

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

# PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES

---

TOME 49

---

70<sup>e</sup> SESSION — 1981



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

N° ISBN 92-822-2071

---

## 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 actuellement tous les quatre ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système International d'Unités (SI), forme moderne du Système Métrique ;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et d'adopter les diverses résolutions scientifiques de portée internationale ;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents ; il se réunit actuellement tous les ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau International.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau International ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937) et des rayonnements ionisants (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la Section des rayonnements ionisants.

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International ; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. La dotation annuelle du Bureau International est de l'ordre de 8 550 000 francs-or (en 1981), soit environ 15 500 000 francs français.

---

<sup>(1)</sup> Au 31 décembre 1981, quarante-cinq États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

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

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

1. Le Comité Consultatif d'Électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité Consultatif de Photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité Consultatif des Unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité Consultatif a remplacé la « Commission du Système d'Unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

Les travaux de la Conférence Générale, du Comité International, des Comités Consultatifs et du Bureau International sont publiés par les soins de ce dernier dans les collections suivantes :

- *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* ;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures* ;
- *Sessions des Comités Consultatifs* ;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (ce Recueil hors commerce rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports 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 8 octobre 1981

---

*Président*

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

*Secrétaire*

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

*Membres*

3. E. AMBLER, Directeur du National Bureau of Standards, Washington D.C. 20234.
4. A. BRAY, Directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10137 Torino.
5. L. CINTRA DO PRADO, Professeur à l'Université de São Paulo, Alameda Itu, 265 (Apt. 101), 01421 São Paulo, SP.
6. B. GUINOT, Astronome titulaire de l'Observatoire de Paris, 61 avenue de l'Observatoire, 75014 Paris.
7. H. H. JENSEN, Professeur, H. C. Ørsted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium 1, Universitetsparken 5, 2100 København Ø. *Secrétaire-Adjoint.*
8. M. KAWATA, Directeur du National Research Laboratory of Metrology, 1-4, 1-chome, Umezono, Sakura-Mura, Niihari-Gun, Ibaraki 305 (Japon).

9. D. KIND, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig. *Vice-Président.*
10. V. I. KIPARENKO, Vice-Président du Comité d'État des Normes du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S., Leninski prosp. 9 b, 117049 Moscou.
11. A. PERLSTAIN, Directeur de l'Office Fédéral de Métrologie, Lindenweg 24, 3084 Wabern (Suisse).
12. H. PRESTON-THOMAS, Directeur Associé de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, Ottawa K1A 0S1.
13. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 Uppsala 1 (Suède).
14. J. SKAKALA, Directeur-Adjoint pour la Recherche Scientifique, Institut Métrologique Tchécoslovaque, Podunajské Biskupice, Géologická 1, Bratislava.
15. R. STEINBERG, Chef du Département de Physique et Métrologie, Instituto Nacional de Tecnologia Industrial, 1101 Buenos Aires.
16. A. R. VERMA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, New Delhi 12.
17. WANG Daheng, Directeur de l'Institut d'Optique et de Mécanique de Précision, Chanchun (Rép. Pop. de Chine).
18. ...

*Membres honoraires*

1. A. V. ASTIN, Director-Emeritus, National Bureau of Standards, Washington D.C. 20234.
  2. L. M. BRANSCOMB, Old Orchard Road, Armonk, N.Y. 10504.
  3. L. DE BROGLIE, de l'Académie Française, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, 94 rue Perronet, 92200 Neuilly-sur-Seine.
  4. N. A. ESSERMAN, 2/29 A Stawell Street, Kew, Victoria 3101.
  5. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P 2G2.
  6. M. KERSTEN, Knappstrasse 8, 3300 Braunschweig.
  7. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, N.S.W. 2110.
  8. J. M. OTERO, Alfonso XII, 32, Madrid 14.
  9. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, 1180 Wien.
-

---

LISTE DU PERSONNEL  
DU  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

au 1<sup>er</sup> janvier 1982

---

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

*Physiciens Chercheurs principaux*

A. Allisy, A. Rytz, P. Carré.

*Physiciens et Métrologistes*

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

*Techniciens de laboratoire*

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

*Atelier de mécanique*

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

*Administrateur*

J. Gaillard.

*Secrétaires*

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

*Gardiens*

A. Montbrun, L. Lecoufflard.

*Services d'entretien généraux*

A. Gama, M<sup>me</sup> A. Perez, 3 employés (contractuels).

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

*Métrologiste honoraire* : H. Moreau

---

## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

---

1. Ouverture de la session; quorum; approbation de l'ordre du jour.
  2. Rapport du Secrétaire (Rapport sur les activités du bureau du Comité).
  3. CIPM : sièges vacants (Proposition du bureau du Comité concernant le mode de travail).
  4. CGPM : Rapport du Groupe de travail *ad hoc* de la 16<sup>e</sup> CGPM.
  5. Comités Consultatifs et Groupes de travail
    - Rapport définitif du CCDS;
    - Rapports provisoires du CCM et du CCEMRI;
    - Rapport du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes;
    - Rapport du Groupe de travail commun CCDM/CCU;
    - Réunions futures des Comités Consultatifs.
  6. Travaux du BIPM (Présentation des travaux métrologiques; dosimétrie neutronique; projet de rénovation du bâtiment de la menuiserie).
  7. Visites des laboratoires et du dépôt des Prototypes métriques.
  8. Questions administratives (Règlement administratif et financier; budgets).
  9. Questions diverses (Utilisation de la langue anglaise).
-

# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

70<sup>e</sup> SESSION (Octobre 1981)

---

## PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES À SÈVRES

Présidence de Mr J. V. DUNWORTH

---

Le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 70<sup>e</sup> session du mardi 6 octobre au jeudi 8 octobre 1981. Il a tenu cinq séances au Pavillon de Breteuil à Sèvres.

Étaient présents : MM. AMBLER, BRAY, DE BOER, CINTRA DO PRADO, DUNWORTH, GUINOT, JENSEN, KAWATA, KIND, KIPARENKO, PERLSTAIN, PRESTON-THOMAS, SIEGBAHN \*, SKAKALA, STEINBERG, WANG DAHENG, GIACOMO (directeur du BIPM). Excusé : Mr VERMA.

Assistaient aussi aux séances : Mr QUINN (sous-directeur du BIPM); invités : MM. BLEVIN, DEAN, TERRIEN; interprètes : MM. Oboukhov, Sakuma; secrétaire : M<sup>lle</sup> Monprofit.

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

Le Président rappelle que P. Honti est décédé le 6 mars 1981.

Le Président constate que le quorum est atteint; le Comité peut donc délibérer valablement.

L'ordre du jour ne donnant lieu à aucun commentaire est adopté.

Le Président donne la parole au Secrétaire, Mr de Boer, pour la présentation de son Rapport.

### 2. Rapport du Secrétaire du CIPM (7 octobre 1980 – 5 octobre 1981)

1. États membres de la Convention du Mètre. — La liste des États membres est demeurée inchangée et comporte toujours 45 États.

---

\* Mr Siegbahn a été empêché d'assister à la dernière séance.

## 2. Membres du CIPM.

Décès. — P. Honti, qui était membre du Comité depuis 1969 et Vice-Président depuis 1976, est décédé le 6 mars 1981.

Démission. — Mr Y. Sakurai, par lettre du 26 septembre 1980, nous a confirmé son intention de se retirer du CIPM car il a quitté le NRLM pour occuper une Chaire de Professeur au Chiba Institute of Technology.

Élections. — Afin de pourvoir les sièges devenus vacants par la démission de Mr Y. Sakurai et celle de Mr J. M. Otero, dont le CIPM avait été informé lors de sa dernière session, il a été procédé à deux votes par correspondance à scrutin secret.

Mr M. Kawata a été élu au siège laissé vacant par Y. Sakurai et Mr A. Bray à celui laissé vacant par J. M. Otero.

Les dépouillements de ces deux votes ont eu lieu respectivement les 28 avril et 29 mai 1981.

Mr Kawata est le nouveau Directeur du NRLM à Tsukuba, Japon. Mr A. Bray est Directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, à Turin, Italie.

## 3. Réunion du Groupe de travail *ad hoc* de la Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures. — Le Groupe de travail *ad hoc* de la 16<sup>e</sup> Conférence Générale s'est réuni les 14, 15 et 16 octobre 1980 au Pavillon de Breteuil. Un rapport sur cette réunion a été diffusé aux membres du CIPM, aux participants et à tous les États membres de la Convention du Mètre.

## 4. Réunions de Comités Consultatifs

— Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées a tenu sa première session les 23, 24 et 25 juin 1981 sous la présidence de A. Perlstain.

— Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants a tenu sa 9<sup>e</sup> session les 27 et 28 juillet 1981 sous la présidence de E. Ambler ; cette session avait été préparée par les réunions des trois sections du CCEMRI :

- la Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) s'est réunie du 3 au 5 juin 1981 sous la présidence de W. A. Jennings,
- la Section II (Mesure des radionucléides) s'est réunie du 5 au 7 mai 1981 sous la présidence de H. M. Weiss,
- la Section III (Mesures neutroniques) s'est réunie du 25 au 27 mai 1981 sous la présidence de R. S. Caswell.

— Les 28 et 29 avril 1981 s'est tenue la réunion du Groupe de travail CCDM/CCU en vue de la nouvelle définition du mètre. Cette réunion faisait suite à la discussion de ce sujet à la dernière session du CIPM.

— Les 21, 22 et 23 octobre 1980 s'est tenue la réunion du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes. Cette réunion faisait suite à une

enquête effectuée par le BIPM sur ce problème auprès des laboratoires nationaux et de certaines organisations internationales.

Toutes ces réunions se sont tenues au Pavillon de Breteuil. Chacune a fait l'objet d'un rapport qui sera présenté au CIPM au cours de cette session.

5. Bureau du Comité. — Le bureau du CIPM s'est réuni plusieurs fois, au Pavillon de Breteuil. Il a examiné régulièrement les questions concernant les élections des nouveaux membres, le projet de réaménagement de la menuiserie, les travaux des Comités Consultatifs, les relations avec les autres organismes internationaux et le fonctionnement courant du Bureau International. Un rapport plus complet sur les activités du bureau sera présenté au Comité pendant cette session.

