Au retour, il a visité les 24 et 25 juin certaines sections de la PTB (Braunschweig) et en particulier le laboratoire des masses;

— du 8 au 10 septembre 1976, il a participé à une réunion sur « Stable Isotope Standards and Intercalibration in Hydrology and Geochemistry » organisée par l'AIEA, à Vienne (Autriche).

J.-M. Chartier et D. Avrons se sont rendus du 5 au 17 mai 1975 au

NPL (Teddington) et du 12 au 25 mars 1976 à la PTB (Braunschweig), où ils ont transporté plusieurs lasers du BIPM asservis sur l'iode ou le méthane, et tous les équipements annexes, pour y effectuer des comparaisons de fréquence avec les lasers construits dans ces laboratoires.

Du 12 au 24 juillet 1976, J.-M. Chartier<sup>++</sup> a assisté, comme auditeur, à l'École d'Été sur la métrologie à Varenna (Italie).

J. Azoubib a participé, du 24 août au 2 septembre 1976, à la 16<sup>e</sup> Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale, à Grenoble (France).

H. Moreau a assisté, du 26 au 30 avril 1976, à Budapest<sup>+</sup>, à l'invitation de l'Office National des Mesures de Hongrie, aux manifestations qui ont marqué le centenaire de l'entrée en vigueur de la loi de 1874 introduisant le Système métrique en Hongrie et a présenté une adresse de félicitations au nom du BIPM; il a participé ensuite à la conférence sur « The role of measurement standards in human civilization » au cours de laquelle il a présenté un exposé sur la Convention du Mètre et le BIPM. Lors du voyage aller, il a fait une rapide visite (23 avril) au Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen à Vienne (Autriche).

Dans le cadre de l'information du personnel du BIPM, les exposés suivants ont été présentés (*voir* Rapports internes, p. 101):

- par J. Azoubib, le 26 novembre 1974: Caractérisation des fluctuations aléatoires d'un processus temporel par la variance d'Allan;
- par J. Bonhoure, le 19 décembre 1975: Le point triple de l'argon;
- par P. Giacomo, le 13 avril 1976: Faisceaux gaussiens et interférométrie.

### Visites et stages au BIPM

Plusieurs visites ont été organisées pour des groupes de chercheurs, ingénieurs ou étudiants. Parmi les nombreux visiteurs, professeurs, physiciens ou 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 Mlle A.-M. Roux (Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Paris) poursuivent leur participation au travail du groupe des rayons X et  $\gamma$  de la section des rayonnements ionisants.

Mr R. Felder (INM, Paris) poursuit un stage de longue durée depuis janvier 1974 dans la section des lasers; il a participé activement à la mise au point de diverses améliorations des dispositifs d'asservissement de lasers.

Mlle S. Lacroix (INM, Paris) a effectué, dans la même section, plusieurs stages d'une durée totale d'environ deux mois, à partir de décembre 1974.

Mr P. Bouchareine (INM, Paris) nous a fait plusieurs visites au sujet des comparaisons entre nos lasers asservis sur l'iode et ceux de l'INM.

A la suite des comparaisons de lasers effectuées en mars 1974 avec le Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay, France), nous avons maintenu des contacts étroits avec MM. F. Hartmann, A. Brillat et P. Cerez de ce laboratoire; ils nous ont rendu visite à plusieurs reprises. Des informations

et renseignements techniques sur la construction des lasers asservis ont été fournis à plusieurs personnes, notamment MM. J. Rutman (Laboratoire Primaire Temps et Fréquences, Paris), J. Sledzinski (Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie), Turner (NPRL, Pretoria), Sacconi, Bertinnetto, Zosi (IMGC, Turin), Hajdukovic (Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade) et Kerner (Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne).

MM. G. Cerutti et L. Cannizzo (IMGC, Turin) ont effectué plusieurs stages d'une durée totale d'environ quatre mois pour la mise au point du gravimètre absolu transportable.

Mr Menaché (Institut Océanographique, Paris) est venu au BIPM à de nombreuses reprises pour des questions relatives à la masse volumique de l'eau.

Des renseignements sur les mesures de masse ont été fournis à MM. Kobayashi (NRLM, Tokyo), Zae Quan Kim (Corée), Nedeltchev (Bulgarie), Turner (NPRL, Pretoria), Ohlon (Suède) et Thomas (Danemark).

Les personnalités suivantes, intéressées par la réalisation de l'échelle de Temps Atomique International, ont visité le Bureau International de l'Heure : MM. A.O. McCoubrey (Director, « Institute for Basic Standards », NBS, Gaithersburg), le 20 novembre 1975; Åke Thulin (United Nations Project Manager), le 29 décembre 1975; A. Chi (NASA Goddard Space Flight Center), les 2 et 3 février 1976; A. Ferro Milone et S. Leschiutta (IEN, Turin), le 20 avril 1976; J. Groch (Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava), le 4 mai 1976; M. Kalau et W. Schlesok (ASMW, Berlin), le 6 mai 1976; H. Enslin (DHI, Hamburg, Président de la Commission 31 de l'UAI), le 19 mai 1976; G. Rovera (IEN, Turin), les 19 et 20 mai 1976.

Mr S. Wiryosimin (Bandung Reactor Centre, Bandung) a visité les laboratoires des rayonnements ionisants et a emporté deux sources étalonnées de  $^{60}\text{Co}$ , le 23 octobre 1974.

Mr J. Helmcke (PTB, Braunschweig) a séjourné au BIPM du 30 octobre au 8 novembre 1974; il a apporté un laser de la PTB asservi sur l'iode pour effectuer des comparaisons par battements avec ceux du BIPM.

Mr V. Navrátil (Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava), s'est spécialement intéressé aux mesures électriques, aux mesures de longueur et aux lasers, du 18 au 22 novembre 1974.

Mme Vaillard (INM, Paris) a participé du 22 octobre au 21 novembre 1974 à diverses études sur une cellule scellée à point triple de l'argon.

Mr Z. Q. Kim (National Industrial Standards Research Institute, Séoul) s'est intéressé à la section des rayonnements ionisants, le 27 novembre 1974.

Mr J. Hizo (Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest) est venu le 9 décembre 1974 apporter deux chambres de transfert pour la comparaison de l'étalon d'exposition de son laboratoire avec celui du BIPM (rayons X d'énergie moyenne) et discuter de cette comparaison.

Mr G.H. Hofmeester (Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, Utrecht) a participé du 9 au 13 décembre 1974 à la comparaison de l'étalon d'exposition de son laboratoire avec celui du BIPM (rayons X d'énergie moyenne). Le 25 novembre 1975, il est venu discuter de ses mesures récentes relatives à l'influence de l'humidité sur le courant des chambres d'ionisation à cavité.

Mr W. Oetzmann (PTB, Braunschweig), qui avait envoyé au préalable sa chambre de transfert, est venu du 11 au 13 mars 1975 participer aux dernières mesures de la comparaison de l'étalon d'exposition de son laboratoire avec celui du BIPM (rayons X d'énergie moyenne) et discuter des résultats de cette comparaison.

Mr J.E. Burns (NPL, Teddington) est venu du 17 au 24 mars 1975 pour la comparaison de l'étalon d'exposition de son laboratoire avec celui du BIPM (rayons X d'énergie moyenne).

Mr Kochsiek (PTB, Braunschweig) a visité le BIPM les 21 et 23 avril 1975 et y a fait un stage à la section des masses du 15 au 23 septembre 1975 à l'occasion de la détermination de quatre Kilogrammes appartenant à la PTB.

Mr V. Bower (NBS, Gaithersburg), qui effectue une détermination de la constante de Faraday, s'est préoccupé de la mesure précise des masses (28 mai 1975), ainsi que Mr B. Taylor, du même laboratoire (30 mai 1975).

MM. B. Taylor, T. Finnegan, E. Williams (NBS, Gaithersburg), V. Kose (PTB), A. Nakamura (ETL) ont analysé avec nous les problèmes concernant la mise en œuvre de l'effet Josephson et la conservation du volt. La question du couplage entre dispositif Josephson et ondes hyperfréquences extérieures a été particulièrement discutée (juin 1975).

Le 2 juin 1975, Mr Luther (NBS, Gaithersburg) a rapporté au BIPM une cuve à iode 129 remplie au NBS.

MM. H. Vonach (Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Wien) et E. Huenges (Technische Universität München) se sont particulièrement intéressés au spectromètre de particules  $\alpha$ , le 3 juin 1975.

Le 9 juin 1975, Mr R. Deslattes (NBS, Gaithersburg) a visité diverses sections du BIPM et a présenté un exposé, très apprécié, sur quelques mesures récentes de très haute précision en vue de la nouvelle détermination du nombre d'Avogadro.

Mlle Gentile et Mr Perrone (IEN, Turin) ont pris part, les 8 et 9 juillet 1975, à l'étalonnage d'étalons photométriques appartenant à leur laboratoire.

Mr I.K. Harvey nous a décrit le comparateur cryogénique qu'il utilise au NML dans son installation Josephson (18 septembre 1975).

Mr Stuller, directeur de l'Institut Métrologique Tchécoslovaque (Bratislava), et une vingtaine de ses collaborateurs ont visité le BIPM le 18 septembre 1975, notamment les sections des longueurs, masses, lasers, barométrie, interférométrie et gravimétrie.

Mr K. Hosoyama (International Latitude Observatory, Mizusawa) a effectué des stages périodiques à la section de gravimétrie du 24 septembre au 30 octobre 1975, notamment pour se renseigner sur le laser destiné à son observatoire et dont la construction était alors en cours.

Mr S. Lewandowski (Institute of Physics, Polish Academy of Sciences) nous a rendu visite en octobre 1975 pour discuter en particulier de l'application de l'effet Josephson à la conservation du volt.

Mr S.J. Bennett (NPL, Teddington) a visité, le 21 octobre 1975, les sections des longueurs et des lasers.

MM. J.C. Tichtinsky et M. Gay (Office National des Études et des Recherches Aérospatiales, Chatillon, France) ont fait un stage du 3 au 12 novembre 1975 à la section de gravimétrie pour l'étude d'un inclinomètre de haute sensibilité.

Mr Z. Referowski (Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie) a discuté, le 6 novembre 1975, de ses mesures d'ionisation dans l'air humide et de la possibilité de les répéter dans le faisceau de rayons X du BIPM.

Mr R. Loevinger (NBS, Gaithersburg) est venu le 7 novembre 1975 apporter les chambres de transfert pour la comparaison NBS-BIPM d'étalons d'exposition pour les rayons X d'énergie moyenne. Il a discuté de cette comparaison lorsqu'il est venu reprendre les chambres le 19 novembre 1975; Mr S.R. Domen, qui l'accompagnait, nous a donné d'utiles informations sur le calorimètre du NBS qui participera aux comparaisons internationales d'étalons de dose absorbée.

Le 10 novembre 1975, Mr Grasshoff, Président du Joint Panel on Oceanography Tables and Standards, s'est intéressé à notre installation utilisée pour les mesures concernant la masse volumique de l'eau.

Les 12 et 13 novembre 1975, Mr Sprent (services géodésiques de Tasmanie) s'est intéressé vivement à nos sections des longueurs, lasers et masses.

Mr A.O. McCoubrey (NBS, Gaithersburg) a visité la section des rayonnements ionisants, le 19 novembre 1975.

Mlle A. Peuto (IMGC, Turin), a fait un stage à la section des masses du 1<sup>er</sup> au 12 décembre 1975 pour se familiariser avec les mesures de masse volumique.

Mr R.H. Rodriguez-Pasques (Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires) a pris contact avec les laboratoires des rayonnements ionisants, le 19 janvier 1976, et nous a informés sur son activité.

Mr A. Oboukhov (Gosstandart, Moscou) a visité en détail les différentes sections du BIPM, du 18 février au 17 avril 1976. Il a discuté directement avec les intéressés des caractéristiques du matériel scientifique que l'URSS pourrait éventuellement fournir au BIPM. Cela devrait permettre de résoudre le problème de l'utilisation des contributions de l'URSS, dont une partie est payable en monnaie nationale depuis 1969.

Mr P. Salvadori (Istituto Superiore di Sanita, Roma) a pris contact le 25 mars 1976 avec la section des rayons X et  $\gamma$  en vue de comparaisons d'étalons d'exposition.

Mr L. Lindborg (Statens Stralskyddinstitut, Stockholm) a participé du 26 avril au 7 mai 1976 à l'étalonnage de chambres de transfert de son laboratoire (rayons X de faible énergie et rayons X d'énergie moyenne). Il a profité de ce stage pour effectuer une visite d'ensemble du BIPM.

MM. W. Schlesok et M. Kalau (ASMW, Berlin) ont discuté avec nous du problème de la conservation de l'ohm et du volt à l'ASMW et au BIPM (4 et 5 mai 1976).

Les 15 et 16 mai 1976, MM. A.J. Wallard et B. Joliffe (NPL, Teddington) sont venus discuter avec nous des comparaisons de lasers asservis sur l'iode ou le méthane effectuées précédemment à la PTB.

Mr J. Sawicki (Université Technique de Gdansk) a effectué un stage à la section d'électricité du 17 au 25 mai 1976.

Mr I. Marson (Istituto di Miniere e Geofisica Applicata, Trieste) a effectué un stage du 18 mai au 2 juin 1976 à la section de gravimétrie pour se familiariser avec la manipulation du gravimètre absolu.

Le 22 juin 1976, Mr J.A. Hall (JILA et NBS, Boulder) s'est entretenu avec nous de questions concernant les lasers et la gravimétrie.

Du 23 juin au 2 juillet 1976, MM. F. Bertinetto et B.I. Rebaglia (IMGC,

Turin) ont séjourné au BIPM pour participer aux comparaisons par battements entre leurs lasers asservis sur l'iode et les nôtres.

Le 28 juin 1976, Mr Ambler, acting director du NBS et président du CCEMRI, est venu au BIPM pour s'informer sur la situation des travaux de la section des rayonnements ionisants.

Mr Van Oorschot (SCIR, Afrique du Sud) a séjourné à la section lasers le 1<sup>er</sup> et le 2 septembre 1976; il s'est particulièrement intéressé à nos lasers asservis sur l'iode.