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

Comptes	1978	1979	1980	1981
I. — Fonds ordinaires . . . . .	6 944 249,39	7 197 155,31	7 857 492,58	7 819 501,18
II. — Caisse de retraites . . . . .	1 366 601,28	1 661 363,00	2 079 024,14	2 599 050,11
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique . . . . .	441 792,00	441 792,00	441 792,00	441 792,00
IV. — Caisse de prêts sociaux . . . . .	11 968,68	19 096,90	73 011,41 (*)	83 011,67 (b)
V. — Réserve pour les bâtiments . . . . .				300 000,00
Totaux . . . . .	8 764 611,35	9 139 407,21	10 451 320,13	11 243 354,96

(\*) Créances incluses soit 62 964,83 FO

(b) Créances incluses soit 61 816,48 FO

Mr de Boer poursuit en présentant un rapport sur l'activité du bureau du CIPM. En effet, à la suite de diverses discussions, le bureau du Comité a décidé de présenter à chaque session un rapport exposant avec quelques détails les questions traitées depuis la dernière session. Il passe en revue les diverses questions qui ont été étudiées par le bureau et qui font l'objet de plusieurs propositions ; il en sera rendu compte ultérieurement en suivant l'ordre du jour de la session.

Mr de Boer attire l'attention du Comité sur le problème de la publication des Procès-Verbaux du CIPM. Il apparaît que certaines parties des discussions internes du Comité ne sont d'aucun intérêt pour des lecteurs qui ne sont en fait intéressés que par les décisions effectives prises par le Comité. Le bureau suggère donc de n'imprimer dans la série des *Procès-Verbaux du CIPM* qu'un rapport succinct, étant bien entendu qu'un rapport détaillé des séances serait distribué aux membres du CIPM, comme par le passé, et conservé pour consultation dans les archives du BIPM. Les membres du Comité donnent leur approbation à cette suggestion.

Rappelant la récente création du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, Mr Kind souligne qu'il est souhaitable que chaque président de Comité Consultatif porte un intérêt particulier à la partie des laboratoires du BIPM qui le concerne et assume ainsi une responsabilité spéciale vis-à-vis du CIPM.

### 3. CIPM : sièges vacants

Les invités à la session n'assistent pas à la discussion sur ce point.

Mr Dunworth aborde pour commencer la question des élections au Comité. Trouver des personnalités à proposer comme candidats au CIPM est loin d'être une tâche aisée. Le bureau du Comité a toujours le souci de respecter un certain équilibre, en ayant autant que possible une représentation des grands pays industrialisés, ainsi qu'une certaine représentation des pays qui n'effectuent pas de travaux métrologiques importants. Toutes ces questions ont été longuement discutées au sein du bureau du Comité. Le Président ne souhaite pas susciter maintenant un échange de vues. Il demande seulement aux participants d'y réfléchir pour une discussion ultérieure. A la prochaine réunion du Comité, le bureau du Comité fera une proposition pour le mode de travail du CIPM.

Il propose, comme principe général, qu'aucune candidature ne soit présentée par le bureau du Comité et soumise à un vote sans avoir au préalable fait l'objet d'une discussion au Comité. Si, par exemple, un siège devenait vacant dans le cours de l'année, le bureau ne prendrait aucune mesure avant la prochaine session. Le Comité est d'accord sur cette façon d'opérer.

### 4. Rapport du Groupe de travail *ad hoc* de la 16<sup>e</sup> CGPM

Mr de Boer présente le rapport du Groupe de travail *ad hoc* de la Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures. Ce rapport a été diffusé aux États membres de la Convention du Mètre, aux participants du Groupe de travail et aux membres du CIPM. Jusqu'ici, il n'a donné lieu à aucun commentaire.

Le Groupe de travail *ad hoc* a demandé au Comité International de donner davantage de détails dans le Rapport Annuel ; cette demande paraît légitime. Le franc-or comme monnaie de compte a été contesté ; pour le moment, il ne semble pas y avoir d'autre solution, mais il faut étudier le problème.

Le Groupe de travail a aussi demandé que soit établi un Règlement administratif et financier. En effet, il incombe au CIPM de surveiller le fonctionnement du BIPM, il lui appartient donc d'établir ledit Règlement. Le bureau du Comité a préparé, dans ce but, un projet qui sera discuté au point 8 de l'ordre du jour de la présente session.

## 5. Comités Consultatifs et Groupes de travail

Deux Comités Consultatifs se sont réunis depuis octobre 1980 : le CCM et le CCEMRI, ainsi que les trois sections de ce dernier. Par ailleurs, un Groupe de travail réunissant des représentants du CCU et du CCDM a rapproché les points de vue de ces deux Comités concernant la rédaction d'une nouvelle définition du mètre en vue de la présenter à la prochaine CGPM.

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

Le CCDS s'était réuni en 1980 durant la semaine qui précédait la 69<sup>e</sup> session du CIPM. Dans ces conditions, le président du CCDS, Mr Guinot, n'avait pu présenter au CIPM qu'un rapport verbal. Mr Guinot commente le rapport qui a été distribué depuis lors (*voir* p. S 1). Il est heureux de souligner que la définition de la seconde à partir d'une transition du césium n'est pas remise en question : il semble toujours qu'elle constitue le meilleur choix. En ce qui concerne les étalons à jet de césium, il semble que l'on atteigne maintenant une exactitude de  $1 \times 10^{-14}$  et que des progrès soient encore possibles. Divers laboratoires ont entrepris des travaux visant encore à une amélioration des résultats. On constate aussi des progrès dans le fonctionnement des horloges, en particulier des horloges de type commercial, et des masers à hydrogène.

En ce qui concerne les comparaisons de temps au moyen du Loran C, elles pèchent toujours par défaut de précision et surtout par la limitation de la couverture géographique de ce système. Des comparaisons ont été faites par satellite entre le Canada, la Rép. Féd. d'Allemagne et la France. D'autres sont en préparation. On déplore que ces expériences très précises n'aient qu'une portée limitée ; en effet, elles restent isolées dans le temps et ne concernent que les liaisons entre deux ou trois laboratoires.

Le CCDS s'est préoccupé du calcul du TAI. A cet égard, un premier problème vient de ce qu'il existe seulement un très petit nombre d'horloges de laboratoire dont la stabilité est meilleure que celle des horloges commerciales. Quel rôle doivent avoir les quelques horloges à césium de grande qualité ? Leur petit nombre ne permet pas de faire des comparaisons statistiques de leurs résultats. Le CCDS a donc recommandé [Recommandation S 2 (1980)] que l'on construise un nombre plus grand de ces horloges primaires de laboratoire afin d'assurer une meilleure contribution de ces étalons dans l'échelle de Temps Atomique International.

Un second problème est celui de la définition du TAI compte tenu des théories relativistes. Le CCDS a rédigé à ce sujet une déclaration complétant les règles de mise en pratique qu'il avait promulguées lors de sa 5<sup>e</sup> session, en 1970 (*voir* p. S 15).

Enfin, la Recommandation S 1 (1980) vise à encourager l'étude des algorithmes utilisables pour calculer une échelle de temps à partir des

données des horloges. On sait, en effet, que l'algorithme utilisé peut influencer de façon significative la qualité de l'échelle de temps calculée.

Les deux Recommandations S 1 et S 2 sont approuvées par le CIPM (voir p. S 18). La note jointe à la déclaration concernant la définition du TAI vis-à-vis des théories relativistes donne lieu à une discussion de principe. On déplore que la note spécifiant la façon d'estimer les effets relativistes fasse partie de la déclaration ; il appartient au CIPM d'approuver seulement les principes. Mr Guinot explique que, dans le passé, on a pu constater des erreurs d'interprétation, il vaut donc mieux être précis. Finalement, la déclaration est approuvée et il est convenu qu'elle figurera dans l'Annexe II de la future édition de la brochure « Le Système International d'Unités ».

### **Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM)**

Le président du CCM, Mr Perlstain, présente le rapport. Ce Comité a tenu sa première session les 23, 24 et 25 juin 1981. Sa première tâche a été de se donner un nom définitif : Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées. Le travail a surtout comporté une revue de ce qui avait été fait par les trois Groupes de travail sur les masses, les pressions et les forces au cours des dernières années. Ces trois Groupes de travail sont maintenant fusionnés au sein du CCM.

Mr Perlstain soumet pour approbation au CIPM la Recommandation G 1 (1981) concernant le calcul de la masse volumique de l'air humide. En effet, à la suite de la réunion qui avait eu lieu en novembre 1976, le Groupe de travail 1 sur les masses a élaboré une formule pour calculer la masse volumique de l'air, elle-même nécessaire pour évaluer la correction de poussée de l'air dans les pesées de haute précision. Il serait souhaitable que tous les laboratoires utilisent la même formule. L'approbation par le CIPM de la Recommandation en question devrait permettre cette unification, au moins dans les laboratoires nationaux. Après une légère modification rédactionnelle dans le texte de présentation de la formule, cette Recommandation est approuvée.

La deuxième Recommandation G 2 (1981) vise à encourager les laboratoires nationaux à intensifier leurs travaux de recherche dans les domaines concernant les mesures de masse et des grandeurs apparentées. L'ensemble du Comité s'associe à cette Recommandation du CCM.

Mr Perlstain attire l'attention du CIPM sur la composition des Groupes de travail. On peut déplore que le nombre des membres de certains Groupes de travail soit un peu trop grand. Ces groupes ont été constitués suivant les indications des participants au CCM.

Mr de Boer regrette que l'on se soit limité un peu trop aux laboratoires de métrologie ; à son avis, il ne faut pas oublier qu'il existe des laboratoires de recherche, dans le cadre des Universités par exemple, qui sont parfois très compétents et dont il ne faut pas sous-estimer les travaux métrologiques.

Mr Kind pense que le nombre même des Groupes de travail est un peu trop grand. Il espère que ce nombre diminuera par la suite.

Mr Perlstain aborde ensuite la déclaration de la 3<sup>e</sup> CGPM concernant le terme « poids ». C'est un sujet qui revient périodiquement en discussion. La PTB avait déjà soulevé ce problème au CCU (7<sup>e</sup> session, 1980, p. U 8) et ce Comité avait demandé qu'il soit soumis au CCM. Cela a conduit à une discussion sur le terme « poids » dans les diverses langues. On constate que, sur le plan scientifique, il n'y a pas de problème majeur. Le problème semble essentiellement se poser en métrologie légale.

Mr de Boer est d'avis que la déclaration faite en 1901 par la 3<sup>e</sup> CGPM est parfaitement claire et du point de vue scientifique inattaquable. Il se peut qu'il y ait des difficultés au niveau de la pratique quotidienne, mais cela relève de la compétence de l'OIML. Mr Jensen partage ce point de vue. La déclaration faite en 1901 doit rester inchangée. Il appartient à chaque pays de résoudre le problème linguistique qui se pose à cet égard. Mr Ambler pense également que c'est une question non pas scientifique, mais seulement de définition dans une langue donnée. En fait, il existe dans de nombreuses langues une ambiguïté dans l'utilisation du mot « poids ». De plus, dans le langage courant le mot « poids » existait bien avant que les concepts de masse et de force n'aient été dégagés. Mr Ambler estime qu'il faudrait mettre clairement en évidence la raison pour laquelle la CGPM a jugé nécessaire de faire une déclaration en 1901 ; cela permettrait certainement d'éclaircir tout malentendu quant à son interprétation. L'idée fondamentale de cette déclaration était de réserver l'utilisation du kilogramme à la masse et d'éviter qu'il ne soit employé comme unité de force.

Mr Perlstain pense que le langage scientifique n'a pas besoin du mot « poids ». Les mots « masse » et « force » suffisent pour exprimer les grandeurs utilisées. Le mot « poids » appartient à la langue du commerce. Mr Kind souligne qu'en Allemagne Fédérale on évite d'utiliser le mot « Gewicht » dans les travaux scientifiques.

La rédaction du rapport du CCM n'est actuellement que provisoire et il est convenu qu'il ne sera soumis à l'approbation formelle du CIPM que l'an prochain. Mr Perlstain sera invité à la prochaine réunion du CCU afin de trouver une formulation acceptable par tous.

#### **Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)**

Le président du CCEMRI, Mr Ambler, présente un rapport sur les activités du CCEMRI et de ses sections. Le Rapport officiel du CCEMRI n'existe encore que sous forme de version provisoire. Les trois sections de ce Comité se sont réunies en mai et juin 1981. En ce qui concerne la Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), l'activité a surtout porté sur les mesures d'exposition et leur conversion en dose absorbée dans l'eau, parce que cette dernière grandeur est celle qui est utile dans des applications médicales. Les

travaux de la Section ont abouti à la Recommandation R(I)-1 (1981). Celle-ci ne donnant lieu à aucun commentaire est approuvée par l'ensemble du CIPM.

La Section II (Radionucléides) a constaté avec satisfaction l'achèvement d'un certain nombre de comparaisons limitées. La mise à jour du Système International de Référence reste une tâche extrêmement utile. Au BIPM, J. W. Müller a mis au point une méthode de comptage absolu qui est d'un grand intérêt. Elle est décrite aux membres du CIPM à l'occasion de l'exposé des travaux et présentée lors de la visite des laboratoires (*voir* p. 70).

Bien que le BIPM ne puisse envisager l'achat de l'accélérateur préconisé par la Section III (Mesures neutroniques), celle-ci considère qu'il faut cependant procéder aux comparaisons de dosimétrie neutronique ; on espère pouvoir les organiser avec l'aide du NPL. Le BIPM mettra au point les instruments, ceux-ci seront comparés au NPL et le BIPM les conservera comme références.

#### **Groupe de travail sur l'expression des incertitudes**

Mr Giacomo, qui a présidé la réunion tenue par ce Groupe du 21 au 23 octobre 1980, présente le rapport (*voir* Annexe). Les participants sont parvenus à un accord assez général et ont soumis une Recommandation qui résume les résultats de leurs discussions. La distinction habituelle entre incertitudes aléatoires et systématiques n'est pas essentielle. On doit donc s'efforcer d'estimer pour toutes ces incertitudes les variances et covariances et d'appliquer la loi très générale dite « de propagation des erreurs ». L'approche proposée par le Groupe de travail est la suivante. Les laboratoires nationaux devraient être invités à mettre à l'essai la méthode proposée, en distinguant les incertitudes évaluées à l'aide de méthodes statistiques et les autres incertitudes dont l'évaluation est subjective et fait appel au jugement personnel.

Mr Dunworth soumet la Recommandation INC-1 (1980) à l'approbation du CIPM.

Mr Siegbahn suggère deux modifications : indiquer que la combinaison des incertitudes des deux catégories ne se fait pas sans discrimination et atténuer l'exigence d'indiquer pour chaque composante la méthode utilisée pour lui attribuer une valeur numérique.

Pour Mr Guinot, le rapport se réfère à des séries de mesures isolées dans le temps, comme celles d'une constante physique ; la méthode proposée est alors valable. En revanche, elle ne l'est pas pour des séries de mesures prolongées destinées à étudier la variation d'une grandeur physique. Il existe des méthodes reconnues pour évaluer le « bruit » dans de telles séries temporelles. Il souhaite donc que le rapport mentionne explicitement qu'il ne s'applique pas aux séries temporelles de mesures.

Quant à Mr Blevin, il pense que sur le plan purement scientifique la Recommandation est intéressante, mais qu'il serait prématuré de l'adopter

pour l'usage général. Il faut d'abord savoir ce que la méthode suggérée donne dans les différentes disciplines, ensuite faire le point et discuter des possibilités de sa mise en pratique plus généralisée. Il se peut en effet, que sur le plan scientifique, cette méthode soit tout à fait justifiée mais qu'elle soit pratiquement inutilisable.

Mr Siegbahn et Mr Steinberg insistent sur la nécessité d'avoir des règles pratiques détaillées qui servent de guides pour les utilisateurs.

Pour Mr Giacomo, il convient de voir en un premier temps si la méthode suggérée est utilisable au niveau scientifique ; ensuite seulement, on pourra envisager d'établir des règles pratiques.

Mr Dean suggère que le BIPM applique la méthode indiquée aux résultats des comparaisons et que, dans deux ans, on tire les conclusions de cette expérience. On pourra alors reprendre la discussion, en particulier avec les organisations qui s'intéressent au même sujet.

Mr Kiparenko appuie la proposition consistant à demander leur opinion aux laboratoires nationaux et à étudier l'expérience que le BIPM pourra tirer de l'utilisation de la méthode suggérée. Il semble nécessaire pendant une première étape de limiter l'expérience aux déterminations métrologiques et aux mesures des étalons primaires.

Mr Dunworth suggère que Mr Giacomo élabore un document sur ce sujet afin de faire le point de la situation telle qu'elle est à l'heure actuelle.

En conclusion de la discussion, une Recommandation est préparée et adoptée à l'unanimité (voir p. 26).

#### **Groupe de travail commun CCDM/CCU**

Les conclusions de ce Groupe de travail, rassemblant douze physiciens délégués du CCDM et du CCU, sous la présidence de Mr de Boer, peuvent être résumées comme suit :

Quatre propositions pour une nouvelle définition du mètre ont été faites :

1) Le mètre est la longueur égale à  $9\,192\,631\,770/299\,792\,458$  longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

2) Le mètre est la longueur égale à  $f/299\,792\,458$  longueurs d'onde dans le vide d'une onde électromagnétique plane infinie de fréquence  $f$  hertz.

3) Le mètre est la longueur égale à la longueur d'onde dans le vide d'une onde électromagnétique plane infinie de fréquence 299 792 458 hertz.

4) Le mètre est la longueur égale au trajet parcouru dans le vide par des ondes électromagnétiques planes infinies pendant une durée de  $1/299\,792\,458$  seconde.

La proposition (1) a été faite afin de s'écarter le moins possible de la définition du mètre actuellement en vigueur, qui est fondée sur la longueur

d'onde d'une radiation spécifiée. La proposition (2) donne une variante pour une radiation de fréquence quelconque. En outre, la formulation (4) semble être plus générale et simple, mais elle diffère beaucoup de la définition du mètre actuellement en vigueur.

Les participants au Groupe de travail ont constaté que toutes ces formulations sont scientifiquement satisfaisantes et auront des conséquences semblables du point de vue de la technique des mesures de longueur. Les différentes préférences qui ont été exprimées résultent d'une pondération différente de considérations telles que simplicité, généralité et clarté, perturbation minimale du SI ou relation directe avec la mise en pratique. Dans leur majorité les participants se sont ralliés à la formulation (4) en raison de sa généralité et de sa simplicité.

Une nouvelle définition du mètre fondée sur la vitesse de la lumière doit être proposée à la CGPM en 1983, car la définition actuelle est devenue insuffisante pour les expériences les plus précises réalisées par certains laboratoires. Dans ce but, le CCDM et le CCU doivent se réunir en 1982 pour soumettre au CIPM une proposition acceptable.

Après une introduction de Mr Kind, président du CCDM, Mr Dunworth ouvre la discussion.

Mr Kiparenko trouve qu'en effet la définition soutenue par le Groupe de travail est très claire ; elle présente l'avantage d'être compréhensible tant par les spécialistes que par les non-spécialistes. Toutefois, la deuxième formulation possède deux avantages évidents : elle assure une meilleure continuité avec la définition en vigueur et elle permet une reproduction aisée de l'unité de longueur. Il lui semble donc qu'il ne faut pas trop rapidement rejeter une définition liant longueur d'onde et fréquence.

Mr Bray est bien d'avis qu'une nouvelle définition du mètre est souhaitable. Personnellement, il préférerait la deuxième formulation. Il lui paraît cependant prématuré d'introduire une nouvelle définition dès maintenant.

Mr Ambler pense au contraire que retarder la promulgation d'une nouvelle définition ne serait pas rendre service à la communauté scientifique. En effet, on sait depuis plusieurs années que la définition fondée sur la radiation du krypton 86 n'est plus satisfaisante. Comme telle, elle n'est plus utilisée dans les laboratoires nationaux. Les physiciens américains sont favorables à la quatrième formulation. Il convient maintenant de déterminer les conditions de mise en pratique. A son avis, il faut demander au CCDM et au CCU de préparer un texte dans ce sens qui pourrait être proposé à la prochaine réunion du CIPM.