MM. Kaarls et Harmans (Van Swinden Laboratorium, Pays-Bas) ont visité la section d'électricité le 22 septembre 1976 et ont discuté avec nous de l'application de l'effet Josephson à la conservation du volt; le 26 septembre, nous leur avons remis six plaquettes portant une dizaine de jonctions, pour les aider à mettre en œuvre l'effet Josephson dans leur laboratoire.

V. — COMPTES

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans les « Rapports Annuels sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures » relatifs aux exercices 1974 et 1975.

A. — EXERCICE 1974

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES	
	francs-or
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1974 .....	2 979 898,93
Recettes budgétaires .....	4 533 736,70
Différences de change .....	238 245,39
Total .....	<u>7 751 881,02</u>

DÉPENSES	
	francs-or
Dépenses budgétaires .....	3 294 894,40
Versement au compte « Remboursements aux États » .....	8 622,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1974 .....	<u>4 448 364,62</u>
Total .....	<u>7 751 881,02</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :		
		francs-or
au titre de l'exercice 1974 .....	3 266 425,00	} 4 145 324,00
au titre des exercices antérieurs .....	483 792,00	
au titre de l'exercice 1975 .....	395 107,00	
Intérêts des fonds .....		186 517,33
Taxes de vérification .....		14 376,36
Remboursements des taxes sur les achats .....		124 304,01
Recettes diverses .....		<u>63 215,00</u>
Total .....		<u>4 533 736,70</u>

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 .....	1 585 552,96	1 610 000	24 447,04	—
2. Allocations familiales .....	96 775,59	95 000	—	1 775,59
3. Sécurité sociale .....	100 683,37	105 000	4 316,63	—
4. Assurance-accidents .....	15 322,51	16 000	677,49	—
5. Caisse de Retraites .....	200 000,00	200 000	—	—
	1 998 334,43	2 026 000		
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Bâtiments (entretien) .....	220 658,96	161 000	—	59 658,96
2. Mobilier .....	6 213,79	5 000	—	1 213,79
3. Laboratoires et ateliers .....	403 588,68	500 000	96 411,32	—
4. Chauffage, eau, énergie électrique .....	84 152,73	105 000	20 847,27	—
5. Assurances .....	3 449,70	4 500	1 050,30	—
6. Impressions et publications .....	36 979,64	53 000	16 020,36	—
7. Frais de bureau .....	49 346,12	48 000	—	1 346,12
8. Voyages .....	48 333,08	40 000	—	8 333,08
9. Bureau du Comité .....	4 500,00	13 500	9 000,00	—
	857 222,70	930 000		
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires .....	312 666,19	525 000	212 333,81	—
2. Atelier de mécanique .....	19 285,06	30 000	10 714,94	—
3. Atelier d'électronique .....	40 992,70	33 000	—	7 992,70
4. Bibliothèque .....	10 262,36	32 000	21 737,64	—
	383 206,31	620 000		
D. Frais divers et imprévus .....	56 130,97	188 000	131 869,03	—
E. Utilisation de monnaies non convertibles .....	0	160 000	160 000,00	—
Totaux .....	3 294 894,41	3 924 000	709 425,83	80 320,24

**Compte II. — Caisse de retraites**

RECETTES	
	francs-or
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1974 .....	544 116,71
Intérêts des fonds .....	34 537,04
Retenues sur les traitements .....	82 544,26
Virement du Compte I .....	<u>200 000,00</u>
Total .....	<u>861 198,01</u>

DÉPENSES	
	francs-or
Pensions servies .....	178 778,53
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1974 .....	<u>682 419,48</u>
Total .....	<u>861 198,01</u>

**Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique**

RECETTES

Ce compte n'a enregistré en 1974 aucun mouvement en recette ou en dépense. Comme au 1<sup>er</sup> janvier 1974, il se présente ainsi :

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1974 .....	<u>39 465,59</u>

**Compte IV. — Caisse de prêts sociaux**

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1974 .....	4 316,88
Virement budgétaire (33 553 FF) .....	18 491,39
Amortissements partiels des prêts (45 599,25 FF) .....	25 130,20
Total .....	<u>47 938,47</u>

DÉPENSES

	francs-or
Prêts consentis (74 000 FF) .....	40 782,13
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1974 (12 985,32 FF) .....	<u>7 156,34</u>
Total .....	<u>47 938,47</u>

**BILAN**

AU 31 DÉCEMBRE 1974

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	4 448 364,62
Compte II « Caisse de Retraites » .....	682 419,48
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » .....	39 465,59
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	7 156,34
	<hr/>
ACTIF NET .....	5 177 406,03
	<hr/> <hr/>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française .....	1 524 116,23
2° » U.S.A. ....	1 390 161,66
3° » suisse .....	419 212,04
4° » britannique .....	16 164,47
5° » allemande .....	1 805 801,86
6° » hongroise .....	12 270,48
7° » polonaise .....	59 430,34

b. Espèces en caisse .....

25 518,95

Total .....

5 252 676,03

A déduire :

Provision pour remboursements aux États .....

75 270,00

ACTIF NET .....

5 177 406,03

---

---

B. — EXERCICE 1975

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1975 .....	4 448 364,62
Recettes budgétaires .....	4 576 188,23
Différences de change .....	122 193,77
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États » .....	43 300,00
	<hr/>
Total .....	9 190 046,62
	<hr/> <hr/>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires .....	3 733 551,38
Versement au compte « Remboursement aux États » .....	1 180,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1975 .....	5 455 315,24
	<hr/>
Total .....	9 190 046,62
	<hr/> <hr/>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :

	francs-or
au titre de l'exercice 1975 .....	3 426 243,00
au titre des exercices antérieurs .....	276 762,00
au titre de l'exercice 1976 .....	338 296,00
	) 4 041 301,00
Intérêts des fonds .....	296 135,73
Taxes de vérification .....	17 194,07
Remboursements des taxes sur les achats .....	143 984,25
Recettes diverses .....	77 573,18
	<hr/>
Total .....	4 576 188,23
	<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 .....	1 781 476,63	1 913 000	131 523,37	—
2. Allocations familiales .....	117 035,00	119 000	1 965,00	—
3. Sécurité sociale .....	133 615,00	127 000	—	6 615,00
4. Assurance-accidents .....	17 894,00	18 000	106,00	—
5. Caisse de Retraites .....	240 000,00	240 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Bâtiments (entretien) .....	207 379,72	160 000	—	47 379,72
2. Mobilier .....	2 318,08	6 000	3 681,92	—
3. Laboratoires et ateliers .....	484 088,12	520 000	35 911,88	—
4. Chauffage, eau, énergie électrique .....	79 451,25	115 000	35 548,75	—
5. Assurances .....	10 740,94	6 000	—	4 740,94
6. Impressions et publications .....	60 211,58	60 000	—	211,58
7. Frais de bureau .....	63 441,91	52 000	—	11 441,91
8. Voyages .....	63 690,29	45 000	—	18 690,29
9. Bureau du Comité .....	4 833,33	14 000	9 166,67	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires .....	286 763,36	505 000	218 236,64	—
2. Atelier de mécanique .....	56 851,28	10 000	—	46 851,28
3. Atelier d'électronique .....	13 429,09	55 000	41 570,91	—
4. Bibliothèque .....	29 705,03	25 000	—	4 705,03
D. Frais divers et imprévus .....	80 626,77	180 000	99 373,23	—
E. Utilisation de monnaies non convertibles .....	0	110 000	110 000,00	—
F. Ajustement de la Réserve de Trésorerie .....	(655 448,62)	109 000	—	—
Totaux .....	3 733 551,38	4 389 000	687 084,37	140 635,75

**Compte II. — Caisse de retraites**

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1975 .....	682 419,48
Intérêts des fonds .....	54 647,38
Retenues sur les traitements .....	94 164,18
Virement du Compte I .....	240 000,00
Total .....	<u>1 071 231,04</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies .....	215 834,64
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1975 .....	855 396,40
Total .....	<u>1 071 231,04</u>

**Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique**

Ce compte n'a enregistré en 1975 aucun mouvement en recette ou dépense. Comme au 1<sup>er</sup> janvier 1975, il se présente ainsi :

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1975 .....	<u>39 465,59</u>

**Compte IV. — Caisse de prêts sociaux**

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1975 .....	7 156,34
Virement budgétaire (7 276 FF) .....	4 009,88
Amortissements partiels des prêts (50 356 FF) .....	27 751,84
Total .....	<u>38 918,06</u>

DÉPENSES

	francs-or
Prêts consentis (51 000 FF) .....	28 106,61
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1975 (19 618 FF) .....	10 811,45
Total .....	<u>38 918,06</u>

**BILAN**

AU 31 DÉCEMBRE 1975

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	5 455 315,24
Compte II « Caisse de Retraites » .....	855 396,40
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » .....	39 465,59
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	10 811,45
	<hr/>
ACTIF NET .....	6 360 988,68
	<hr/> <hr/>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française .....	2 423 432,41
2° » U.S.A. ....	2 847 936,17
3° » suisse .....	66 028,26
4° » britannique .....	118,97
5° » allemande .....	950 677,69
6° » hongroise .....	12 270,48
7° » polonaise .....	77 915,50
b. Espèces en caisse .....	15 759,20
	<hr/>
Total .....	6 394 138,68

A déduire :

Provision pour remboursements aux États .....	33 150,00
	<hr/>
ACTIF NET .....	6 360 988,68
	<hr/> <hr/>

---

**RAPPORT**  
DU  
**COMITÉ CONSULTATIF**  
**DE PHOTOMÉTRIE ET RADIOMÉTRIE\***  
(8<sup>e</sup> Session — 1975)

AU  
**COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**  
par E.J. GILLHAM, Rapporteur

---

Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) s'est réuni pour sa huitième session au National Physical Laboratory, Teddington, où il a tenu quatre séances les 3 et 4 septembre 1975, suivies d'une brève réunion le 5.

Etaient présents :

A. MARÉCHAL, membre du CIPM, Président du CCPR.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung,  
[ASMW], Berlin (S. NÜNDEL).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa  
(G. WYSZECKI, C.L. SANDERS).

Conservatoire National des Arts et Métiers [CNAM] :

Institut National de Métrologie [INM], Paris (J. BASTIE).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tokyo (N. OOBA).

National Bureau of Standards [NBS], Washington (K.G.  
KESSLER, H.J. KOSTKOWSKI, J. GEIST).

National Measurement Laboratory [NML], Chippendale  
(W.R. BLEVIN).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (E.J.  
GILLHAM, O.C. JONES, F.J.J. CLARKE, J.R. MOORE).

National Physical Research Laboratory [NPRL], Pretoria  
(C.J. KOK).

---

\* Nouveau nom donné en octobre 1971 au Comité Consultatif de Photométrie (CCP).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (G. BAUER, D. FÖRSTE).

Les membres nominativement désignés :

L. PLAZA, Madrid ; F. ROTTER, Wien ; K. YOSHIE, Tokyo.

Le Directeur du BIPM (J. TERRIEN).

Le délégué d'un laboratoire et deux experts, invités :

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin (P. SOARDO).

C. FRÖLICH, Davos ; E. INGELSTAM, Stockholm.

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO et

J. BONHOURE (BIPM).

Absents : Institut de Métrologie D.I. Mendéléev [IMM],

Leningrad ; J.M. OTERO.

La session s'est tenue à Teddington afin de permettre aux membres du CCPR d'assister à une réunion préliminaire du Comité Technique TC-1.2 ("Photométrie et radiométrie") de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), réunion qui avait lieu avant la 18<sup>e</sup> Assemblée Générale de cette Commission.

Après un discours d'accueil de J.V. Dunworth, Directeur du National Physical Laboratory et Président du CIPM, le Président du CCPR ouvre la séance.

Mr Terrien, se rapportant à la décision de tenir cette session à Teddington, rappelle qu'il est de règle pour les Comités Consultatifs de se réunir au BIPM à Sèvres. En faisant exception à cette règle, le Bureau International a été poussé par le désir d'accroître la collaboration entre le Bureau, le CCPR et la CIE ; Mr Terrien souligne les profits d'une telle collaboration.

Mr Gillham est désigné comme rapporteur, assisté de MM. Moore et Bonhoure comme secrétaires.

#### 1. PARTAGE DES RESPONSABILITÉS ENTRE LE CCPR, LE BIPM ET LA CIE

Mr Sanders présente un document (Annexe P 3) relatif au partage des responsabilités dans les domaines de la radiométrie, de la photométrie et de la colorimétrie. Il conviendrait d'étendre le rôle du CCPR à l'adoption officielle des relations qui permettent d'évaluer les effets visuels du rayonnement, y compris les fonctions de pondération de la CIE. La formulation des fonctions de pondération et de l'ensemble des performances visuelles incombe à la CIE. Le CCPR et le BIPM devraient s'occuper de la réalisation des échelles radiométriques et visuelles

dans les laboratoires nationaux, et de la comparaison de ces échelles. Les besoins en mesure du commerce et de l'industrie et les problèmes posés par les mesures pratiques devraient en revanche relever de la responsabilité de la CIE.

Ce document reçoit l'approbation du Comité comme donnant une description générale des domaines d'intérêt du CCPR, de la CIE et du BIPM ; tout en ne constituant pas une charte officielle, c'est un guide utile pour la répartition des tâches à l'avenir.

## 2. NOUVELLE DÉFINITION DE L'UNITÉ PHOTOMÉTRIQUE

Mr Blevin souligne les avantages, exposés en détail dans un document présenté conjointement par le NBS et le NML (Annexe P 4), d'une nouvelle définition de l'unité photométrique en fonction du watt ; il considère comme urgente une décision du Comité sur cette question. Les réponses à l'enquête faite auprès des laboratoires nationaux par le BIPM en préparation de cette session laissent apparaître un accord général sur le principe de la nouvelle définition ; beaucoup pensent toutefois qu'une proposition formelle serait prématurée étant donné que les résultats expérimentaux dont on dispose sur la relation entre le lumen et le watt sont insuffisants pour assurer la continuité de l'unité photométrique. Mr Blevin n'est pas d'accord sur ce dernier point ; il pense que, d'après les résultats dont on dispose, les relations entre les réalisations des unités photométriques et l'unité SI seraient connues avec au moins autant d'exactitude avec la nouvelle définition proposée qu'avec celle qui est actuellement en vigueur. Sollicité de donner l'avis du BIPM, Mr Terrien dit qu'il est d'accord sur le principe de la nouvelle définition mais que la question de son adoption doit être résolue par ceux qui seront responsables de sa mise en oeuvre, c'est-à-dire par les laboratoires nationaux, en liaison avec la CIE représentant les intérêts des utilisateurs des mesures photométriques.