Mr Guinot rapporte que le Bureau National de Métrologie (France) a tenu deux réunions pour étudier le rapport du Groupe de travail commun CCDM/CCU. Puisque la décision a été prise de fixer la valeur de  $c$ , il n'y a pas lieu de retarder davantage la promulgation d'une nouvelle définition. Les physiciens français sont en faveur de la quatrième formulation ; ils souhaite-

raient seulement qu'au lieu de parler d'ondes électromagnétiques on parle de lumière, pour éviter de soulever le problème de la dispersion du vide.

Mr Perlstain est également d'accord pour que soit promulguée une nouvelle définition. Il faut seulement remarquer à propos des problèmes de mise en pratique, qu'en général la définition est d'abord promulguée ; ensuite seulement, le CIPM donne des précisions sur la mise en pratique à partir des méthodes utilisées par les laboratoires nationaux.

Mr Wang Daheng indique qu'avant la réunion commune CCDM/CCU, les physiciens chinois étaient en faveur d'une définition du type 2 ou 3, mais depuis la réunion, ils appuient à l'unanimité la quatrième formulation. Il ajoute qu'il faudra préciser dans une recommandation les conditions de réalisation de cette nouvelle définition.

Mr Cintra do Prado appuie la quatrième proposition de formulation. Il veut revenir sur les remarques de MM. Kiparenko et Bray. Il s'est tenu récemment à São Paulo un séminaire de métrologie rassemblant les pays latino-américains, séminaire auquel a assisté Mr Steinberg. La question a été posée de savoir si une nouvelle définition était à la veille d'être acceptée. Les participants étaient en effet inquiets, car leurs laboratoires n'étaient pas prêts pour un changement de définition. Ils paraissaient souhaiter que ce changement se fasse plus tard.

Mr Ambler dit comprendre les craintes de certains laboratoires de pays en voie de développement, mais à son avis, la mise en pratique du mètre selon la nouvelle définition sera plus facile qu'elle ne l'est avec la définition actuelle.

Mr Preston-Thomas appuie cette opinion. Il pense que la réalisation du mètre selon la quatrième formulation proposée sera aussi facile qu'elle l'était lorsque le mètre était défini à partir d'une règle en platine iridié.

Mr Kind revient sur la remarque de Mr Cintra do Prado. Les réalisations primaires des définitions comme celle du mètre devenant de plus en plus difficiles, il n'est peut-être pas souhaitable que tous les pays tentent de les mettre en œuvre, car elles demandent un équipement fort coûteux et beaucoup de temps. Dans l'avenir, on peut concevoir que certains laboratoires utilisent seulement un laser qui aura été étalonné dans quelques grands laboratoires. C'est ce qui se passe à l'heure actuelle pour le volt. De nombreux pays n'ont pas d'équipement d'effet Josephson et pourtant ils bénéficient de la plus grande exactitude que cette méthode assure. On obtient ainsi une meilleure exactitude pour un plus grand nombre d'utilisateurs.

Mr Cintra do Prado apprécie l'opportunité des opinions exprimées par MM. Ambler, Preston-Thomas et Kind. En effet, le changement de définition d'une unité de base ne peut être voté par la Conférence Générale des Poids et Mesures qu'avec une forte majorité. Il est donc important de convaincre tous les Gouvernements que, même si le niveau de technicité de leur laboratoire n'est pas aussi élevé que celui des laboratoires de certains pays industrialisés, ils peuvent bénéficier d'une exactitude plus grande.

Mr Terrien rappelle, à cet égard, que la façon la plus simple d'avoir accès à l'exactitude la plus grande est de passer par les services du BIPM. Le Bureau International constitue le lien privilégié entre les grands laboratoires nationaux des pays les plus industrialisés et ceux des pays en voie de développement.

Mr Steinberg indique que les participants au séminaire de São Paulo ont exprimé leur confiance dans les décisions prises par le CIPM.

Mr Kiparenko fait remarquer que les progrès effectués pour stabiliser les fréquences optiques permettront probablement de créer des étalons de fréquence beaucoup plus reproductibles que dans le domaine des radiofréquences. Dans ces conditions, on pourra donc réaliser un étalon de l'unité de longueur dans le visible sans avoir besoin de la rattacher périodiquement aux radiofréquences. Aussi ne faut-il pas éliminer totalement la deuxième formulation proposée. Pendant le temps qui reste, on peut continuer à étudier cette définition ainsi que sa mise en pratique éventuelle. Il pense que l'on a encore le temps de travailler sur les deux possibilités. Mr Kiparenko insiste aussi pour que la nouvelle définition soit accompagnée d'une mise en pratique.

Mr Kind confirme qu'actuellement on peut faire des mesures de fréquence optique avec une exactitude supérieure à celle que l'on obtient avec le krypton 86, et l'on peut espérer que l'exactitude ira en augmentant.

Mr de Boer répond qu'en effet aussi bien la deuxième formulation que la quatrième paraissent tout à fait acceptables. Cependant, il semble que l'on trouve la quatrième formulation plus simple. Par ailleurs, la deuxième contient une fréquence arbitraire, ce qui peut poser un problème au niveau légal. Les juristes ne sont jamais favorables à une définition qui contient quelque chose d'arbitraire, bien que ce soit parfaitement légitime dans ce cas.

Pour Mr Dean, les deux types de définition sont équivalents. Il suggère que l'on adopte la quatrième formulation et que la seconde formulation soit utilisée dans la mise en pratique.

Mr Blevin pense que dans les faits la mise en pratique sera la même, que la formulation soit du type 2 ou du type 4. Pensant aux problèmes des pays en voie de développement, il suggère, à côté de l'emploi des lasers, de continuer à préconiser la lampe à krypton pour les utilisateurs qui peuvent se satisfaire d'une exactitude moins grande.

Pour résumer la discussion, Mr de Boer a l'impression que tout le monde est d'accord pour qu'une nouvelle définition soit proposée à la prochaine CGPM en 1983. Par ailleurs, une nette préférence se dégage en faveur d'une définition selon la quatrième formulation. A son avis, il convient de demander au CCDM et au CCU, qui doivent se réunir en juin 1982, de travailler à la présentation de cette nouvelle définition, des efforts particuliers étant portés sur la rédaction des conditions de mise en pratique.

### Réunions futures des Comités Consultatifs

Mr Dunworth s'adresse aux présidents des Comités Consultatifs pour fixer les dates des réunions qui doivent se tenir en 1982.

Le Comité Consultatif de Thermométrie a prévu sa prochaine session du 30 mars au 2 avril 1982, le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre les 3 et 4 juin 1982, le Comité Consultatif des Unités les 8, 9 et 10 juin 1982, enfin le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie les 28, 29 et 30 septembre 1982.

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde et le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants ne se réuniront qu'en 1983. En 1983, se réuniront également les Groupes de travail du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, le Comité lui-même prévoyant que sa prochaine session se tiendra en 1984.

Le Comité Consultatif d'Électricité pose un problème particulier. Il n'a pas de président. Il est suggéré que le Dr Schrader (de la PTB) assure la présidence par intérim. L'ensemble du CIPM approuvant cette suggestion, on demandera au Dr Schrader de faire connaître l'époque à laquelle il envisage de réunir le CCE.

Mr Guinot fait remarquer que dans la composition du CCDS figurent deux laboratoires suisses; à son avis, seul l'Observatoire de Neuchâtel devrait être retenu.

Mr Skakala souhaiterait que son laboratoire, le CSMU, ne soit pas seulement invité mais soit nommé membre effectif du nouveau CCM.

Mr Wang Daheng aimerait que la Rép. Pop. de Chine participe aux travaux du CCDM. Après consultation avec Mr Kind, président de ce Comité, il est convenu que l'Institut National de Métrologie de Beijing devient membre du CCDM.

## 6. Travaux du BIPM

### Présentation des travaux métrologiques

En introduisant le sujet, Mr Giacomo rappelle que ces travaux sont décrits en détail dans son rapport (*voir* p. 27). Il attire en particulier l'attention du Comité sur le fait que le travail demandé au Bureau augmente; la création du CCM en est une preuve parmi d'autres. L'équilibre est difficile à maintenir avec un personnel limité. Tout travail nouveau ne peut être entrepris qu'en sacrifiant d'autres tâches ou en augmentant l'effectif du personnel. Mr Giacomo soumet particulièrement cette remarque à l'attention des présidents des Comités Consultatifs. La parole est ensuite donnée à Mr Quinn pour la présentation des travaux des sections dites classiques.

Reprenant les remarques d'introduction de Mr Giacomo, Mr Quinn indique que pour faire face au volume croissant de travail, le BIPM a

entrepris un gros effort pour automatiser les expériences et traiter les résultats sur de petits ordinateurs, ceci afin d'accroître l'efficacité d'un personnel dont le nombre reste insuffisant. Il ne faut pourtant pas oublier que l'introduction de l'automatisation est onéreuse. A cet égard, le BIPM devra peut-être faire appel aux grands laboratoires qui ont déjà une bonne expérience de l'automatisation des mesures et dont les conseils pourraient être précieux.

Dans le domaine des longueurs, on a poursuivi les mesures de la règle décimétrique construite spécialement pour étudier les défauts de reproductibilité en fonction de la largeur des traits. Mais l'essentiel des travaux a concerné les lasers. A cette occasion, le BIPM est heureux de remercier la PTB qui lui a fait un prêt, de durée illimitée, d'un laser à argon ionisé asservi sur l'iode. Avec un laser de ce type, les problèmes qui concernent la cuve à iode sont bien séparés de ceux qui concernent le laser lui-même, d'où son intérêt particulier. Comme l'a fait remarquer Mr Terrien lors de la discussion du rapport du Groupe de travail commun CCDM/CCU, il incombera au BIPM d'aider les laboratoires qui ne pourront réaliser directement la définition du mètre, et, par conséquent, d'étalonner leurs lasers. On peut donc envisager pour les années à venir un accroissement du travail de la section des longueurs, qui devra assurer des comparaisons plus nombreuses. C'est un domaine où il faudra automatiser les mesures. Le laboratoire a mis au point une comparaison de lasers pilotée par ordinateur, expérience que les membres du Comité pourront voir fonctionner à l'occasion de la visite des laboratoires.

Dans le domaine des masses, il avait été rendu compte en 1980 d'un nouveau procédé pour la fabrication des kilogrammes prototypes. Actuellement, ce nouveau procédé est utilisé pour réaliser plusieurs prototypes à l'atelier du BIPM car le BIPM a plusieurs demandes de fourniture en attente.

Les résultats des travaux sur la masse volumique de l'eau ont été communiqués à l'occasion de la Conférence on Precision Measurement and Fundamental Constants qui s'est tenue, en juin 1981, à Washington. Depuis lors, on s'est aperçu que l'on a des problèmes de mesure de la température et il se peut que les résultats communiqués soient à modifier légèrement. Des mesures de contrôle doivent être faites.

On a également procédé à des mesures de la teneur de l'air en  $\text{CO}_2$  dans la cour du BIPM. On essaie de faire des mesures des variations à long terme, car celles-ci sont mal connues.

Dans le domaine du calcul du Temps Atomique International, on avait signalé l'an dernier que l'on observait une variation saisonnière; il semblait que les horloges commerciales à césium avaient un comportement différent de celui des étalons primaires. On s'était demandé si la variation n'était pas liée aux variations des conditions ambiantes dans les laboratoires. Il ne semble pas que les variations de température soient à l'origine de cet effet saisonnier.

En gravimétrie, il faut signaler que le gravimètre transportable construit par Jaeger a été livré. Il est en cours d'installation et de mise au point. Les mesures à proprement parler n'ont pas encore commencé. Lorsque des résultats auront été obtenus, on pourra en parler plus utilement.

Dans le domaine de la thermométrie, on a travaillé sur le point triple du gallium. Il présente un intérêt manifeste puisqu'il se situe au voisinage de 30 °C; il pourrait être introduit dans la nouvelle EIPT en cours de préparation. On a également travaillé à des comparaisons de l'EIPT avec la température thermodynamique, par pyrométrie. L'installation est entièrement automatisée. Elle peut fonctionner pendant de longues périodes, de 10 à 14 heures, sans intervention de l'opérateur. On a constaté une nette amélioration de la répétabilité des mesures qui atteint quelques millikelvins, ce qui ne signifie pas que l'exactitude soit de cet ordre.

Mr Quinn exprime les remerciements du BIPM pour le don par l'Afrique du Sud d'un radiomètre automatique.

Pour les mesures de pression, l'intérêt du point triple de l'argon comme étalon transportable de pression a été confirmé.

Dans la section d'électricité, nous avons reçu du matériel de construction soviétique et deux spécialistes de l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléév (Leningrad) sont venus installer ce matériel. Nous avons amélioré, tant sur le plan électronique que sur celui de la facilité d'accès aux piles, des enceintes thermorégulées transportables pour les piles étalons. Nous essayons d'améliorer aussi notre installation pour les comparaisons de résistances.

La parole est ensuite donnée à Mr Allisy pour présenter les travaux de la section des rayonnements ionisants. Celui-ci met l'accent sur trois points importants : en premier lieu, les comparaisons les plus marquantes dans le domaine des rayons X et  $\gamma$ , des radionucléides et des neutrons, ensuite la nouvelle méthode d'échantillonnage sélectif, enfin les travaux sur les instruments de transfert utilisés dans les comparaisons internationales photoniques et neutroniques.

En ce qui concerne les comparaisons, Mr Allisy signale en particulier celle de dosimètres chimiques à sulfate ferreux organisée par le NPL. Les doses absorbées trouvées par les participants sont en bon accord avec les résultats obtenus au BIPM lors des irradiations. Il faut également mentionner la comparaison de mesures d'activité d'une solution de  $^{133}\text{Ba}$ . Celle-ci doit être refaite car les résultats présentent une dispersion inattendue, peut-être due à des effets d'adsorption sur les parois. Le Système International de Référence pour les émetteurs de rayons  $\gamma$  garde toujours son intérêt fondamental. Le BIPM a aussi procédé à une comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons avec le NPL.

Mr Allisy présente ensuite la nouvelle méthode de mesure par échantillonnage sélectif qui constitue une alternative à la méthode des coïncidences. Elle consiste à sélectionner dans le temps des intervalles

pendant lesquels on est sûr qu'aucun événement,  $\beta$  par exemple, n'a été détecté. Cette sélection se fonde sur les propriétés du temps mort cumulatif. On peut ainsi échantillonner, d'une manière sélective dans le temps et non pas aléatoire, les événements qui se produisent dans l'autre voie,  $\gamma$  par exemple. Le taux de non-coïncidences  $\beta - \gamma$  s'en déduit facilement, donc aussi le taux de coïncidences.

La nouvelle approche a déjà fait ses preuves dans la mesure de l'activité de plusieurs nucléides ; elle s'est avérée particulièrement avantageuse pour des taux de comptage élevés, précisément dans un domaine où la méthode par coïncidences pose des problèmes.

Le troisième domaine que Mr Allisy présente est celui des études que le BIPM poursuit sur les instruments de transfert utilisables en dosimétrie photonique ou neutronique. Un champ neutronique pur n'existe pas ; on est toujours en présence de contributions de rayonnements  $\gamma$ . Il faut donc faire la distinction entre la contribution due aux neutrons et celle due aux photons. Le BIPM a étudié un compteur destiné à cet usage. Les résultats obtenus sont cohérents pour la chambre d'ionisation du type BIPM. Des mesures ont été faites sur deux chambres d'ionisation provenant d'un laboratoire suédois. Le BIPM est très bien placé pour effectuer ce travail. S'il est mené à bien, une chambre de transfert permettrait au BIPM de conserver le rôle de point central de référence pour toutes les mesures de dose absorbée.

La présentation ne donne pas lieu à discussion particulière, puisque les membres du Comité ont la possibilité de se renseigner plus à fond sur les points précis qui les intéressent, à l'occasion de la visite des laboratoires.

Mr Kind fait seulement remarquer que, pour certains physiciens, les travaux « de routine », comme par exemple les étalonnages, occupent 90 % du temps. Pour d'autres, le pourcentage est nettement moins élevé. Il est suggéré de faire pour la prochaine session une évaluation plus précise de ces pourcentages selon les types d'activité.

Le Président, Mr Dunworth, remercie Mr Quinn et Mr Allisy pour leurs exposés et félicite le personnel du BIPM pour la qualité toujours excellente du travail accompli.

### **Dosimétrie neutronique**

Mr Jensen présente un document qui rend compte d'une visite que lui-même a faite au NPL avec Mr Quinn. Il s'agissait d'étudier dans quelles conditions les comparaisons de dosimétrie neutronique pourraient se faire sur l'accélérateur du NPL. Les propositions ont été communiquées à la Section III du CCEMRI et elles ont été discutées lors de la réunion du CCEMRI, au mois de juillet 1981.

Mr Ambler précise que le BIPM portera son effort sur la mise au point d'instruments de transfert. Une comparaison, dont le NPL sera le laboratoire pilote, doit avoir lieu en 1983. Le BIPM prendra part à cette

comparaison. Il pourra donc ultérieurement assurer un service d'étalonnage à partir de ses instruments de transfert. La Section III est d'accord sur ce projet. Le CIPM dans son ensemble approuve cette nouvelle orientation.

#### **Projet de rénovation du bâtiment dit « de la menuiserie »**

Le document qui présente au CIPM l'information nécessaire sur le projet de rénovation du bâtiment de la « menuiserie » du BIPM peut être résumé comme suit :

Aucune construction importante n'a été entreprise au BIPM depuis 1929, mise à part, en 1960, l'importante extension qui permet d'abriter les travaux de la Section des rayonnements ionisants. Dans le bâtiment de l'Observatoire, des extensions limitées ont été réalisées, en creusant en sous-sol deux salles sous les salles 4 et 5 (en 1970) et une salle sous la salle 3 (en 1977).

On a maintenant atteint la limite de ce que l'on peut raisonnablement faire quant à l'espace disponible pour les laboratoires et les bureaux. Au cours des dernières années, la gamme de travaux, ainsi que les besoins en espace pour les travaux en cours, se sont beaucoup accrus. Par exemple, dans le domaine de l'électricité, presque tout ce qui se faisait sur une simple paillasse demande maintenant une cage de Faraday (c'est-à-dire une pièce protégée contre les influences électromagnétiques). A l'heure actuelle, le BIPM est équipé de trois cages de ce genre, dont l'une, par manque de place, a dû être construite au-dessus d'une cabine qui existait déjà et qui abrite les bains d'huile thermorégulés, dans la même salle de laboratoire où se trouve la cage abritant l'installation de conservation du volt au moyen de l'effet Josephson.

La section des masses ne dispose pour tous ses travaux que d'un laboratoire comportant une partie en sous-sol. Or ses travaux comprennent des comparaisons d'étalons primaires utilisant la balance NBS-2, des pesées hydrostatiques, des étalonnages de routine, le nettoyage des étalons, sans compter les travaux de recherche sur des sujets nouveaux comme la balance comportant une suspension flexible, l'asservissement des fléaux de balance et les travaux en liaison avec l'usinage des étalons de masse à l'outil de diamant. Lorsque des comparaisons d'étalons primaires sont en cours, aucun autre travail n'est possible dans le même laboratoire. Ce n'est pas une situation satisfaisante car, à l'évidence, les recherches dans le domaine des masses vont prendre, dans les activités du BIPM, une part plus importante qu'elles ne l'ont fait depuis de nombreuses années.

Les travaux sur les lasers sont un domaine relativement nouveau au BIPM, et c'est un domaine qui se développe. Actuellement, les travaux sur les lasers se font dans deux des nouvelles salles en sous-sol. L'espace n'y est pas suffisant pour tous les travaux expérimentaux entrepris. A côté des travaux de mise au point des cuves à iode, des nouveaux lasers à cellule d'absorption externe et des lasers à argon ionisé, il faut conserver des installations pour les fréquentes comparaisons internationales de lasers à He-Ne stabilisés sur l'iode et sur le méthane. Deux salles (5 m × 9 m) ne suffisent

pas pour tout cela, y compris les travaux de calcul et d'électronique qui s'y rapportent.

En outre, l'installation des bureaux a atteint un stade critique à l'Observatoire. Seize personnes (physiciens et techniciens) ont en moyenne seulement 6,25 m<sup>2</sup> de bureau par personne, ce qui est tout à fait insuffisant. Dans le Grand Pavillon se trouvent quelques bureaux pour six physiciens et techniciens, avec en moyenne 9,3 m<sup>2</sup> par personne.