Le Comité exprime à nouveau son adhésion au principe de la nouvelle définition (*Recommandation* P 1 (1975), p. P 11) ; la discussion se porte sur la formulation de celle-ci et en particulier sur la proposition de Blevin et Steiner (Annexe P 4) de remplacer la candela par le lumen comme unité de base du SI pour la photométrie. Cette proposition rencontre une forte opposition de la part de Mr Terrien ; à son avis, bien qu'il existe plusieurs précédents au changement de définition d'une unité, le changement de l'unité elle-même serait préjudiciable à la répu-

tation du SI, système destiné non seulement aux besoins scientifiques mais également aux usages courants dans le monde entier. Mr Kessler estime au contraire que l'une des objections à l'unité actuelle vient de la difficulté que rencontrent les profanes pour comprendre le concept d'intensité lumineuse. En revanche le concept de flux lumineux, équivalent photométrique de la puissance, est aisément compréhensible. D'autres membres appuient cet argument, et on arrive à la conclusion que les avantages du lumen comme unité de base de la photométrie sont suffisants pour justifier une recommandation dans ce sens (*Recommandation P 2 (1975)*, p. P 11).

Une question se pose : à quelle longueur d'onde faut-il définir la relation entre le lumen et le watt ? On se met d'accord pour choisir la longueur d'onde à laquelle la fonction  $V(\lambda)$  prend la valeur unité, c'est-à-dire 555 nm dans l'air normal. Toutefois, afin d'éviter de faire référence à l'air normal dans la nouvelle définition, il faudra spécifier non pas la longueur d'onde mais la fréquence correspondante, c'est-à-dire  $540,015 4 \times 10^{12}$  Hz (*Recommandation P 3 (1975)*, p. P 12).

Le Comité passe ensuite à la question de la valeur de  $K_m$  qu'il conviendra d'adopter dans la nouvelle définition. Le tableau I, présenté par Mr Blevin et complété par Mr Bauer, donne les valeurs obtenues par calcul à partir de différentes valeurs de la température de congélation du platine ( $T_{Pt}$ ), les valeurs les plus récentes déduites de mesures radiométriques dans les échelles photométriques qui existent, et les valeurs obtenues à partir de mesures spectroradiométriques.

Il est décidé que le critère qui présidera au choix de  $K_m$  sera la continuité des unités photométriques effectivement réalisées par les laboratoires nationaux et matérialisées dans leur échelle photométrique. On ne sait pas dans quelle mesure ces unités sont bien en accord avec la définition actuelle du SI, et à cet égard les valeurs de  $K_m$  obtenues par calcul à partir de  $T_{Pt}$  sont moins significatives que les valeurs obtenues par mesure directe. Mr Jones fait remarquer que des travaux récents au NPL avec la lampe à corps noir Quinn-Barber ont indiqué des écarts considérables entre l'échelle photométrique du NPL et l'échelle de température de luminance.

Compte tenu de la dispersion totale d'environ 1,6 % entre les unités photométriques des différents pays, plusieurs membres du Comité sont d'avis qu'on pourrait adopter la valeur admise actuellement pour  $K_m$  (680 lm/W) sans nuire à la continuité de l'unité photométrique. Toutefois d'autres membres du Comité,

en même nombre, considèrent qu'il est prématuré d'adopter cette valeur. Après une longue discussion, on se met d'accord sur une proposition faite par Mr Kostkowski pour que, dans deux ans, chaque laboratoire national soumette au Comité la valeur de  $K_m$  qu'il préfère ; le Comité prendra alors une décision sur la valeur qu'il convient d'adopter pour une nouvelle définition de l'unité photométrique (*Recommandation P 4 (1975), p. P 12*).

TABLEAU I

Récentes valeurs de  $K_m$

A) calculées à partir de  $T_{Pt}$

$T_{Pt} = 2045$ K (EIPT-68)	671 lm/W
2041 (NPL, 1972)	687
2043 (NML, 1974)	680
2042 (PTB, 1975)	683
2042 (EIPT-68, édition amendée de 1975)	683

B) à partir de mesures radiométriques

	référence*	
NPL (1963-1964, moyenne)	$cd_{NPL}$	686 lm/W
NML** (1974)	$cd_{moy.}$	683
ETL (1975)	$cd_{moy.}$	683

C) à partir de mesures spectroradiométriques

	$T_c$	référence*	
NPL (1969-1971-1973, moyenne)	2040 K	$cd_{NPL}$	$671 \pm 7$ lm/W
NPL (1969-1971, moyenne)	2788	$cd_{NPL}$	$660 \pm 7$
ETL (1973)	3147	$cd_{moy.}$	676
PTB (1974)	2859	$cd_{moy.}$	678

\*  $cd_{moy.}$  : moyenne des réalisations nationales de la candela (ASMW, NRC, ETL, IMM, NBS, NPL, PTB) ;

$cd_{NPL}$  : réalisation de la candela faite au NPL ( $cd_{NPL} = 0,994 cd_{moy.}$ ).

\*\* Le NML n'a jamais réalisé effectivement le corps noir au point de congélation du platine ; il utilise des lampes à incandescence étalonnées en candelas au NPL et au BIPM.

On renonce alors à poursuivre la discussion d'une autre proposition suivant laquelle, indépendamment de la redéfinition de l'unité photométrique, le Comité devrait recommander immédiatement une valeur de  $K_m$  afin d'assurer en pratique l'uniformité dans les domaines de la photométrie et de la spectroradiométrie.

### 3. DOCUMENT EXPLICATIF SUR LES UNITÉS ET LES GRANDEURS PHOTOMÉTRIQUES

La relation entre l'unité et la méthode de mesure est bien moins évidente en photométrie que dans les autres domaines de la métrologie. Les grandeurs photométriques font appel aux propriétés spatiales et spectrales du rayonnement ; elles sont souvent mal comprises. Pour cette raison Mr Blevin suggère que, dans deux ans, la recommandation d'une nouvelle définition de l'unité photométrique soit accompagnée d'un document explicatif dans le genre de ce qui a été fait pour l'EIPT-68. On se met d'accord sur la création d'un Groupe de travail, présidé par Mr Wyszecski et comprenant MM. Blevin et Kessler, pour préparer ce document.

### 4. ADOPTION DES FONCTIONS DE PONDÉRATION DE LA CIE

A la suite des conclusions mentionnées au point 1 concernant les responsabilités du Comité, on décide de recommander au CIPM qu'il sanctionne la fonction de pondération en vision scotopique  $V'(\lambda)$  (*Recommandation* P 5 (1975), p. P 13) et les fonctions  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  qui définissent l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931 (*Recommandation* P 6 (1975), p. P 13).

### 5. NOUVELLES RÉALISATIONS DE L'ÉTALON PRIMAIRE

Il n'est fait état d'aucune nouvelle réalisation.

### 6. TEMPÉRATURE THERMODYNAMIQUE DU POINT DE CONGÉLATION DU PLATINE

Mr Bonhore indique que le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) a adopté la valeur de 2042 K pour  $T_{Pt}$ . Les changements qui en résultent dans l'échelle de température de répartition, quand cette échelle est fondée sur le point de congélation du platine, sont les suivants :

Ancienne valeur ( $T_{Pt} = 2045$  K), 2357 K, 2859 K  
Nouvelle valeur ( $T_{Pt} = 2042$  K), 2353 K, 2853 K.

### 7. SOURCES DE RAYONNEMENT DE TYPE CORPS NOIR

Mr Jones indique que les travaux du NPL avec la lampe à corps noir Quinn-Barber sont achevés ; comme il a été indiqué au point 2, les résultats laissent à penser qu'il peut y avoir des divergences importantes entre l'échelle photo-

métrique et celle de température de luminance. Mr Kostkowski signale que ces lampes ont été expérimentées au NBS, pour des travaux sur les températures de luminance ; elles se sont révélées instables et l'on ne s'en sert plus.

## 8. RADIOMÉTRIE ABSOLUE

Mr Fröhlich indique qu'un radiomètre absolu mis au point au Physikalisch-Meteorologisches Observatorium (Davos) pour la mesure du rayonnement solaire permet de mesurer un flux énergétique dans la gamme de 2 à 20 mW avec une incertitude de  $\pm 0,04$  mW. A plusieurs reprises, entre 1970 et 1975, on a comparé cet instrument et quatre autres radiomètres absolus mis au point par différents laboratoires (JPL\*, NBS, IRM\*) pour des travaux sur la rayonnement solaire ; l'écart maximal entre ces cinq instruments était d'environ 1,1 %. Mr Geist indique qu'une comparaison de deux types de radiomètres du NBS, l'un conçu pour des recherches sur les étalons radiométriques et l'autre pour des mesures de puissance de lasers, a montré un accord à mieux que 0,2 %.

Mr Blevin souligne qu'on peut être amené à utiliser des radiomètres absolus, avec un filtre  $V(\lambda)$  pour les travaux de photométrie, pour mesurer un éclairement énergétique aussi faible que  $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Le radiomètre du NML, du type "disque", a une limite de détection tout à fait appropriée (environ 5 nW) ; la principale source d'inexactitude est la résistance thermique du revêtement noir. Le radiomètre de type pyroélectrique présente un certain nombre d'avantages pratiques, comme une réponse rapide et une sensibilité uniforme sur l'ensemble de la surface réceptrice, mais il est peu probable qu'il puisse entrer en concurrence avec les types plus conventionnels de radiomètres aux niveaux les plus élevés d'exactitude.

Mr Maréchal décrit une expérience faite à l'Institut d'Optique (Orsay) sur la pression de rayonnement : on a mesuré le couple de torsion exercé par le passage d'un faisceau laser de 0,2 W sur une lame bi-réfringente suspendue\*\*. La sensibilité du système de détection de la torsion était étonnamment élevée ; si l'on accroissait la torsion en utilisant la réflexion d'un miroir plutôt que la réfraction, il serait pos-

\* Jet Propulsion Laboratory (Etats-Unis d'Amérique) ; Institut Royal Météorologique (Belgique).

\*\* ROUSEN (G.) et IMBERT (C.), *Can. J. Phys.*, 52, 1974, p. 1903.

sible de déceler un flux énergétique d'environ  $1 \mu\text{W}$ . Il semble qu'un radiomètre absolu fondé sur ce principe serait utilisable; il pourrait se substituer à la méthode calorimétrique habituelle, avec des caractéristiques intéressantes.

#### 9. FILTRES EN VERRE ; RÉCEPTEURS $V(\lambda)$

Mr Blevin attire l'attention sur un point qui concerne la réalisation des filtres  $V(\lambda)$  utilisés pour la photométrie radiométrique. Si l'on suppose que le rayonnement utilisé est approximativement un rayonnement de Planck, la transmission spectrale du filtre peut s'écarter sensiblement de la courbe  $V(\lambda)$  pourvu que la relation entre la puissance transmise par le filtre et le flux lumineux incident soit, en première approximation, indépendante de la température de couleur du rayonnement. (*Comité Consultatif de Photométrie*, 7<sup>e</sup> session; 1971, p. 81). Cette condition a été remplie à un degré très satisfaisant par les deux types de filtres en verre que l'on a utilisés dans la réalisation récente de la candela faite au NML (Annexe P 5).

Mr Kok signale la mise au point en Afrique du Sud de nouveaux types de verre auxquels on peut donner des facteurs de transmission spectrale approchant soit  $V(\lambda)$  soit  $V'(\lambda)$ . A l'heure actuelle, toutefois, il est difficile d'obtenir une qualité optique satisfaisante et ces verres en sont encore au stade expérimental.

#### 10. QUALITÉ DES LAMPES ÉTALONS

Mr Clarke décrit une lampe à filament de tungstène à atmosphère gazeuse et à courant élevé qui a été mise au point, en collaboration avec la GEC, pour être utilisée comme étalon de température de couleur et, sous une forme améliorée, comme étalon d'intensité lumineuse (Annexe P 10). La lampe fonctionne à des températures de couleur allant jusqu'à  $3\ 300\ \text{K}$  et elle est particulièrement robuste. Le NPL poursuit la mise au point et l'étude de ce type de lampe dans l'espoir qu'il pourra constituer un étalon secondaire satisfaisant d'intensité lumineuse à la température de couleur de  $2853\ \text{K}$ . Mr Moore parle de travaux de mise au point sur des lampes à ruban à atmosphère gazeuse destinées à servir d'étalons de luminance énergétique spectrale. On a trouvé que les fluctuations de la puissance rayonnée présentées par ce type de lampe, par suite des instabilités des courants de convection, peuvent être nettement réduites au moyen d'une cheminée montée au-dessus du ruban.

Ces travaux, bien qu'ils en soient encore à leur tout début, peuvent amener des améliorations considérables dans le fonctionnement des lampes étalons à atmosphère gazeuse.

## 11. COMPARAISONS FUTURES

Une suggestion est faite par le NPL pour que la récente comparaison internationale d'étalons d'éclairement énergétique spectral\* soit suivie d'une comparaison semblable d'étalons de luminance énergétique spectrale ; une comparaison des étalons photométriques serait également souhaitable en vue de la redéfinition proposée de l'unité photométrique. Mr Kostkowski est d'avis que des comparaisons générales de ce genre devraient faire place à des comparaisons d'un type plus souple, organisées par un laboratoire pilote au lieu du BIPM, et limitées aux quelques laboratoires particulièrement intéressés. L'accord se faisant sur ce point, le NPL propose de jouer le rôle de laboratoire pilote pour une comparaison de luminance énergétique spectrale aussitôt que les travaux de mise au point des lampes à ruban améliorées auront abouti. Le CNAM, l'ETL, le NBS et la PTB sont intéressés par cette comparaison ; le NRC et l'IEN désirent être tenus informés en vue de leur participation éventuelle ; le NBS accepte de participer à une comparaison préliminaire avec le NPL pour contrôler la stabilité des lampes. On est provisoirement d'accord pour que la comparaison couvre le domaine des longueurs d'onde entre 300 nm et 800 nm.

Pour ce qui est des étalons d'intensité lumineuse, Mr Terrien fait remarquer que les étalons à 2042 K sont si stables qu'une comparaison donnerait des résultats semblables à ceux de la dernière comparaison (1969) et serait donc superflue. Par ailleurs, il n'existe pas actuellement de lampe satisfaisante pour une comparaison d'étalons à 2853 K ; cependant, la situation pourra être différente dans un an ou deux quand on connaîtra les résultats des travaux sur la lampe à courant élevé décrite par Clarke. On suggère des échanges de lampes de ce type comme moyen d'évaluer leur stabilité pour une comparaison d'intensité lumineuse ; le NBS et le NML pourraient participer à ces échanges avec le NPL.

Mr Geist dit que certains types de cellules photovoltaïques au silicium ont une sensibilité très stable, au moins dans le domaine des longueurs d'onde de 400 à 900 nm ; une récente comparaison entre des laboratoires américains s'étendant sur une période de six mois l'a prouvé. Ces cellules présentent

\* Comparaison organisée par la CIE en 1973.

d'autres caractéristiques intéressantes, telles que l'uniformité de la sensibilité ; en liaison avec des filtres en verre appropriés, elles peuvent s'avérer plus satisfaisantes que les lampes pour des comparaisons internationales de photométrie. Le NBS est prêt à jouer le rôle de laboratoire pilote pour une comparaison de ce type. Le NML serait désireux de collaborer aux études préliminaires des cellules.

## 12. DIVERS

*Développement de la radiométrie au BIPM.* - A une question de Mr Sanders concernant le financement des travaux de radiométrie au BIPM, Mr Terrien répond qu'aucun accroissement des fonds destinés à ces recherches n'a été accordé par la Conférence Générale des Poids et Mesures ; toutefois, comme la charge des comparaisons internationales a diminué par rapport à ce qu'elle était auparavant, certains efforts pourraient se porter sur la radiométrie dans l'avenir.

*Réunion du CCPR.* - Pour procéder au choix de la meilleure valeur à attribuer à  $K_m$  suivant les modalités indiquées au point 2, le Comité décide de se réunir à Sèvres, au cours de la première ou de la seconde semaine de septembre 1977 (*Recommandation P 7 (1975)*, p. P 13).

\*  
\* \*

Les conclusions du Comité Consultatif en ce qui concerne la redéfinition de l'unité SI de base de la photométrie et le partage des responsabilités entre le CCPR, le BIPM et la CIE ont été présentées à la réunion préliminaire du Comité Technique TC-1.2 de la CIE, le 5 septembre. Ce Comité Technique n'ayant pas formulé de remarques nécessitant de nouvelles discussions, le Comité Consultatif, au cours de sa dernière et très brève réunion, constate seulement que son ordre du jour est épuisé.

En conclusion de ses travaux, le Comité Consultatif adopte les sept Recommandations ci-après et le Président remercie ses collègues pour le travail accompli au cours de cette session.

(12 septembre 1975)

RECOMMANDATIONS  
du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie  
présentées  
au Comité International des Poids et Mesures

Ces Recommandations concernent :

- l'éventualité d'une nouvelle définition de l'unité SI de base de la photométrie,
- la sanction par le CIPM des valeurs de  $V'(\lambda)$  et de  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ .

Elles doivent être examinées par le CIPM à sa session de septembre 1976 (voir *Procès-Verbaux CIPM*, 44, 1976).

RECOMMANDATION P 1 (1975)

*Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, considérant*

- *les arguments exposés par le National Measurement Laboratory (Australie) et le National Bureau of Standards (Etats-Unis d'Amérique) dans l'un des documents qu'ils ont distribués au Comité Consultatif<sup>(\*)</sup> et en particulier*
    - *l'utilisation croissante de la spectroradiométrie dans les mesures photométriques et dans d'autres mesures optiques,*
    - *l'utilité d'ajouter de nouvelles méthodes aux méthodes traditionnelles de réalisation des unités photométriques,*
- recommande que l'on donne à l'unité SI de base de la photométrie une nouvelle définition qui fournisse une relation numérique exacte et explicitement énoncée entre cette unité photométrique et le watt pour une radiation monochromatique ayant une fréquence spécifiée.*

RECOMMANDATION P 2 (1975)

*Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, considérant*

- *les arguments exposés par le National Measurement Laboratory (Australie) et le National Bureau of Standards (Etats-Unis d'Amérique) dans l'un des documents qu'ils ont distribués au Comité Consultatif<sup>(\*)</sup>,*
- *la difficulté fréquente et persistante de faire comprendre le concept d'intensité lumineuse,*

---

\* BLEVIN (W.R.) et STEINER (B.), Redéfinition de la candela et du lumen, Annexe P 4 et *Metrologia*, 11, 1975, p. 97 (texte anglais).

- le fait que le concept de flux lumineux est plus simple, est compris plus facilement et correspond à une grandeur physique bien connue, la puissance,

recommande que l'on remplace l'unité d'intensité lumineuse, la candela, par l'unité de flux lumineux, le lumen, en tant qu'unité SI de base.

#### RECOMMANDATION P 3 (1975)

Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, considérant

- que l'efficacité lumineuse relative spectrale  $V(\lambda)$  a son maximum pour la radiation de longueur d'onde 555 nm dans l'air,

- que la fréquence est une grandeur plus fondamentale que la longueur d'onde,

recommande que l'on redéfinisse l'unité SI de base de la photométrie en utilisant la radiation monochromatique de fréquence  $540,015\ 4 \times 10^{12}$  Hz, fréquence qui correspond à la longueur d'onde 555 nm dans l'air normal.

#### RECOMMANDATION P 4 (1975)

Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, considérant

- que la nouvelle définition recommandée de l'unité SI de base pour la photométrie exige l'adoption préalable d'une valeur de l'efficacité lumineuse spectrale maximale ( $K_m$ ) en lumens par watt,

- que des recherches sont en cours sur les meilleures valeurs de  $K_m$ ,

- que la valeur  $K_m = 680$  lumens par watt a été largement utilisée,

recommande

- que les laboratoires nationaux fassent connaître au Bureau International des Poids et Mesures, avant la réunion prévue en 1977 du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, la valeur qu'ils préfèrent de l'efficacité lumineuse spectrale, en lumens par watt, pour la radiation de fréquence  $540,015\ 4 \times 10^{12}$  Hz,

- que le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie examine les valeurs proposées, et

- que, s'il n'en est pas décidé autrement, la valeur 680 lumens par watt soit adoptée.

RECOMMANDATION P 5 (1975)

*Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, considérant*

*- que les définitions des grandeurs photométriques, que l'on mesure en unités SI photométriques, reposent sur des fonctions de pondération adoptées par convention,*

*- que les efficacités lumineuses relatives spectrales  $V(\lambda)$  établies par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) pour la vision photopique ont déjà été sanctionnées par le Comité International des Poids et Mesures (CIPM),*

*recommande que la fonction correspondante  $V'(\lambda)$  établie par la CIE pour la vision scotopique soit elle aussi sanctionnée par le CIPM.*

RECOMMANDATION P 6 (1975)

*Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, considérant*

*- que son domaine d'activité a été étendu à la colorimétrie par la 13<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (1967),*

*- que l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931 est fondamental pour la colorimétrie,*

*recommande que les composantes trichromatiques spectrales  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  qui définissent l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931 soient sanctionnées par le Comité International des Poids et Mesures.*

RECOMMANDATION P 7 (1975)

*Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie,*

*considérant que de nombreux laboratoires expriment l'opinion qu'il est urgent de mettre en oeuvre les Recommandations P 1 à P 4 adoptées à sa session de 1975,*

*recommande que le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie se réunisse en 1977 en temps utile pour présenter à la session de 1977 du Comité International des Poids et Mesures les propositions de mise en oeuvre de ces Recommandations.*

---

---

**RAPPORT**

DU

**COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE**  
**(11<sup>e</sup> Session — 1976)**

AU

**COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**

par M. DURIEUX, Rapporteur

---

**Rapport abrégé**

- présenté à la 65<sup>e</sup> session du CIPM

Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) s'est réuni pour sa 11<sup>e</sup> session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu quatre séances les 15 et 16 juin 1976.

Étaient présents :

H. PRESTON-THOMAS, membre du CIPM, président du CCT.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung  
[ASMW], Berlin (H. MAAS).

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 Radiotechni-  
ques [IMPR], Moscou (D.N. ASTROV).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin  
(L. CROVINI).

Kamerlingh Onnes Laboratorium [KOL], Leiden  
(M. DURIEUX).

National Bureau of Standards [NBS], Washington  
(R.P. HUDSON, H.J. KOSTKOWSKI).

National Measurement Laboratory [NML], Chippendale  
(W.R.G. KEMP).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington  
(T.J. QUINN, P.B. COATES).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM],  
Tokyo (K. MITSUI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braun-  
schweig (W. THOMAS).

Les membres nominativement désignés :

J. SKAKALA (Bratislava).

C.A. SWENSON (Ames).

Le directeur du BIPM (J. TERRIEN).

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-  
directeur du BIPM, J. BONHOURE et G. GIRARD (BIPM).

Excusés : J. de BOER (Amsterdam), F.G. BRICKWEDDE  
(Pennsylvania), membres nominativement désignés.

Absents : Institut de Métrologie D.I. Mendéléev [IMM],  
Leningrad ; M. COLOMINA (Madrid), membre nominativement  
désigné.

## I. RAPPORT SUR LA RÉUNION

Un compte rendu complet de cette réunion est publié dans  
*Comité Consultatif de Thermométrie*, 11<sup>e</sup> session, 1976.

Les points principaux qui ont été discutés et les conclu-  
sions auxquelles on est parvenu sont :

1) Le CCT a approuvé le principe d'une nouvelle échelle provi-  
soire pratique de température entre 0,5 K et 30 K (*voir ci-*  
*après la proposition pour une telle échelle*).

2) Au cours des toutes dernières années, des mesures au ther-  
momètre à gaz effectuées au NBS ont montré que l'Echelle  
Internationale Pratique de Température de 1968 (EIPT-68)  
diffère nettement des températures thermodynamiques au-dessus  
de 0 °C. Le Groupe de travail 3 du CCT a dressé une liste des  
"meilleures estimations actuelles" de ces différences qui  
paraîtra dans *Metrologia* sous les auspices du CCT. Cette liste  
sera constamment remise à jour et constituera une base pour

déterminer les températures des points fixes de définition dans une EIPT ultérieure.

3) On a souvent besoin en chimie physique, en pharmacologie et en médecine de points de référence secondaires pour étalonner des appareils de mesure de température : ceci implique d'étudier et de choisir les meilleures valeurs des températures de ces points de référence secondaires. On a décidé que le CCT, ou le CCT en coopération avec d'autres organismes tels que l'UICPA, préparera et publiera des listes des meilleures valeurs des températures de ces points de référence secondaires. Cette tâche a été confiée au Groupe de travail 2 du CCT.

4) Constatant que dans tous les pays on a besoin de méthodes relativement peu onéreuses pour effectuer des mesures de température à un niveau d'exactitude modeste, le CCT va commencer à préparer une monographie sur les méthodes de ce type.

5) Le CCT pense que l'EIPT-68 devra être remplacée par une nouvelle échelle dans un avenir assez proche, vraisemblablement en 1983 ou 1987. En effet :

a) Des différences appréciables entre l'EIPT-68 et les températures thermodynamiques au-dessus de 0 °C ont été mises en évidence.

b) Le thermocouple Pt 10 % Rh/Pt devrait être éliminé comme instrument d'interpolation en raison de sa reproductibilité médiocre.

c) La dérivée première de l'équation de référence utilisée dans la définition de l'EIPT-68 présente des irrégularités notables au-dessous de 30 K.

d) Le domaine des températures couvert par l'EIPT devrait être étendu au-dessous de 13,8 K.

e) Le procédé d'interpolation pour le thermomètre à résistance de platine devrait être révisé.

Toutes ces questions ont été discutées au cours de la réunion. On a rédigé une recommandation au CIPM pour susciter des travaux, en particulier sur les points a et b ; il a été convenu de préparer le premier projet d'une nouvelle échelle pour la prochaine réunion du CCT.

6) Le CCT a pris connaissance des rapports sur la comparaison internationale, faite au NPL, de thermomètres à résistance de platine étalonnés dans l'EIPT-68 entre 13 K et 100 °C, ce rapport a fourni des données sur les différences entre les réalisations de l'EIPT-68 dans les divers laboratoires nationaux.

Un rapport a été également présenté au CCT sur la comparaison internationale, faite au NML, des échelles aux basses températures utilisant des thermomètres à germanium étalonnés. Les résultats de cette comparaison ont fourni les données nécessaires pour établir l'échelle proposée entre 0,5 K et 30 K.

7) On a discuté de la préparation des nouvelles échelles de température de l'hélium liquide, préparation qui avait été confiée au CCT comme il est indiqué dans le texte de l'EIPT-68. On pense que le CCT sera en mesure de proposer au CIPM de nouvelles échelles en 1978 et peut-être même en 1977. Ces échelles seront en accord étroit avec l'échelle provisoire proposée entre 0,5 K et 30 K.

Par suite des efforts faits par les différents Groupes de travail, les dernières sessions du CCT se sont avérées beaucoup plus efficaces et fructueuses. Ces cinq groupes, limités chacun à un maximum de quatre membres, accomplissent leur tâche entre deux sessions du CCT ; ils constituent pour les thermométristes de tous les pays des centres permanents de consultation ; ils soumettent des rapports tous les deux ans au CCT.

II. PROPOSITION POUR UNE  
ÉCHELLE PROVISOIRE DE TEMPÉRATURE DE 1976  
ENTRE 0,5 ET 30 K

Des mesures faites avec des thermomètres magnétiques, des thermomètres acoustiques et des thermomètres à gaz ont montré que les échelles pratiques de température couramment utilisées au-dessous de 30 K s'écartent notablement de la température thermodynamique. Ces échelles pratiques de température sont :

L'"Echelle  $^4\text{He}$  1958" entre 1 K et 5,2 K  
(symbole des températures :  $T_{58}$ )

L'"Echelle  $^3\text{He}$  1962" entre 0,5 K et 3,3 K  
(symbole des températures :  $T_{62}$ )

L'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968  
au-dessus de 13,81 K (symbole des températures :  $T_{68}$ ).