Confronté au problème assez difficile de trouver un supplément d'espace de laboratoires et de bureaux au BIPM, le bureau du Comité a envisagé diverses solutions. Tout en cherchant un moyen d'améliorer la situation à court terme, on n'a pas perdu de vue la nécessité de prévoir la possibilité d'extensions ultérieures plus grandes, à long terme. Naturellement, tout projet de construction important nécessite un vote spécial de la Conférence Générale et de longues discussions avec le Gouvernement français pour obtenir un permis de construire. Pour ces raisons, le projet actuellement envisagé se limite à une rénovation seulement, qui pourrait être payée en partie par le budget normal, sur une période de quatre années (Compte V alimenté par le chapitre « Bâtiments » du Compte I), et en partie par une contribution de nos réserves.

On envisage de remplacer le fatras de constructions existantes, à gauche de la grille d'entrée, constructions qui abritent principalement la menuiserie, par un seul bâtiment.

Le bâtiment actuel (de 117 m<sup>2</sup> de surface de planchers) date en partie de l'origine du BIPM ; selon les plans de l'époque, il était destiné à abriter des machines. Depuis lors, c'est devenu une menuiserie et diverses annexes y ont été ajoutées pour abriter un certain nombre d'activités secondaires mais nécessaires. L'apparence extérieure de l'ensemble n'est pas très plaisante et en fin de compte correspond à une utilisation tout à fait inefficace de la place disponible.

Le projet prévoit que les bâtiments actuels seront en partie démolis. Ils seront remplacés par une construction de 540 m<sup>2</sup> de surface de planchers, en trois niveaux, comprenant un bloc de laboratoires, des bureaux, le logement du second gardien, la menuiserie et quelques commodités annexes.

La partie laboratoire comprendra une salle en sous-sol et deux étages ; une paroi s'appuiera sur la colline et deux autres seront mitoyennes avec les bureaux voisins et le logement du gardien. La partie laboratoire sera donc bien isolée du point de vue thermique et des mesures seront prises pour qu'elle soit protégée des vibrations. L'installation de climatisation sera logée au sous-sol dans une pièce voisine mais séparée des laboratoires. Les salles de laboratoire, dont la surface totale sera de 200 m<sup>2</sup>, sont destinées à la section des lasers, qui déménagera entièrement de l'Observatoire.

Le Président ouvre la discussion sur le projet de rénovation du bâtiment de la menuiserie. Il y a deux questions préalables. Le bâtiment envisagé est-

il vraiment nécessaire ? Par ailleurs, le BIPM peut-il en assurer le financement ?

Dans l'état actuel des choses, les travaux sur les lasers correspondent à une activité entièrement nouvelle, qui selon toute vraisemblance va continuer à prendre de l'extension. Il se peut que les travaux classiques sur les mesures de longueur perdent de leur importance. Si c'était le cas, cela libérerait de la place pour la section des masses qui ne dispose en fait que d'une salle. Dans toutes les sections, il y a un manque de place notoire. On fait aussi remarquer que l'automatisation dont on a beaucoup parlé entraîne des installations qui requièrent de la place. De plus, la présence de stagiaires pose des problèmes matériels quasiment insolubles. En effet, les petits pays sont particulièrement intéressés par la possibilité d'envoyer des stagiaires au BIPM. C'est un problème qui concerne relativement moins les grands pays qui ont un laboratoire national important.

Mr Kiparenko, rappelant que le CIPM avait, lors de sa dernière session, discuté de l'avenir du BIH, demande si, dans ces projets, il en a été tenu compte. Mr Dunworth répond que pour le moment la situation du BIH paraît assez stable. Mr Guinot confirme cette information tout en ajoutant que, sans qu'il y ait urgence, le problème subsiste, car il n'est pas normal à long terme que le calcul du Temps Atomique International reste tributaire d'un organisme national.

Mr Dean demande s'il a été question de ce projet de rénovation de la menuiserie à la dernière Conférence Générale. Mr Dunworth répond que non, mais naturellement la prochaine CGPM devra en être informée. Mr de Boer explique qu'en 1979 on envisageait seulement des rénovations peu importantes dans le cadre de l'entretien régulier, en particulier de la menuiserie. De cet entretien régulier la Conférence Générale n'a été informée que de façon générale.

L'ensemble du Comité est d'accord sur le manque d'espace disponible pour les laboratoires et les bureaux et, par conséquent, sur la nécessité d'envisager une extension.

Le document qui présente le projet de rénovation de la menuiserie donne une estimation préliminaire de 1,6 MFO (1 FO = 1,814 FF), pour le total des travaux, soit environ 3,5 kFO/m<sup>2</sup>. Dans ce but, on a déjà réservé 0,6 MFO au total pendant les deux années budgétaires 1980 et 1981. Cependant, compte tenu des exigences d'isolement thermique et de l'élimination des vibrations mécaniques, l'estimation actuelle des travaux est de 2,7 MFO. Une partie est déjà et peut être encore réservée dans le budget ordinaire (virements au Compte V). Le projet de financement serait le suivant :

1980	0,3 MFO	(virés au Compte V)
1981	0,3 MFO	(virés au Compte V)
1982	0,3 MFO	(à virer au Compte V)
1983	0,6 MFO	(à virer au Compte V)
	<hr/>	
	1,5 MFO	

Il serait donc nécessaire de transférer un total de  $2,7 - 1,5 = 1,2$  MFO de nos réserves. Si l'on commençait les travaux assez rapidement, les deux tiers de la dépense, soit 1,8 MFO, devraient être versés en 1982.

Le total de nos réserves, c'est-à-dire l'actif du Compte I : « Fonds ordinaires », était égal à 7,8 MFO au commencement de l'année 1981 ; le total de 1,2 MFO, qui doit être disponible pour garantir le projet de rénovation, constitue donc 15,4 % de ces réserves.

Mr Ambler rappelle qu'il y a quelques années le directeur du BIPM estimait nécessaire d'avoir un fonds de réserve égal à un an et demi de fonctionnement. Il demande ce qui, actuellement, fait que cette avance ne paraît plus nécessaire. A son avis, il faudra plusieurs années pour reconstituer ce fonds.

Mr Dunworth répond qu'une dépense d'investissement foncier ne correspond pas à une dépense ordinaire. Naturellement, le fait de puiser dans les réserves pourrait être considéré comme étant en contradiction avec la politique de prudence préconisée jusqu'ici. Mais les fonds pris sur les réserves ne seront pas utilisés pour des traitements ou de l'équipement à courte durée de vie.

Le Président, Mr Dunworth, demande si le Comité est d'accord pour que l'on diminue le fonds de réserve à moins d'un an de trésorerie. Rien ne peut être entrepris avant qu'il soit répondu à cette question.

Mr Ambler pense que lorsque l'on recommencera à constituer des réserves, on aura seulement six mois de trésorerie d'avance. Le Comité doit en être conscient avant de prendre une décision. Il est essentiel que le fonds de réserve soit maintenu à un niveau assez élevé.

Mr Dean rappelle que lors de la dernière Conférence Générale il y a eu de longues discussions sur les finances du Bureau. Il est regrettable que la Conférence n'ait pas été informée de ce projet de construction. Il est aussi inquiet des conséquences qu'une entreprise de ce genre aura sur le fonds de réserve.

Le président, Mr Dunworth, propose de ne puiser que jusqu'à concurrence de 25 % des réserves du Compte I (Fonds ordinaires). Il est convenu que Mr Giacomo fera confirmer de façon plus rigoureuse les estimations. Au terme d'une courte discussion, il est convenu de poursuivre le projet, si le Gouvernement français donne les autorisations nécessaires et s'il est absolument certain que le coût total ne dépasse pas 3,5 MFO. Cela signifie que le prix maximal des travaux ne devra pas dépasser 3,2 MFO, laissant 0,3 MFO pour les dépenses supplémentaires imprévues. On ne puisera dans les réserves du Compte I (Fonds ordinaires) que jusqu'à concurrence de 2 MFO.

#### 7. Visites des laboratoires et du dépôt des Prototypes métriques

L'après-midi du mercredi 7 octobre a été consacré à une visite des laboratoires. L'accent a été mis sur quelques expériences qui ont été

présentées en fonctionnement, en particulier les mesures automatisées (pyrométrie, radiométrie absolue et battements entre lasers), la méthode d'échantillonnage sélectif pour les mesures de radionucléides et la comparaison de dosimètres chimiques. Cette visite des laboratoires a été suivie de la visite habituelle du dépôt des Prototypes métriques en présence d'un nombre restreint de personnes, ainsi qu'il en a été décidé lors de la dernière session.

### Procès-Verbal

Le 7 octobre 1981, à 16 heures, en présence du Président du Comité International des Poids et Mesures, du Directeur du Bureau International des Poids et Mesures et du représentant des Archives de France, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clés qui ouvrent le Dépôt : celle qui est confiée au Directeur du Bureau, celle qui est déposée aux Archives Nationales, à Paris et que Monsieur M. 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 : 21,6 °C  
» maximale : 22,5 °C  
» minimale : 21,5 °C  
État hygrométrique : 77 %

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

Le Directeur  
du Bureau,  
P. GIACOMO

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

Le Président  
du Comité,  
J. V. DUNWORTH

### 8. Questions administratives

#### Règlement administratif et financier

Le Président donne la parole à Mr de Boer pour présenter le projet de Règlement administratif et financier. Mr de Boer rappelle que ce document a été préparé à la suite de la demande faite par le Groupe de travail *ad hoc* de la Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures. Il donne lecture des principaux points de ce document. La plus grande partie de celui-ci ne fait que rassembler les dispositions prévues dans la Convention du Mètre ou dans le Règlement annexé à celle-ci, et des règles appliquées en fait

depuis de nombreuses années mais qui, jusqu'à maintenant, n'avaient pas été rassemblées dans un texte réglementaire.

Mr Preston-Thomas pense que, de toute façon, il est extrêmement utile que ces règles soient écrites.

Mr Cintra do Prado demande si le directeur peut déléguer sa responsabilité. Mr de Boer répond que cela même fera l'objet du règlement intérieur dont la rédaction est prévue et qui devra être approuvé par le CIPM. Le Comité dans son ensemble doit savoir qui est autorisé à signer les documents financiers. A ce sujet, Mr Terrien observe que certains paragraphes du Règlement administratif et financier pourraient plutôt faire partie du règlement intérieur.

Mr Bray demande si ce projet de Règlement a été soumis à des experts internationaux afin de s'assurer que tout ce qu'il contient est bien en accord avec les règles nationales et internationales. Mr Terrien répond qu'il n'existe ni super-gouvernement ni autorité édictant des règles internationales.

Mr Dunworth fait remarquer que le contenu de ce Règlement est conforme à l'Accord de siège conclu par le CIPM avec le Gouvernement français. Mr de Boer ajoute que ledit règlement est sous la seule responsabilité du CIPM. Il n'est pas soumis à l'approbation des Gouvernements, mais naturellement il sera communiqué aux États membres pour information.

Ce projet de Règlement administratif et financier est approuvé par le Comité (*voir* p. D1).

### **Budgets 1980, 1981, 1982**

Le Président laisse au Directeur, Mr Giacomo, le soin de présenter les documents financiers à discuter. Le Comité examine les comptes de l'exercice 1980. Mr Giacomo fait remarquer que sur cet exercice figure le solde des sommes utilisées pour les travaux d'aménagement des salles en sous-sol. Mr Guinot demande que lui soit précisé le compte où figurent les 0,3 MFO qui ont été mis de côté sur 1980 en prévision des travaux de la menuiserie. Cette somme figure explicitement au Compte V dans le Rapport Annuel et dans le rapport détaillé préparé par l'Expert-Comptable. Le bilan n'appelant aucun autre commentaire, quitus est donné au directeur et à l'administrateur pour l'exercice 1980.

A propos du budget en cours pour 1981, Mr Giacomo constate que les contributions des États membres tendent à rentrer avec retard. Il mentionne des achats importants de platine iridié destiné à fabriquer des kilogrammes prototypes. Il faut aussi mentionner l'achat d'une nouvelle cage de Faraday pour la section d'électricité. En ce qui concerne les dépenses de bâtiments, celles-ci ont été plus importantes que prévu à cause des travaux de consolidation de la colline derrière l'Observatoire. Hormis ces quelques remarques, le budget en cours ne donne lieu à aucun commentaire.

Mr Giacomo passe ensuite au projet de budget pour l'année 1982. Le bureau du Comité a dû prévoir une augmentation importante du poste correspondant aux allocations familiales. En effet, le Gouvernement français a augmenté de 25 % les allocations familiales du régime général en

### Budget pour 1982

#### RECETTES

Contributions des États .....	9 570 000
Intérêts des fonds .....	980 000
Taxes de vérification .....	50 000
Remboursement des taxes sur les achats.....	400 000
Total .....	<u>11 000 000</u>

#### DÉPENSES

##### A. Dépenses de personnel :

1. Traitements .....	5 280 000	} 6 940 000
2. Allocations familiales .....	380 000	
3. Sécurité Sociale .....	330 000	
4. Assurance-accidents .....	50 000	
5. Caisse de Retraites.....	900 000	

##### B. Dépenses de fonctionnement :

1. Mobilier .....	35 000	} 1 680 000
2. Laboratoires et ateliers .....	920 000	
3. Chauffage, eau, énergie électrique .....	240 000	
4. Assurances .....	35 000	
5. Impressions et publications .....	80 000	
6. Frais de bureau .....	130 000	
7. Voyages et transports d'appareils .....	130 000	
8. Entretien courant .....	80 000	
9. Bureau du Comité .....	30 000	

##### C. Dépenses d'investissement :

1. Laboratoires.....	1 150 000	} 2 250 000
2. Atelier de mécanique .....	45 000	
3. Atelier d'électronique .....	10 000	
4. Bibliothèque.....	45 000	
5. Bâtiments (gros travaux de rénovation)	1 000 000	

D. Frais divers et imprévus .....

100 000

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

30 000

Total .....

11 000 000

juillet 1981 et a promis d'augmenter ces allocations, à nouveau de 25 %, en janvier 1982. Le bureau a, en outre, fait des comparaisons avec ce qui est versé au même titre par l'UNESCO et par les Organisations européennes coordonnées. Il en a tiré la conclusion qu'il devait proposer au Comité de relever le montant des allocations versées par le BIPM. En effet, le principe du Comité a toujours été de suivre d'aussi près que possible le régime français dans ce domaine, tout en conservant le système beaucoup plus simple d'une allocation proportionnelle au nombre d'enfants à charge et indépendante du salaire. Mr Perlstain préférerait parler de valeurs absolues, plutôt que de pourcentages. Il se demande si l'on ne devrait pas revoir l'ensemble de la question des salaires au BIPM, salaires dont la valeur absolue est perdue de vue. Mr de Boer lui répond que, pour cette année, le bureau du Comité ne propose qu'un relèvement des allocations familiales. Comme la dernière révision de la grille des salaires remonte à 1976, on pourrait en principe discuter une révision de la grille l'an prochain. On pourrait alors faire de nouveau une comparaison avec les traitements versés dans les autres organisations internationales et étudier d'une façon plus détaillée la répartition des traitements.

En conclusion, le Comité International donne son accord à la proposition d'augmentation du montant des allocations familiales et convient que la grille des salaires sera discutée en détail à la prochaine session.

Mr de Boer rappelle que le bureau du Comité a admis le principe du recrutement d'une secrétaire supplémentaire.

## 9. Questions diverses

### Utilisation de la langue anglaise

Le Président demande à Mr Quinn d'introduire la question de l'utilisation de la langue anglaise dans les publications du BIPM. Sur la demande de Mr de Boer, Mr Quinn a étudié les différents aspects du problème. Aux termes du Règlement annexé à la Convention du Mètre, « les rapports et les publications du Comité et du Bureau seront rédigés en langue française ». Toutefois, dans certains pays, l'audience du français est très limitée, ce qui entrave la diffusion des résultats de l'action du BIPM. L'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) s'est trouvée devant le même problème et, depuis un certain temps, utilise l'anglais concurremment au français. Mr Quinn a donc pris contact avec l'OIML afin d'étudier la façon dont cet organisme avait résolu le problème. Le problème se pose de façon quelque peu différente pour le BIPM. Aux termes de cette étude, il est suggéré de publier une version en langue anglaise, en même temps qu'en langue française, des rapports des Comités Consultatifs. En effet, dans bien des cas la version en langue anglaise existe déjà. Du point de vue de l'audience que peuvent rencontrer ces rapports, il

est souhaitable que cette version soit publiée, étant bien entendu que la seule langue officielle reste le français. Le fait de fournir une version en langue anglaise doit être considéré comme un service supplémentaire rendu aux milieux intéressés par nos travaux.

Mr Dunworth soumet la proposition à discussion.

Mr Perlstain pense que c'est, bien évidemment, une excellente idée de diffuser les rapports en langue anglaise, mais il faut aussi penser aux frais que cela entraînera. Au sein de l'OIML, on a constaté une évolution. Au début, seul un certain nombre de documents étaient traduits, maintenant la quasi-totalité des documents est diffusée dans les deux langues; ceci implique une charge financière très importante. Mr Perlstain demande si, dans son personnel, le BIPM a les personnes qui seront en mesure d'assurer la traduction de textes qui sont pour la plupart des textes scientifiques et techniques.

Mr de Boer répond que ce point précis a été envisagé, c'est pourquoi le bureau suggère de se limiter aux rapports des Comités Consultatifs.

Mr Giacomo pense que le problème n'est pas seulement un problème de traduction. Il est exact que bien souvent des versions anglaises de nos rapports existent, mais le travail d'édition que le Bureau fait sur les textes en langue française, il devra également le faire sur les textes en langue anglaise. Il y a quelquefois très loin d'un document de travail à un document rédigé en vue de sa publication. Il ne faut pas sous-estimer ce travail d'édition, qu'il est fort difficile de chiffrer, d'autant plus qu'il doit être confié en grande partie à des physiciens. Mr Giacomo pense qu'il est de son devoir de bien souligner cette difficulté devant le Comité.

Mr Dunworth pense que tout le bénéfice en reviendra au Bureau dont les rapports seront plus largement lus.

Le Comité donne son accord pour la publication d'une version en anglais des rapports des Comités Consultatifs.

### **Célébration des 50 années de présence au BIPM de R. Michard**

A l'issue de la séance d'exposé des travaux, le Président, Mr Dunworth, reçoit Mr Michard, technicien principal, qui vient d'achever sa cinquantième année au service du Bureau International. Mr Michard est rentré au BIPM le 21 septembre 1931. C'est sur lui que reposent depuis plus de vingt ans l'organisation et le fonctionnement de l'atelier de mécanique, ainsi que l'entretien d'une grande partie des appareils et des bâtiments. En reconnaissance des services rendus au cours de ces nombreuses années, Mr Dunworth lui remet un exemplaire spécialement relié du livre publié à l'occasion du centenaire de la signature de la Convention du Mètre, ainsi qu'un exemplaire en argent de la médaille frappée à cette même occasion. Une réunion rassemblant la totalité des membres du BIPM a eu lieu, après la session du Comité, afin d'associer tous ses collègues à cet exceptionnel anniversaire.

L'ordre du jour étant épuisé, il ne reste plus au Comité qu'à fixer les dates de sa prochaine session. Les dates retenues sont les 12, 13 et 14 octobre 1982.

### **Recommandation 1 (CI-1981)**

#### Expression des incertitudes expérimentales

Le Comité International des Poids et Mesures,

*considérant*

- la nécessité de convenir de modalités uniformes pour exprimer l'incertitude en métrologie,
- les efforts déployés dans ce but par divers organismes depuis de nombreuses années,
- les progrès encourageants vers une solution acceptable qui ont résulté des discussions du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes réuni au BIPM en 1980,

*reconnaît*

- que les propositions du Groupe de travail pourraient constituer la base d'un accord éventuel pour l'expression des incertitudes,

*recommande*

- que les propositions de ce Groupe de travail soient largement portées à la connaissance des intéressés,
  - que le BIPM s'efforce d'appliquer les principes contenus dans ces propositions aux comparaisons qu'il organisera dans les années à venir,
  - que les autres organismes intéressés étudient et mettent à l'essai ces propositions et fassent connaître au BIPM leurs observations,
  - que dans un délai de deux ou trois ans le BIPM fasse le point sur la mise en œuvre de ces propositions.
-

RAPPORT DU DIRECTEUR  
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION  
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(octobre 1980 - septembre 1981)

---

I. — PERSONNEL

*Nomination*

J.-M. CHARTIER, métrologiste, a été nommé adjoint avec le grade de métrologiste principal à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1981.