Les équations

$$T - T_{58} = 0,002 T$$

$$T - T_{62} = 0,002 T$$

donnent approximativement les différences de l'"Echelle  $^4\text{He}$

1958" et de l'"Echelle <sup>3</sup>He 1962" par rapport aux températures thermodynamiques. Bien que les différences entre les températures dans l'EIPT-68 et les températures thermodynamiques, entre 13,81 K et 30 K, ne s'élèvent qu'à environ 5 mK, elles varient d'une façon assez irrégulière avec la température. Ces différences non seulement créent des difficultés dans les mesures exactes de température entre 0,5 K et 5,2 K et entre 13,81 K et 30 K, mais encore font qu'il est impossible d'obtenir entre 5,2 K et 13,81 K une échelle interpolée qui se raccorde aux échelles internationales et qui soit en même temps suffisamment en accord avec la température thermodynamique.

Ainsi, pour les expériences qui exigent une échelle de température lisse par rapport à la température thermodynamique, l'utilisation des échelles pratiques internationales existantes conduit à de grosses difficultés entre 0,5 K et 30 K.

A la suite d'une comparaison internationale des échelles de basses températures qui s'est récemment achevée au National Measurement Laboratory d'Australie, et de déterminations de températures thermodynamiques, une proposition a été présentée à la 11<sup>e</sup> session du CCT pour une nouvelle échelle provisoire pratique de température dans le domaine de 1 K à 30 K. Nous donnons ci-dessous les grandes lignes de cette nouvelle échelle appelée "Echelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K" (EPT-76) dont le symbole des températures est  $T_{76}$ . Le CCT recommande au CIPM d'approuver cette nouvelle échelle pour qu'elle soit utilisée sur le plan international.

Le CCT regrette de ne pas avoir eu le temps de présenter au CIPM cette nouvelle échelle sous sa forme définitive, mais il considère qu'il est urgent de promulguer cette échelle si l'on veut éviter la publication et l'utilisation d'un certain nombre d'échelles différentes.

*Grandes lignes de l'Échelle Provisoire de Température de 1976  
entre 0,5 K et 30 K*

1. Obtention de l'Échelle

Depuis 1970 plusieurs laboratoires ont établi des échelles magnétiques de température, une échelle de température fondée sur un thermomètre acoustique (NBS) et, tout récemment, une échelle de température fondée sur des mesures au thermomètre à gaz (et des mesures d'isothermes) (NPL).

La plupart de ces échelles ont été comparées entre elles, à l'"Echelle <sup>4</sup>He 1958" et à l'EIPT-68 lors des comparaisons

d'échelles effectuées au NML.

Comme base pour l'EPT-76 nous avons choisi de nous référer à l'échelle magnétique  $T_{XAC}$ , qui a été utilisée pour la comparaison d'échelles faite au NML.

Les raisons de ce choix sont les suivantes :

1. En tant qu'échelle magnétique,  $T_{XAC}$ , est particulièrement lisse et elle va de 1 K à 35 K. (Parmi les diverses échelles magnétiques,  $T_{XAC}$ , est définie sur le domaine de température le plus large et c'est la seule qui soit, vers le bas, fondée sur le nitrate double de cérium et de magnésium pour lequel l'écart par rapport à la loi de Curie est très petit et bien connu).

2. L'échelle  $T_{XAC}$ , est en bon accord avec les déterminations de température thermodynamique au-dessous de 14 K et elle se raccorde bien à l'EIPT-68 à 27 K. Au-dessus de 14 K, l'échelle  $T_{XAC}$ , s'écarte peu et sans irrégularités des mesures récentes de températures thermodynamiques. (Comme les écarts entre les températures  $T_{76}$  et les températures thermodynamiques sont réguliers, les éventuels ajustements pourront être opérés sans nuire au caractère lisse de cette échelle).

Au-dessous de 3,2 K, l'EPT-76 est en accord avec les résultats obtenus récemment par le NPL au thermomètre magnétique jusqu'à 0,8 K et avec les calculs thermodynamiques de la pression de vapeur de  $^4\text{He}$  liquide. Pour obtenir les températures  $T_{76}$  entre 0,8 K et 0,5 K, on supposera que l'on peut extrapoler proportionnellement à  $T$  les différences  $T_{76} - T_{62}$  obtenues au-dessus de 0,8 K.

Des tableaux donneront les relations entre  $T_{76}$  et  $T_{62}$ ,  $T_{58}$  ou  $T_{68}$  :

$T_{62} - T_{76}$	entre 0,5 K et 3,3 K
$T_{58} - T_{76}$	entre 1 K et 5,2 K
$T_{68} - T_{76}$	entre 13,81 K et 30 K.

Les valeurs des températures  $T_{76}$  seront données aux points de transition supraconducteurs du cadmium (0,5 K), du zinc (0,85 K), de l'aluminium (1,2 K), de l'indium (3,4 K) et du plomb (7,2 K), et au point triple du néon (24,5 K).

## 2. Réalisations de l'Échelle

1) En utilisant un thermomètre magnétique pour lequel on a  $X = A + B/(T + \Delta + \gamma/T)$ , il faudrait déterminer les constantes  $A$ ,  $B$ ,  $\Delta$  et  $\gamma$  par étalonnage aux températures de référence pour lesquelles  $T_{76}$  est spécifiée. (Les points d'étalonnage ne

doivent pas nécessairement être tous au-dessous de 30 K. On peut utiliser des points dans l'EIPT-68 au-dessus de 30 K puisque cette échelle se raccorde à l'EPT-76 de façon lisse ; naturellement, les critères de qualité du thermomètre magnétique seront alors plus rigoureux que lorsque toutes les températures d'étalonnage sont prises au-dessous de 30 K).

2) En utilisant un thermomètre à gaz ajusté sur l'EPT-76, par exemple à deux températures de référence, et des valeurs spécifiées pour les coefficients du viriel de l'hélium comme celles de Berry (Document CCT/76-27).

3) Dans les domaines de température pour lesquels  $T_{58}$ ,  $T_{62}$  ou  $T_{68}$  sont définies, on peut réaliser l'EPT-76 en utilisant les différences entre ces températures et  $T_{76}$ .

4) On peut également obtenir l'EPT-76 directement à partir de thermomètres étalonnés par rapport à l'échelle  $T_{XAC}$  (0,95 K - 30 K), par rapport à  $T_{NBS\ 2-20\ K}$  (2 K - 20 K), ou par rapport à l'une des échelles magnétiques de l'IMPR (4,2 K - 20 K), du KOL (1,8 K - 30 K), du NML (1 K - 30 K) ou du NBS (2 K - 30 K). L'article sur les comparaisons d'échelles faites au NML (Document CCT/76-20) donne pour toutes ces échelles (à l'exception bien entendu de  $T_{XAC}$ , elle-même) les différences par rapport à  $T_{XAC}$ . L'échelle  $T_{XAC}$  est probablement identique à l'EPT-76 (si de petites différences entre ces deux échelles se manifestent, elles seront données). On peut également obtenir l'EPT-76 à partir de thermomètres étalonnés par rapport à l'échelle NPL-75 en utilisant les différences  $T_{NPL-75} - T_{76}$  qui seront données.

(Septembre 1976)

RECOMMANDATION  
du Comité Consultatif de Thermométrie  
présentée  
au Comité International des Poids et Mesures

RECOMMANDATION T 1 (1976) \*

*Le Comité Consultatif de Thermométrie,*

1. *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 amoindries dans une future Echelle Internationale Pratique de Température,*

*recommande que l'on effectue des recherches sur la mesure des températures thermodynamiques entre 20 K et 1064 °C.*

2. *considérant qu'une valeur exacte de la constante des gaz est nécessaire dans certaines mesures de la température thermodynamique, et qu'une détermination récente a donné une valeur sensiblement différente de celle qui était admise jusqu'à présent,*

*recommande que l'on effectue des mesures de la constante des gaz.*

3. *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 l'on effectue des recherches afin de déterminer la température la mieux appropriée pour la jonction entre le domaine du thermomètre à résistance de platine et celui du pyromètre optique, et, en particulier, afin de réaliser des thermomètres à résistance de platine satisfaisants pour les hautes températures.*

4. *considérant qu'il existe dans tous les pays une demande substantielle pour des mesures de température qui ne sont pas les plus précises et les plus exactes,*

\* Les cinq points de cette Recommandation ont été approuvés par le Comité International des Poids et Mesures à sa 65<sup>e</sup> session (septembre 1976).

recommande que l'on effectue des recherches pour trouver des méthodes simplifiées de réalisation de l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968.

5. considérant le besoin de mesures de plus en plus exactes aux températures élevées dans l'industrie, et considérant aussi les différences mineures qui subsistent concernant la température attribuée au point de congélation du platine,

recommande que l'on effectue des recherches sur des méthodes améliorées pour la diffusion de l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968 au-dessus de 2000 K, soit par des lampes à ruban de tungstène, soit par tout autre moyen approprié.

---

---

# RAPPORT

DU

## COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS

(5<sup>e</sup> Session — 1976)

AU

## COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par P. VIGOUREUX, Rapporteur

---

Le Comité Consultatif des Unités (CCU) s'est réuni au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, pour sa cinquième session ; il a tenu trois séances les 23 et 24 juin 1976.

Étaient présents :

J. de BOER, Secrétaire du CIPM, président du CCU.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Comité d'Etat des Normes du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S. (B. OLEINIK).

Commission Electrotechnique Internationale [CEI] :

Comité d'Etudes N° 25 (O. BAGER).

Commission Internationale de l'Eclairage [CIE] :

Comité Technique 1.1 (J. TERRIEN).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa

(H. PRESTON-THOMAS).

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (A. ALLISY).

National Bureau of Standards [NBS], Washington

(Ch. H. PAGE, B. STEINER).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington

(P. VIGOUREUX).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM],  
Tokyo (S. TAKATA).

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 (M.L. McGLASHAN).

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée  
[UIPPA] : Commission SUN (L. VILLENA).

Les membres nominativement désignés :

P. HONTI, Conseiller à l'Office National des Mesures,  
Budapest.

L. VILLENA, Patronato "Juan de la Cierva", Madrid.

Le directeur du BIPM (J. TERRIEN).

Invité : E.G. RUDBERG, Membre de l'Académie Royale des  
Sciences, Stockholm.

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-  
directeur du BIPM et H. MOREAU (BIPM).

Le *Président* ouvre la séance en souhaitant la bienvenue  
aux membres présents, en particulier à ceux qui assistent pour  
la première fois à une session du CCU.

Il se fait ensuite l'interprète de tous en évoquant la  
mémoire de Ulrich Stille, décédé le 7 mars 1976. U. Stille,  
ancien président de la PTB, et depuis juin 1975 Vice-Président  
du CIPM, avait été membre du CIPM et de plusieurs de ses  
Comités Consultatifs, dont le CCU, pendant de nombreuses  
années. Il a consacré sa vie au développement de la physique,  
et plus particulièrement à celui de la métrologie. La science  
des mesures n'avait pour ainsi dire pas de secrets pour lui,  
comme le fait voir son livre "Messen und Rechnen in der  
Physik", et il fut un des créateurs du calcul des grandeurs.  
Son opinion, ses avis ont contribué maintes fois aux décisions  
des nombreuses organisations dont il était membre, telles que  
l'UIPPA, la CEI, etc. Membre depuis 1954 de la Commission SUN  
de l'UIPPA, il en devint le secrétaire puis le président.  
C'est surtout à lui qu'est dû le système des masses atomiques

universellement accepté aujourd'hui, de même que le concept de "quantité de matière". Sa disparition prématurée est vivement regrettée par tous.

Le projet d'ordre du jour est adopté avec faculté au Président de modifier l'ordre dans lequel les divers points devront être discutés.

Mr Vigoureux est désigné comme rapporteur, assisté de Mr Moreau comme secrétaire.

RÉVISION DE LA 2<sup>e</sup> ÉDITION (1973)

DE LA BROCHURE DU BIPM SUR LE SI

(Documents CCU/76-5, 8, 10(2), 11, 12, 13, 16)

Au cours de l'examen du projet établi par le BIPM (Document CCU/76-8) et des autres documents présentés pour la révision de la 2<sup>e</sup> édition (1973) de la brochure sur le SI, les principales modifications et adjonctions suivantes sont décidées (les pages citées sont celles de la brochure).

1 - Page 29. Afin de mettre fin, suivant le désir du Comité Consultatif de Thermométrie, à l'usage de "°K" et "deg" encore permis d'après la Résolution 3 (paragraphe 4°) de la 13<sup>e</sup> CGPM, le CCU approuve l'insertion, à la remarque de bas de page (7) 2°, de la note suivante : " Usages abrogés par le CIPM en 1976." (1)

2 - Mr Page ayant posé la question : "Le degré Celsius devrait-il être considéré comme étant une unité en usage avec le Système International (Tableau 8), ou devrait-il être considéré comme une unité SI ayant un nom spécial ?", le CCU décide :

a) d'ajouter à la fin du 2<sup>e</sup> alinéa (Remarque) de la page 8 : "L'unité SI pour la température Celsius est le degré Celsius" (2) ;

b) de supprimer au Tableau 1 (p. 9) l'astérisque et la remarque ;

---

(1) *Note du BIPM.* A sa 65<sup>e</sup> session (septembre 1976), le CIPM a estimé prématuré d'apporter cette modification dans la 3<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI, dans l'attente de la décision que prendra la prochaine CGPM.

(2) *Note du BIPM.* Le CIPM (septembre 1976) a modifié les quatre dernières lignes de la Remarque comme suit :  
"... où  $T_0 = 273,15$  K par définition. L'unité "degré Celsius" est égale à l'unité "kelvin", mais "degré Celsius" est un nom spécial au lieu de "kelvin" pour exprimer la température Celsius. Un intervalle ou une différence de température Celsius peuvent s'exprimer aussi bien en degrés Celsius qu'en kelvins."

c) d'insérer le degré Celsius dans le Tableau 3 (p. 10), avant la grandeur "flux lumineux", et avec une note renvoyant à la page 8.

3 - Dans le Tableau 2 (p. 10), à la grandeur "nombre d'ondes", le chiffre 1 dans le nom de l'unité SI "1 par mètre" donne lieu à discussion. Le CCU décide finalement, sur la proposition du *Président*, de demander au CIPM d'examiner l'opportunité de recommander à la CGPM la suppression du "1" dans les noms d'unités tels que "1 par mètre"<sup>(3)</sup>.

4 - Le CCU discute la proposition de Mr *Page* d'ajouter dans la traduction anglaise de la brochure, à la 4<sup>e</sup> ligne du Tableau 4, le terme "power density" avant "heat flux density, irradiance"; ce terme est en effet d'un usage fréquent en anglais. Il est finalement décidé de demander à l'ISO/TC 12 de consulter les autres organisations intéressées et de faire au CCU une recommandation sur le terme "power density" et sur son équivalent en français.

5 - Sur la proposition de Mr *Allisy*, le terme "chaleur molaire" (Tableau 4, dernière ligne) sera remplacé par "capacité thermique molaire". A la ligne 6, le terme "chaleur massique" est remplacé par "capacité thermique massique".

Les nouvelles grandeurs "activité" (Tableau 3) et "exposition" (Tableau 4) seront suivies respectivement des mots "(rayonnements ionisants)" et "(rayons X et  $\gamma$ )", et non de l'adjectif "(radioactive)" comme proposé dans le Document CCU/76-8.

6 - Après une discussion à laquelle prennent part le *Président*, Mme *Simonsgaard*, MM. *Terrien*, *Jensen* et plusieurs autres membres, le CCU décide de proposer au CIPM que la Remarque b (p. 11) ne soit plus considérée comme une remarque et que son texte soit modifié comme suit :

"Quoiqu'une unité dérivée ... d'inconvénients à l'emploi de certaines combinaisons ou de certains noms spéciaux afin de faciliter la distinction entre des grandeurs ayant la même dimension. Par exemple, on emploie le hertz pour la fréquence, plutôt que la seconde à la puissance moins un, et le mètre-newton, plutôt que le joule, pour le moment d'une force.

"Dans le domaine des rayonnements ionisants, on emploie de même le becquerel pour l'activité, plutôt que la seconde à la puissance moins un, et le gray pour l'énergie communiquée massique, le kerma, la dose absorbée et l'indice de dose absorbée, plutôt que le joule par kilogramme".

---

<sup>(3)</sup> Note du BIPM. Le CIPM (septembre 1976) n'a pas jugé opportun de recommander cette suppression pour le moment.

7 - Page 12. En ce qui concerne l'alinéa a) des Recommandations, tous les membres sont d'accord pour modifier le texte comme suit :

"a) Le produit de deux ou plusieurs unités peut être indiqué d'une des manières suivantes,

*par exemple* : N·m, N.m ou N m".

8 - Le CCU discute la proposition de Mr *Oleinik*, appuyée par MM. *Page*, *Villena* et *Honti* mais à laquelle s'opposent Mme *Simonsgaard* et Mr *Bager*, de transférer l'"hectare" du Tableau 10 au Tableau 8. Il est finalement décidé de ne proposer aucun changement pour le moment, ni de transférer de même l'"are" au Tableau 8 comme l'avait aussi proposé Mr *Oleinik*.

9 - Au sujet de la proposition (Document CCU/76-16) d'inclure l'unité d'angle "grade" (ou "gon") dans le Tableau 8, Mr *Terrien* fait remarquer que l'on pourrait à la rigueur l'inclure dans le Tableau 10 où figure déjà le "gal" encore fréquemment employé en géodésie et géophysique.

Après une longue discussion, le CCU ne s'est pas montré favorable à l'inclusion du "grade" dans la brochure sur le SI. Il estime que les inconvénients que peut ressentir actuellement l'Union Géodésique et Géophysique Internationale seront atténués quand les jeunes, aujourd'hui dans les universités, préféreront utiliser les unités SI lorsqu'ils s'occuperont plus tard de géodésie ou de géophysique.

10 - Diverses autres modifications et adjonctions proposées dans le Document CCU/76-8 sont adoptées sans commentaires.

#### SYMBOLE DU LITRE

De nombreuses organisations nationales ou internationales ont à plusieurs reprises attiré l'attention du CCU sur l'inconvénient de la lettre "l" (el minuscule) pour le symbole du litre, lettre qui se confond bien souvent avec le chiffre 1 (un) dans les textes tapés à la machine à écrire ou imprimés. Cet inconvénient avait déjà été évoqué à la 4<sup>e</sup> session (1974) du CCU (p. U 14), mais il avait été décidé de ne pas changer le symbole du litre.

Après examen d'une nouvelle demande du NBS présentée par Mr *Page* (Document CCU/76-14), le CCU décide de proposer au

CIPM que la lettre L (el majuscule) soit adoptée pour le symbole du litre<sup>(4)</sup>.

#### SYMBOLE POUR L'UNITÉ ASTRONOMIQUE

Dans le Tableau 9 il est indiqué que l'"unité astronomique" n'a pas de symbole international ; ce fait a été confirmé en 1972 par la Commission 5 de l'Union Astronomique Internationale (CCU, 4<sup>e</sup> session, 1974, p. U 16).

Mr *Terrien* signale toutefois que dans un rapport récent de Groupes de travail de l'UAI (Document CCU/76-9) on emploie la lettre "A" pour désigner l'unité astronomique.

Mr *McGlashan* remarque que la lettre A est déjà affectée au symbole de l'ampère. Le CCU charge en conséquence Mr Terrien d'informer l'UAI de cette objection et de déconseiller l'adoption de ce symbole.

#### SUR LA DÉFINITION DE L'UNITÉ "RÖNTGEN"

A propos d'un commentaire de Mr *Rotter* (Document CCU/76-10(2)) qui pensait qu'il n'était pas exact de définir le röntgen en fonction du coulomb par kilogramme ( $1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$ ) sans spécifier qu'il s'agit d'ionisation dans l'air, Mr *Allisy* fait la remarque générale suivante : il ne faut pas confondre l'unité avec la définition de la grandeur.

La présence de l'air, dont parlait Mr Rotter, n'intervient que dans la définition de l'exposition des rayonnements qui est la grandeur ; elle ne touche pas l'unité. Cette remarque sera reprise au sujet du lumen et d'autres unités (*voir ci-après "Unités photométriques, ..."*).

#### MASSE ET POIDS

Suivant la proposition de Mr Page (Document CCU/76-3), le CCU décide de supprimer à la page 6 de la brochure, paragraphe II.1.1.b), les mots "[et non de poids ni de force]" qui ne

---

<sup>(4)</sup> *Note du BIPM.* A sa 65<sup>e</sup> session (septembre 1976), le CIPM a décidé de maintenir le symbole "l" pour le litre. Lorsqu'il existe un risque de confusion avec le chiffre 1, on peut utiliser l'abréviation "ltr." ou écrire "litre" en toutes lettres.

figurent du reste pas dans la déclaration de la 3<sup>e</sup> CGPM (1901).

UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES  
ET DES GRANDEURS COMPORTANT UN FACTEUR BIOLOGIQUE  
(Documents CCU/76-1, 2, 10(4))

UNITÉ "GRAY"  
(Documents CCU/76-10(1), 19)

Mr *Terrien* résume les Recommandations P1 à P3 adoptées par le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) en septembre 1975. Ces recommandations, qui doivent être examinées par le CIPM à sa session de septembre 1976, proposent que l'unité de base de la photométrie soit définie pour la grandeur flux lumineux qui est d'une conception plus aisée que l'intensité lumineuse. En d'autres termes, le CCPR recommande que la candela soit remplacée par le lumen en tant qu'unité SI de base. De plus, le CCPR recommande que le lumen soit défini en utilisant la radiation monochromatique de fréquence  $540,015 4 \times 10^{12}$  Hz, fréquence qui correspond à la longueur d'onde 555 nm dans l'air normal.

Mr *Page* présente un projet de recommandation établi à la suite de discussions au NBS, et qu'il souhaiterait voir adopté par le CCU. Selon ce projet :

"Le lumen est une dénomination spéciale pour 1/680 watt d'un flux énergétique à la fréquence de 540,015 4 térahertz. Le watt est l'unité SI de puissance, mais le lumen est autorisé pour l'usage avec le SI dans le domaine du rayonnement visible."

Le CCU prend note de cette proposition et des recommandations du CCPR.

Ici encore, Mr *Allisy* fait observer que les fonctions de pondération qui sont nécessaires dans le domaine de la photométrie, aussi bien que dans ceux de l'acoustique et des rayonnements ionisants, ne devraient intervenir que dans les définitions des grandeurs et non dans celles des unités. Mr *Bager* appuie cette intervention.

Mr *Page* pense que si cette façon de considérer le lumen et la candela est adoptée, ces deux unités devraient être classées au Tableau 8 : "Unités en usage avec le SI".

Mr *Allisy* fait encore remarquer qu'il n'est pas nécessaire d'avoir une unité avec un nom spécial pour chaque grandeur physique. Mr *McGlashan* pense de même ; la grandeur en

question doit toujours être spécifiée, car l'unité ne suffit pas pour faire connaître la nature de la grandeur.

Après une longue discussion, le CCU reconnaît la nécessité de définitions claires et précises des grandeurs avant d'en pouvoir définir les unités. Le *Président* estime que c'est bien au CCU de recommander que ni la candela, ni le lumen, ne soient inclus dans la liste des unités SI de base. Dans l'attente des résultats de la poursuite des études sur cette question, le CCU ne prend pour le moment aucune décision quant à la situation future de la candela et du lumen dans la liste des unités SI.

Au sujet du "gray", Mr *Allisy* indique qu'il existe actuellement dans le domaine des rayonnements ionisants quatre grandeurs sans facteur biologique (énergie communiquée massique, kerma, dose absorbée, indice de dose absorbée) qui ont pour unité le gray. Une cinquième grandeur, l'"équivalent de dose", est dérivée de la dose absorbée et comporte un facteur biologique.

La discussion se poursuit actuellement à l'ICRU et à l'International Commission on Radiological Protection (ICRP) pour fixer l'unité d'équivalent de dose.

En tant que représentant de l'ICRU, Mr *Allisy* souhaite que le CCU reconnaisse que le "gray" est l'unité valable pour les quatre grandeurs physiques précitées et que l'on attende les propositions de l'ICRU et de l'ICRP quant au choix d'un nom pour l'unité d'équivalent de dose. Le CCU approuve la position de l'ICRU sur l'emploi de l'unité "gray" dans le domaine des rayonnements ionisants.

Le CCU est d'accord pour demander au BIPM de préparer un rapport sur la question des définitions des grandeurs où intervient un facteur biologique, définitions qui conditionnent toute discussion sur les unités propres à ces grandeurs. Ce rapport devrait en outre permettre de faciliter la discussion au sein de l'ICRU et de l'ICRP concernant le nom pour l'unité d'équivalent de dose.

#### PUISSANCES DE 10

(Documents CCU/76-6, 7, 10(5), 15, 17, 18, 20)

Sur la demande du *Président*, les propositions de MM. Terrien, Rudberg, Bager et autres pour exprimer d'une manière satisfaisante les puissances de 10, aussi bien dans le langage parlé qu'écrit, sont examinées avant de discuter les proposi-

tions sur les préfixes. En effet, si une méthode pratique pour exprimer les puissances décimales était proposée et adoptée, les préfixes - surtout ceux qui concernent les exposants très grands ou très petits - deviendraient superflus.

Les propositions les plus discutées sont celles de Mr Bager et de Mr Terrien. Ces deux propositions consistent à faire usage de deux fonctions continues dont l'une est l'inverse de l'autre, mais dont l'une servirait en général plutôt pour les exposants positifs et l'autre pour les exposants négatifs. Mr Terrien les désignerait par "px" et "mx", et Mr Bager par "dex x" et "nex x", où

$$\begin{aligned} px &= \text{dex } x = 10^x \\ mx &= \text{nex } x = 10^{-x}. \end{aligned}$$

Ces symboles proposés sont tirés des expressions et mots suivants :

dex : "decimal exponential function"  
nex : "negative decimal exponential function"  
p : plus ; m : minus.

Mr Page dit qu'un avantage supplémentaire de ces propositions est qu'elles fourniraient une solution au problème considéré depuis longtemps par la CEI concernant l'indication des "parties par million", etc.

Le CCU n'estime pas devoir prendre une décision à cette session. Il demande à l'ISO/TC 12 d'examiner la question avec les organisations intéressées et de lui présenter un rapport sur ses conclusions.

#### PRÉFIXES

(Documents CCU/76-6, 7, 10(5), 15)

Mr Rudberg expose sa proposition pour l'extension de l'usage des préfixes et pour la mise entre parenthèses du symbole des unités composées afin que le préfixe s'applique globalement à ce symbole et non pas, selon la règle actuelle, seulement au symbole de l'unité simple qui suit le préfixe.

Bien que les membres tombent en général d'accord sur l'avantage qu'auraient cette proposition et d'autres analogues pour les unités composées, et en particulier pour les unités inverses telles que le  $m^{-1}$ , le CCU estime qu'il n'y a pas lieu de proposer un changement de la règle actuelle avant l'étude du rapport que l'ISO/TC 12 doit faire sur la manière d'exprimer

les puissances décimales. En effet, comme le fait remarquer le *Président*, si une méthode satisfaisante pour ces exposants était à notre disposition, non seulement les préfixes deviendraient moins nécessaires, mais on ne serait plus limité, pour les grands exposants (positifs ou négatifs), aux seuls exposants multiples de 3.

NOMS ET SYMBOLES POUR LE NOMBRE 1  
ET POUR "PARTIES PAR MILLION", ETC.

Mr *Bager* informe le CCU du résultat de l'enquête menée auprès des comités nationaux du Comité d'Etudes N° 25 de la CEI sur ces deux questions dont le CCU avait aussi discuté à sa précédente session (CCU, 4<sup>e</sup> session, 1974, p. U 4 et p. U 15) <sup>(5)</sup>.

Si l'emploi de "parties par million" est unanimement déconseillé, aucun accord n'a pu se réaliser sur une solution de remplacement. Il a été suggéré d'employer des expressions telles que  $\mu\text{g/g}$  ; mais, comme le fait remarquer Mr *Page*, cette méthode devient incommode pour les unités composées un peu compliquées, par exemple  $(\mu\Omega/\text{K})/(\Omega/\text{K})$ .

Le CCU prend note de cette information sans autre commentaire.

PROPOSITIONS ET QUESTIONS DIVERSES

*Propositions de la Pologne et de l'U.R.S.S. sur l'emploi du SI.* - A la 15<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (1975), la Pologne avait présenté une proposition (*Comptes rendus 15<sup>e</sup> CGPM*, p. 100 et Document CCU/76-4) au sujet de l'introduction du SI dans les divers pays et de l'uniformisation des délais d'utilisation des unités qui sont en dehors du SI. Une proposition de l'U.R.S.S. dans le même sens avait été présentée au début de la session par Mr *Oleinik* (Document CCU/76-21).

Le CCU considère que les organisations nationales, beaucoup plus que les organisations internationales, ont un rôle important à jouer pour la diffusion du SI, cette action

---

<sup>(5)</sup>Le document "ISO/TC 12 (Secretariat-263) 662", qui donne le résumé de l'enquête menée en décembre 1974 par l'ISO/TC 12 auprès de ses membres au sujet d'un symbole et d'un nom pour le nombre 1, a été diffusé aux membres du CCU le 16 août 1976.

s'exerçant par une large diffusion de la brochure originale du BIPM sur le SI ou de ses traductions dans les diverses langues. L'usage progressif du SI dans les divers pays conduira inévitablement à la disparition des unités en dehors du SI qui sont encore maintenues temporairement.

Le *Président* conclut en proposant que le CIPM examine les possibilités d'atteindre rapidement ce but.

*Indication de la grandeur mesurée sur les appareils de mesure.* - Mr *Allisy* souhaiterait que les appareils de mesure portent non seulement l'indication de l'unité de la grandeur mesurée, mais aussi l'indication de la grandeur elle-même. Il propose en conséquence que le CCU adopte une recommandation dans ce sens.

Le *Président* estime que cette demande est justifiée, mais qu'elle est beaucoup plus du domaine de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) que de celui du CCU.

#### RÉSUMÉ DES CONCLUSIONS

1. Des modifications et adjonctions à apporter à la 2<sup>e</sup> édition (1973) de la brochure du BIPM sur le SI sont discutées et adoptées (pp. U 3 à U 5, p. U 6).
2. Le CCU décide de proposer au CIPM que la lettre "L" (el majuscule) soit adoptée pour le symbole du litre, en remplacement de "l" (el minuscule) (p. U 5).
3. Le CCU est informé des recommandations du CCPR (septembre 1975) concernant les propositions de remplacement de la candela par le lumen en tant qu'unité SI de base, et de définition du lumen à partir d'une radiation monochromatique de fréquence spécifiée (p. U 7).
4. Dans le domaine des rayonnements ionisants, le gray est l'unité des grandeurs physiques suivantes : énergie communiquée massique, kerma, dose absorbée, indice de dose absorbée.  
Le nom de l'unité pour la grandeur "équivalent de dose", grandeur qui comporte un facteur biologique, est actuellement en discussion à l'ICRU et à l'ICRP (p. U 8).
5. Pour les grandeurs qui comportent des fonctions de pondération ou un facteur biologique, le CCU considère que ceux-ci ne doivent pas intervenir dans la définition des unités, mais

uniquement dans la définition des grandeurs. Le BIPM est chargé de préparer un rapport sur cette question.

6. Des propositions sont examinées pour exprimer les puissances de 10 (p. U 8) et pour l'extension de l'emploi des préfixes décimaux (p. U 9). Aucune décision n'est prise dans l'attente du résultat d'une enquête confiée à l'ISO/TC 12.

7. Le CCU est informé de l'état actuel des propositions concernant les noms et symboles pour le nombre 1 et pour "parties par million", etc. Aucune action du CCU n'est envisagée.

8. Aux questions diverses (p. U 10), le CCU a discuté de la diffusion du SI et d'une proposition - qui est plutôt du domaine de l'OIML - relative à l'indication de la grandeur mesurée sur les appareils de mesure.

\*  
\* \*

Au terme de cette session, le *Président* remercie ses collègues pour leur participation. Au nom de tous les membres, Mr *Terrien* remercie le Président pour la préparation des travaux et la conduite des discussions.

(6 juillet 1976 ;  
révisé en octobre 1976)

---

# NOTICE NÉCROLOGIQUE

---

## ULRICH STILLE

(1910-1976)

par D. KIND

---

Le 7 mars 1976, le professeur Dr. phil. habil Ulrich Stille, président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de 1970 à 1975, est décédé à la suite d'une maladie grave.

U. Stille est né en 1910 à Berlin. De 1927 à 1933 il fit ses études de physique, mathématique, chimie et électricité appliquée à l'École polytechnique de Hanovre ainsi qu'aux Universités de Munich et de Göttingen. En 1933, il fut promu docteur ès sciences de l'Université de Göttingen, avec une thèse sur un sujet appartenant au domaine des décharges électriques dans les gaz, sujet qu'il prépara sous la direction de James Franck, prix Nobel; jusqu'en 1937, il était assistant à l'Institut II de physique. Les années d'apprentissage passées à Göttingen et le privilège de rencontrer quelques-uns des physiciens les plus éminents de notre siècle représentaient pour lui des stimulations scientifiques et humaines d'une importance capitale.

En 1937, U. Stille suivit son maître Günther Cario à Brunswick. Il devint maître-assistant et, plus tard, maître-ingénieur à l'Institut de physique de l'École polytechnique de Brunswick. En 1938, il obtint l'agrégation et, un an plus tard, la « *venia legendi* » pour la physique. A cette époque, il s'occupait de problèmes appartenant à la physique atomique, à la physique des plasmas et à la spectroscopie moléculaire; en outre, il travaillait déjà sur la détermination de constantes atomiques et s'occupait d'unités. Un nombre considérable de publications témoigne d'un travail scientifique fructueux.

En 1948, la PTB d'aujourd'hui s'installa aux portes de Brunswick. Dans cette même année, le professeur Stille entra dans cette organisation qui avait succédé à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt; il était donc dès le début présent à la réédification de cette institution. Son avancement continu jusqu'à sa nomination au poste de président prouve la grande estime dont il jouissait à l'intérieur et à l'extérieur de la PTB et, tout particulièrement, sur le plan international. Pendant ses vingt-sept ans de présence à la PTB, il publia près de 80 travaux scientifiques; un grand nombre d'entre eux concerne des sujets ambitieux tels que les unités, les systèmes d'unités et les constantes fondamentales. On notera spécialement son livre bien connu, « *Messen und Rechnen in der Physik* », paru en 1955, qui est devenu un ouvrage de référence de renommée internationale.

Il fut nommé membre de diverses organisations nationales et internationales s'occupant de physique en général et de métrologie en particulier. Ces nominations aussi honorifiques qu'importantes allaient de pair avec

les responsabilités croissantes qu'il assumait à la PTB. U. Stille était considéré comme l'autorité compétente pour toutes les questions concernant les grandeurs et unités ainsi que pour les systèmes des notions de la physique et pour sa nomenclature.

Lorsqu'il fut élu vice-président du Comité International des Poids et Mesures en juin 1975, il considéra ce fait — et à juste titre — comme le couronnement de son activité scientifique et métrologique. Une maladie cruelle l'a empêché de continuer, dans cette nouvelle fonction plus importante, la grande œuvre du Système International d'Unités destinée à unir les peuples, œuvre à laquelle il avait déjà consacré tant de travail.

Le portrait d'Ulrich Stille serait incomplet sans l'appréciation de son engagement en faveur des étudiants de l'Université technique de Brunswick. Nommé professeur à titre exceptionnel en 1952, il a tenu compte de sa vocation d'enseignant académique malgré ses lourdes charges professionnelles. Ses brillants cours de physique atomique étaient, durant de nombreuses années, parmi les plus importants pour les étudiants en physique. Même pendant les dernières années, lorsqu'il était déjà marqué par sa maladie, son emploi du temps était établi selon ses heures de cours.

U. Stille était un physicien de grand talent. La preuve en est fournie non seulement par l'incroyable étendue de ses connaissances, mais avant tout par l'exactitude sans compromis avec laquelle il était capable de développer sa science et de la décrire dans plusieurs langues. Ses questions étaient souvent incisives quand il avait remarqué qu'une formule floue émanait d'une pensée imprécise. Dans une telle situation, sa mémoire extraordinaire lui permettait de dégager rapidement le fond du problème.

Il faisait souvent souffrir ses collaborateurs, car il était un travailleur infatigable. Il ne ménageait point sa propre personne et exigeait, par conséquent, un engagement semblable des autres. A d'aucuns il devait paraître difficilement accessible, parfois même quelque peu solitaire. Il était inexorablement sévère envers lui-même et conserva une attitude admirable dans la dernière épreuve que lui infligea sa grave maladie.

Il gardait dans ses tâches scientifiques une vaste vue d'ensemble. Ainsi la mesure, ou la technique des mesurages, étaient pour lui des notions trop étroites; métrologie lui paraissait être une expression plus adéquate. Dans une notice nécrologique, il citait une fois l'historien Theodor Mommsen: « L'art de mesurer soumet le monde à l'homme; par l'art d'écrire, les connaissances cessent d'être aussi éphémères que lui; ces deux arts donnent à l'homme ce que la nature lui a refusé, l'omnipotence et l'éternité. »

Il y a contribué dans la plénitude de ses moyens. Il a rempli son devoir et même bien plus que cela. Nous lui devons notre reconnaissance.

(Traduit de PTB-Mitteilungen, Juni 1976)

U. Stille était l'un des membres les plus actifs du Comité International des Poids et Mesures; il a marqué de sa personnalité les travaux de plusieurs Comités Consultatifs et ceux du Comité International dont il était membre depuis 1970. Sa disparition prématurée, survenue peu de temps après son élection à la vice-présidence du Comité International, a été vivement ressentie par tous ses collègues.

---

# INDEX

- Bâtiments  
dépendances, 25  
Observatoire (terrasson; salles 5 et 15), 24  
Petit Pavillon (façade, gouttières, logement gardien), 25  
Billion, 10  
Budget 1977, 17, 18
- Caisse de retraites et de prévoyance, 19  
Certificats, Notes d'études, 103  
Colorimétrie, fonctions  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ , P 6; sanction, 4  
Comités Consultatifs  
composition, 13  
Définition de la Seconde, 11  
Photométrie et Radiométrie, 4; rapport 8<sup>e</sup> session, P 1  
réunions futures, 13  
Thermométrie, 10; rapport 11<sup>e</sup> session, T 1  
Unités, 5; rapport 5<sup>e</sup> session, U 1  
Comité International  
bureau du, 3  
composition, VII  
décès (U. Stille), 2, 3, XI  
élection (D. Kind), 2, 3  
rapport du Secrétaire, 3  
vice-présidence (élection de P. Honti), 2  
Comparaisons internationales  
étalons de capacité électrique 10 pF, 61  
étalons d'exposition, 63, 65  
étalons à traits (organisation de), 29  
sources radioactives (<sup>139</sup>Ce, <sup>134</sup>Cs), 72  
Comparsateur photoélectrique et interférentiel, 26  
Comptes, 4, 119
- Dépôt des prototypes métriques, visite, 16  
Dilatomètre interférentiel de 1 m, 32  
Documentation, 108  
Dotation du BIPM, mode de répartition (proposition du Chili), 22
- Échelle Internationale Pratique de Température, T 2  
Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 et 30 K, T 4; adoption, 11  
Échelles de temps (voir Temps)  
Efficacité lumineuse spectrale maximale ( $K_m$ ), P 4
- Électricité, 57  
appareil pour coefficient de  $\rho$  des étalons de résistance, 58  
comparaison installations Josephson du BIPM et de la PTB, 61  
conservation unité de f.é.m., 59  
enceintes thermorégulées, 60  
étalons capacité 10 pF, comparaisons internationales, 61  
mesure de  $2e/h$  en fonction  $V_{69-B1}$ , 59  
passage  $V_{69-B1}$  à  $V_{76-B1}$ , 60
- Étalons  
électriques (voir Électricité)  
d'exposition, 63, 65  
longueur  
à bouts, 30  
à traits, 28  
n° 5 pour mesure  $g$ , 30  
masse  
enquête sur comparaisons des, 45  
influence  $\rho$  et état hygrométrique sur, 41
- Fonctions  $V'(\lambda)$ ;  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ , P 6; sanction, 4
- Grandeurs comportant un facteur biologique (unité des), 7, U 7  
Gravimétrie, 48  
gravimètre absolu transportable, 50  
marées gravimétriques (enregistrements), 48  
station de Mizusawa, 50  
Gray, U 8
- Interférométrie, 33
- Josephson, effet (voir Électricité)
- Kilogrammes prototypes  
N° 41 (Tchécoslovaquie), N° 15 (Bavière), N° 42' (BIPM), 40  
nettoyage et lavage, 40
- Lasers asservis sur I et CH<sub>4</sub>, 33  
comparaisons interlaboratoires, 36-39  
comparaison de  $\lambda$ , 39  
Litre, symbole, 6, U 5  
Longueurs, 26
- Manométrie, 56  
Masses, 40  
Masse volumique  
eau, 43  
monocristal de Si, 45

- Mesures neutroniques  
débits de fluence  
instruments de transfert: chambre à fission  $^{238}\text{U}$ , 92; réaction  $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ , 94  
sources de neutrons  $\text{D}(d, n)^3\text{He}$ , 87;  $^3\text{H}(d, n)^4\text{He}$ , 92  
source Ra-Be( $\alpha, n$ ), don au BIPM, 98  
Mètres prototypes N° 29 (Suède), N° 3 (Norvège), 28  
*Metrologia*, 22
- Neutrons (voir Mesures neutroniques)  
Nombre 1, U 10  
Notices  
historique, V  
nécrologique (U. Stille), XI
- Organismes internationaux et nationaux, travaux en liaison avec, 108, P 2
- Parties par million, U 10  
Personnel du BIPM  
anniversaire, 50 ans de présence de H. Moreau, 23  
caisse de retraites et de prévoyance, 19  
décès adjoint honoraire (A. Bonhoure), 2, 24  
engagement, 24  
futurs directeur et sous-directeur, élection, 19  
liste du, IX  
nominations (adjoints), 19; 24  
statut, 19  
voyages, visites, conférences et exposés, 109
- Photométrie et radiométrie  
Comité Consultatif, 4; rapport 8<sup>e</sup> session, P 1  
efficacité lumineuse spectrale maximale ( $K_m$ ); P 4  
filtres  $V(\lambda)$ , P 8  
fonction  $V'(\lambda)$ , P 6; sanction, 4  
lampes étalons, P 8  
radiométrie absolue, P 7  
recommandations du CCPR, P 11  
sources de rayonnement de type corps noir, P 6
- Préfixes, extension de l'usage des, U 9  
Publications  
du BIPM, 99  
extérieures, 99  
monographies et rapports internes, 101  
Puissances de 10, expression des, U 8
- Questions administratives, 17
- Radiométrie (voir Photométrie)  
Radionucléides  
chambre d'ionisation  $4\pi\gamma$ , 76  
ensemble (N° 3) de comptage par coïncidences  $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ , 74  
expérience à taux de comptages élevés, 73  
solution de  $^{85}\text{Sr}$ , 74  
sources solides ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ), étalonnage et distribution, 74  
sources  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{139}\text{Ce}$ , comparaisons internationales, 72  
spectrométrie  $\alpha$ , 85  
statistiques de comptage, 79  
système international de référence pour mesures d'activité  $\gamma$ , 78  
Radium, source de neutrons Ra-Be( $\alpha, n$ ) de l'Union Minière (don au BIPM), 98  
Rayonnement  $\gamma$   $^{60}\text{Co}$ , 65  
coefficient d'atténuation du Si pour rayonnement 1,33 MeV, 71  
dose absorbée dans graphite, 68  
source de  $^{60}\text{Co}$ , 71  
Rayons X, 63  
Recommandations  
CC Photométrie et Radiométrie, P 11  
CC Thermométrie, T 8  
Règle géodésique I 5 (4 m), 32
- Spectrométrie  $\alpha$  (nouveau spectrographe), 78  
Statistiques de comptage  
densité d'intervalles pour processus stationnaire, 79  
méthode « source et oscillateur », 82  
Symbole, litre, 6, U 5  
Système International d'Unités, 5, 108, U 3
- Temps  
atomique international (TAI), 47; exactitude, 47
- Thermométrie  
Comité Consultatif, 10; rapport 11<sup>e</sup> session, T 1  
Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 et 30 K, T 4; adoption, 11  
points triples (argon, méthane, eau), 51-54  
recommandation du CCT, T 8  
Travaux du BIPM, exposé sur, 15  
Trillion, 10
- Unités  
Comité Consultatif, 5; rapport 5<sup>e</sup> session, U 1  
conclusions du CCU, U 11  
des grandeurs comportant un facteur biologique, 7, U 7  
gray, U 8  
litre, symbole, 6, U 5  
photométriques, 4, P 3, U 7  
Système International d', préparation brochure 3<sup>e</sup> édition, 5, 9, U 3, U 6
- Visites et stages au BIPM, 114  
Voyages, visites, conférences et exposés du personnel, 109

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

### COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

65<sup>e</sup> Session (Septembre 1976)

---

	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
Procès-verbaux des séances, 28-30 septembre 1976 .....	1
Ouverture de la session; nouveau membre (D. Kind); décès du vice-président; décès de A. Bonhoure (adjoint honoraire du BIPM) et de V. O. Aroutunov (directeur de l'IMM, Leningrad) .....	1
Vice-présidence du CIPM: élection de P. Honti .....	2
<i>Rapport du Secrétaire du CIPM</i> (Convention du Mètre: aucun changement dans la liste des États membres. Membres du CIPM: décès du vice-président U. Stille; élection de D. Kind. Réunions de Comités Consultatifs et du bureau du CIPM. Indica- tions financières) .....	3
<i>Rapports des Comités Consultatifs</i> : discussion des conclusions et des recom- mandations	
<i>Photométrie et Radiométrie</i> (8 <sup>e</sup> session) (Unités photométriques. Sanction des fonctions $V'(\lambda)$ et $\bar{x}(\lambda)$ , $\bar{y}(\lambda)$ , $\bar{z}(\lambda)$ ) .....	4
<i>Unités</i> (5 <sup>e</sup> session) (Révision de la brochure sur le SI. Symbole du litre: maintien de « l »; abréviation « ltr. ». Grandeurs comportant un facteur biologique; cas de l'équivalent de dose. Suggestions pour la 3 <sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI. Billion et trillion) .....	5
<i>Thermométrie</i> (11 <sup>e</sup> session) (Préparation du remplacement de l'EIPT-68 amendée en 1975. Autorisation d'emploi de l'« Échelle Provisoire de Température de 1976 entre 0,5 K et 30 K ») .....	10
Activités d'autres Comités Consultatifs:	
Définition de la Seconde (Accord du CIPM pour effectuer un ajustement du TAI le 1 <sup>er</sup> janvier 1977. Question du pilotage du TAI) .....	11
Rayonnements Ionisants. Définition du mètre .....	12
Réunions futures des Comités Consultatifs .....	13

Révision provisoire de la composition des Comités Consultatifs (CEMRI (Section I) : ETL, Japon et LMRI, France; CCDM : INM, France; CCPR : E. Ingelstam, Suède; CCE : Van Swinden Laboratorium, Pays-Bas et Institut National de Métrologie, Roumanie. Remarques générales sur la composition des Comités Consultatifs) ..	13
Travaux du BIPM (Exposé sur les principales activités scientifiques [voir détails plus loin]) .....	15
Visite du dépôt des Prototypes métriques .....	16
<i>Questions administratives</i> : Exercice 1975 (Question de la valeur du franc-or). Examen et adoption du budget pour 1977 (Question des monnaies non convertibles; remise par l'U.R.S.S. de matériel scientifique). Caisse de retraites et de prévoyance (Modification du règlement). Statut du personnel (Additif pour l'octroi d'allocations à caractère familial). Personnel (Nomination au grade d'adjoint de G. Girard et T. Witt) .....	17
Désignation des futurs directeur et sous-directeur du BIPM (P. Giacomo, sous-directeur actuel, est élu « directeur désigné »; le poste de sous-directeur sera confié à T. J. Quinn, de nationalité britannique) .....	19
Proposition du Chili concernant la répartition des contributions des États membres de la Convention du Mètre (Le CIPM maintient le mode de répartition actuel) .....	22
<i>Questions diverses</i> :	
Situation de la revue internationale <i>Metrologia</i> .....	22
Cinquantième anniversaire de l'entrée de H. Moreau au BIPM .....	23
<b>Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures (octobre 1974 — septembre 1976) .....</b>	<b>24</b>
I. PERSONNEL. — Remarques générales. Engagement (B. Bodson) .....	24
II. BÂTIMENTS. — Observatoire (Réfection de la toiture de l'entrée. Installation et aménagement d'une cabine dans la salle 5. Installation électrique et de climatisation de la salle 15). Petit Pavillon (Ravalement des façades; réparation des gouttières. Installation d'une salle de bains dans le logement du gardien). Dépendances (Peinture des façades du garage et de la menuiserie. Réfection du chemin d'accès à l'atelier de mécanique) .....	24
III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX .....	25
Remarques générales .....	25
<i>Longueurs</i> . — Comparateur photoélectrique et interférentiel (Révision et vérifications. Dispositif numérique d'affichage. Enregistrement de données numériques sur ruban magnétique) .....	26
Étalons à traits (Mètres prototypes N° 29 [Suède] et N° 3 [Norvège]. Règles N°s 68 et 5847 [Tchécoslovaquie], N° 157 [Inde], N° 10230 [Organ. Europ. Rech. Nucléaire], N° 15566 [France], N° 15175 [Norvège], N° 12924 [BIPM]. Organisation de comparaisons internationales de mesures de deux règles divisées)	28
Étalons à bouts (Étalon N° 5 pour la mesure de <i>g</i> . Calibres) .....	30
Dilatomètre interférentiel de 1 m (Poursuite de son étude) .....	32
Base géodésique (Règle I 5; fils; invar) .....	32
<i>Interférométrie</i> . — Lasers asservis sur l'absorption saturée de I <sub>2</sub> et CH <sub>4</sub> :	
Études et améliorations (Électronique associée. Longévité. Décalages de fréquence. Laser à fréquence décalée. Étalonnages. Collaboration avec d'autres laboratoires. Développements envisagés) .....	33
Comparaisons entre cinq laboratoires (BIPM, PTB, INM, NPL, IMGC) de lasers asservis sur l'iode .....	36

Comparaison entre trois laboratoires (BIPM, PTB, NPL) de lasers asservis sur le méthane .....	38
Comparaison des longueurs d'onde de lasers asservis sur le méthane et sur l'iode .....	39
Divers .....	40
<i>Masses.</i> — Kilogrammes prototypes (Détermination de la masse des Kilogrammes N° 41 [Tchécoslovaquie] et N° 15 [Bavière]. Kilogramme N° 42' [BIPM])	40
Effet de nettoyages-lavages répétés sur la masse de deux Kilogrammes en platine iridié .....	40
Influence de la pression et de l'état hygrométrique sur les étalons de masse (Premiers résultats obtenus). Hygromètres du BIPM (Étalonnage) .....	41
Masse volumique de l'eau (Vérification de la validité de la formule théorique pour le calcul de la correction d'isotopie) .....	43
Masse volumique d'un monocristal de silicium .....	45
Enquête sur les mesures de masse en vue d'une réunion au BIPM ....	45
Études courantes. Divers (Achats de matériel. Cylindres en platine iridié. Détermination de $g$ et de son gradient à la salle des balances) .....	45
<i>Échelles de temps.</i> — Temps Atomique International (Établissement et diffusion; exactitude) .....	47
<i>Gravimétrie.</i> — Marées gravimétriques (Résultats obtenus avec le gravimètre à ressort) .....	48
Station gravimétrique de Mizusawa, Japon (Poursuite de la collaboration avec le BIPM) .....	50
Gravimètre absolu transportable (Résultats après sa mise en service)	50
<i>Thermométrie.</i> — Échelle Internationale Pratique de Température (Réalisation des points triples de l'argon, du méthane, de l'eau. Four pour la comparaison de thermomètres. Ponts de mesure) .....	51
Températures thermodynamiques (L'étude par pyrométrie infrarouge va être étendue au domaine 419-630 °C) .....	55
Études courantes .....	55
<i>Manométrie.</i> — Réglage du manobaromètre interférentiel installé à Moscou. Études courantes .....	56
<i>Électricité.</i> — Équipement des salles de mesure; achats de matériel. Reconstruction du pont double principal .....	57
Dispositif pour l'étude du coefficient de pression des étalons de résistance	58
Conservation de l'unité de force électromotrice au BIPM (Adoption de $V_{76-BI}$ après la mise en œuvre de l'effet Josephson. Mesure de $2e/h$ en fonction de $V_{69-BI}$ . Passage de $V_{69-BI}$ à $V_{76-BI}$ . Nouveaux groupes de référence. Construction d'enceintes thermorégulées pour piles) .....	59
Comparaison des installations Josephson du BIPM et de la PTB ....	61
Comparaison de $V_{76-BI}$ à $V_{NPL}$ (Expérience en cours) .....	61
Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF .....	61
Études courantes .....	62
<i>Photométrie.</i> — Installations de mesure. Études courantes .....	62
<i>Rayons X et <math>\gamma</math>.</i> — Rayons X: Mesure de l'exposition et comparaisons internationales (Rayons X d'énergie moyenne; rayons X de faible énergie. Étalonnage de chambres de transfert) .....	63

Rayonnement $\gamma$ du $^{60}\text{Co}$ : Mesure de l'exposition (Amélioration de l'installation, Comparaisons internationales d'étalons d'exposition, Mesure de la dose absorbée dans le graphite (Masse volumique du graphite du fantôme, Spectre du rayonnement diffusé de la source de $^{60}\text{Co}$ , Calculs théoriques concernant la mesure de la dose absorbée, Installation d'une nouvelle source de $^{60}\text{Co}$ de 170 TBq) .....	65
Coefficient d'atténuation du silicium pour un rayonnement $\gamma$ de 1,33 MeV .....	70
<i>Radionucléides.</i> Étalonnage de sources radioactives (Comparaisons préliminaires, $^{139}\text{Ce}$ et $^{134}\text{Cs}$ , Comparaison internationale d'une solution de $^{139}\text{Ce}$ , Expérience à taux de comptage élevés), Ensemble N° 3 de comptage par coïncidences $4\pi\beta$ (CP)- $\gamma$ , Étalonnage et distribution de sources solides, Mesures sur une solution de $^{85}\text{Sr}$ .....	72
Chambres d'ionisation $4\pi\gamma$ (Équipement; mesures préliminaires; comparaisons de sources; système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons $\gamma$ ) .....	76
Statistiques de comptage (Densité d'intervalles pour un processus stationnaire, Description rigoureuse de la méthode « source et oscillateur », Autres travaux) .....	79
Spectrométrie $\alpha$ (Nouveau spectrographe, Mesures de contrôle) .....	85
<i>Mesures neutroniques.</i> — Source de neutrons $\text{D}(\text{d},\text{n})^3\text{He}$ (Conditions expérimentales; résultats expérimentaux et discussion) .....	87
Nouvelle source de neutrons $^3\text{H}(\text{d},\text{n})^4\text{He}$ (Mesure du débit de fluence de neutrons; instruments de transfert; chambre à fission ( $^{238}\text{U}$ ), détecteur utilisant la réaction $^{56}\text{Fe}(\text{n},\text{p})^{56}\text{Mn}$ ) .....	92
Don au BIPM d'une source Ra-Be par l'Union Minière (Bruxelles) ....	98
Centenaire de la Convention du Mètre et du BIPM (Ouvrage et articles publiés; participation à l'exposition « Métrologie, année 100 ») .....	98
Publications du BIPM .....	99
Publications extérieures .....	99
Monographies et Rapports internes .....	101
Certificats et Notes d'étude .....	103
IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES .....	108
Documentation; Système International d'Unités .....	108
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux ....	108
Voyages, visites, conférences, exposés du personnel .....	109
Visites et stages au BIPM .....	114
V. COMPTES .....	119
Rapport du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (8 <sup>e</sup> Session-1975) au CIPM, par E. J. Gillham .....	P 1
Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie (11 <sup>e</sup> Session-1976) au CIPM, par M. Durieux .....	T 1
Rapport du Comité Consultatif des Unités (5 <sup>e</sup> Session-1976) au CIPM, par P. Vigoureux .....	U 1
Notice néerologique	
U. Stille, par D. Kind .....	XI
INDEX .....	XIII