*Départ*

H. MOREAU, métrologiste rédacteur depuis 18 ans, a pris sa retraite le 31 décembre 1980, après plus de 54 ans de services efficaces et dévoués. Au cours de sa 69<sup>e</sup> session (octobre 1980), le Comité International des Poids et Mesures lui avait conféré le titre de Métrologiste honoraire.

*Décès*

E. RODRIGUES, agent d'entretien contractuel depuis le 1<sup>er</sup> mars 1978, est décédé au cours d'un accident de la circulation le 19 décembre 1980.

*Engagements*

Ralph P. HUDSON, né le 14 octobre 1924 à Wellingboro (Royaume-Uni), précédemment sous-directeur du « Center of absolute physical quantities » au National Bureau of Standards, Washington, a été engagé comme physicien principal et adjoint le 1<sup>er</sup> octobre 1980; il prendra en charge notamment la rédaction de la revue « Metrologia ».

Michael GLÄSER, né le 11 octobre 1942 à Dantzig, précédemment physicien à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (R.F.A.), a été engagé comme physicien dans la section des longueurs (lasers), le 1<sup>er</sup> janvier 1981.

George T. GILLIES, né le 20 août 1952 à Rugby (États-Unis d'Amérique), précédemment « post-doctoral fellow » au Département de Physique de l'Université de Virginie, a été engagé comme physicien dans la section d'électricité, le 15 juin 1981.

Manuel DE CARVALHO-NEVES a été engagé, le 1<sup>er</sup> février 1981, en qualité d'agent d'entretien contractuel, en remplacement d'E. Rodrigues.

## II. — BÂTIMENTS

### *Observatoire*

Refonte et extension du système de détection d'incendie.

Installation du laboratoire de chimie en salle 7 et d'une cage de Faraday en salle 13.

Réfection de la peinture de la cage d'escalier et du couloir du 1<sup>er</sup> étage; pose d'une moquette dans ce même couloir.

Dédoublage des toilettes du rez-de-chaussée.

### *Petit Pavillon*

Installation, au-dessus d'une pièce de l'atelier de mécanique (côté cour principale), d'une couverture avec dôme translucide.

### *Grand Pavillon*

Réfection des deux bureaux du Secrétariat (moquette, revêtements muraux et électricité).

Ravalement de la façade côté jardin fleuriste et réfection de la peinture de la balustrade de la terrasse.

Ravalement du soubassement côté jardin fleuriste, pose de treillages.

### *Laboratoire des rayonnements ionisants*

Refonte et extension du système de détection d'incendie.

### *Dépendances*

Consolidation de la colline située derrière l'Observatoire (nettoyage, réfection du mur de soutènement, mise en place d'une dalle de protection longeant la partie nord, stabilisation du talus bordant la partie sud); mise en place de deux garde-corps (l'un au sommet du mur de soutènement, l'autre au sommet du mur de soubassement).

Curage annuel des canalisations souterraines des eaux usées.

Réfection de la peinture des portails nord et sud.

Abattage d'une douzaine d'arbres morts et plantations correspondantes.

## III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

### **Remarques générales**

Avec l'engagement de deux nouveaux physiciens, l'un dans la section des lasers, l'autre dans la section d'électricité, les besoins en personnel les plus urgents devraient être satisfaits. Cependant, la prise en charge de la rédaction de *Metrologia*, la création du Comité Consultatif pour la Masse

et la réunion de nombreux Groupes de travail (forces, pressions, incertitudes, sans parler du Groupe de travail *ad hoc* de la CGPM) traduisent une multiplication des tâches qui incombent au BIPM. Entre les besoins croissants exprimés par les laboratoires nationaux et les moyens dont dispose le BIPM, l'équilibre reste fragile.

La réunion du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes, dont on trouvera le rapport par ailleurs, a abouti à un consensus très positif. C'est sans aucun doute le fruit de la préparation prudente entreprise par le BIPM (voir *Procès-Verbaux CIPM*, 48, 1980, Annexe III). La situation devrait se clarifier encore dans les années à venir.

Le personnel du BIPM travaille toujours avec enthousiasme et efficacité. Les points saillants de ce rapport en sont une illustration.

Une nouvelle méthode, dite « d'échantillonnage sélectif », imaginée par J. W. Müller, apporte une solution originale et élégante au problème des mesures d'activité des radionucléides. On peut espérer que cette méthode, une fois éprouvée, constituera au moins une alternative à la méthode traditionnelle de comptage des coïncidences.

D'autres contributions notables ont été enregistrées cette année dans de nombreux domaines :

— pour les lasers asservis sur une raie d'absorption saturée de l'iode, on a mis en évidence l'effet d'impuretés non identifiées contenues dans certaines cuves à iode ;

— les points triples de l'argon et du gallium ont été mis en œuvre avec succès, le premier comme référence de pression au voisinage de la pression atmosphérique, le second comme référence de température au voisinage de la température ambiante ;

— l'usinage final des Kilogrammes prototypes en platine iridié à l'aide d'un outil à pointe de diamant est maintenant au point ;

— la mesure de l'influence des gaz dissous sur la masse volumique de l'eau a donné des résultats dont la qualité ne semble pas pouvoir être mise en doute, bien qu'ils s'écartent notablement des résultats d'autres auteurs ;

— les mesures pyrométriques ont été rendues entièrement automatiques, ce qui devrait améliorer leur précision et même leur exactitude ; le même principe est appliqué pour l'utilisation du radiomètre absolu offert par l'Afrique du Sud ;

— une méthode originale a été mise en œuvre avec succès pour déterminer la sensibilité et l'efficacité du compteur de Geiger-Müller comme détecteur de neutrons.

Nous devons enfin signaler l'installation d'équipements fournis par l'U.R.S.S. et destinés aux mesures électriques : potentiomètre pour la mesure des forces électromotrices, pont de mesure et étalons pour la mesure des résistances de valeurs élevées.

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

## 1. Longueurs (P. Carré, J. Hamon)

### 1.1 — Comparateur photoélectrique et interférentiel

Mise en service, en décembre 1980, dans la cabine de la salle 2, d'un pont Tinsley, type 5840 (résolution  $10\ \mu\Omega$ , soit  $10^{-4}$  K environ), pour la mesure de la résistance du thermomètre à résistance de platine installé dans le caisson du comparateur. Ce pont, qui fonctionne en courant alternatif, et qui remplace le pont de Smith précédemment utilisé, donne satisfaction.

### 1.2 — Étalons à traits

#### *Comparaisons internationales*

Les comparaisons internationales de mesure de règles divisées (Rapport 1980, p. 31), organisées par le BIPM et commencées en 1976, se poursuivent. Le plan de circulation pour le troisième circuit a été mis au point avec les laboratoires concernés : IMGC (Italie), NIM (Rép. Pop. de Chine), CSIRO (Australie) et OFM (Suisse). La règle N° 12924 (qui participe seule à ces comparaisons) a été étudiée successivement à l'IMGC (mars à juin 1981) et au NIM (juin à septembre 1981). Elle est parvenue au CSIRO, Australie, à la fin de septembre 1981.

La cause de l'écart entre les résultats obtenus au cours du 1<sup>er</sup> circuit par le NRLM et par les autres laboratoires a été récemment élucidée : un dérèglement d'un élément de l'optique de l'appareillage de mesure entraînait une erreur systématique qui a été évaluée à  $-1,00\ \mu\text{m}$ .

La règle décimétrique munie de quatre divisions demi-centimétriques imbriquées, commandée à la Société Genevoise d'Instruments de Physique, nous est parvenue le 30 janvier 1981 ; elle porte le numéro 19901. Le constructeur nous a adressé un rapport sur les examens auxquels la règle elle-même et les éprouvettes fabriquées simultanément ont été soumises (photographies d'interférences, contraste et rectitude des traits, photographies au microscope électronique, examen métallographique). Nous avons nous-mêmes effectué une première étude de la division de cette règle.

Les largeurs des traits des quatre échelles (désignées ci-dessous par I, II, III et IV) sont respectivement 5, 7, 9 et  $11\ \mu\text{m}$ .

Nous avons déterminé la longueur à  $20\ ^\circ\text{C}$  de l'intervalle principal de l'échelle I en faisant huit séries de mesures (deux pour chacun des deux microscopes — microscope gauche et microscope droit — et pour chacune des deux positions — position AB et position BA — de la règle par rapport au comparateur) et effectué l'étalonnage de tous les traits des quatre échelles en faisant seize séries de mesures (quatre pour chacun des deux microscopes et pour chacune des deux positions) ; au cours de chaque série d'étalonnage, les traits de deux échelles étaient pointés : échelles I et II, ou II et III, ou III et IV ou enfin IV et I. Nous avons ensuite effectué un second étalonnage

(seize séries) avec une intensité de courant différente dans les lampes des microscopes photoélectriques.

Les réductions ont été d'abord effectuées en calculant la position de chaque trait par rapport aux extrémités de l'échelle à laquelle il appartient, c'est-à-dire en considérant les quatre échelles comme indépendantes. La dispersion des résultats obtenus (huit valeurs pour chaque trait et pour chaque étalonnage) varie très nettement d'une échelle à l'autre. On peut la caractériser par les valeurs suivantes (écarts-types moyens).

	Échelle I	Échelle II	Échelle III	Échelle IV
premier étalonnage	8 nm	14 nm	22 nm	56 nm
second étalonnage	7	14	21	59

C'est donc l'échelle constituée des traits les plus fins qui, pour notre installation, est la mieux définie.

On a ensuite effectué les réductions en calculant la position de chaque trait par rapport aux extrémités de l'échelle la mieux définie. L'effet principal observé est un déplacement apparent d'ensemble de chacune des échelles II, III et IV par rapport à l'échelle I prise comme référence lorsqu'on change de microscope ou lorsqu'on retourne la règle. Les valeurs suivantes ont été obtenues (moyennes des deux étalonnages) :

Effet du retournement de la règle : (position BA) — (position AB)

	Échelle II	Échelle III	Échelle IV
microscope droit	— 129 nm	— 246 nm	— 358 nm
microscope gauche	+ 111	+ 255	+ 449

Effet du changement de microscope : (micr. gauche) — (micr. droit)

	Échelle II	Échelle III	Échelle IV
position AB	— 58 nm	— 58 nm	— 17 nm
position BA	+ 182	+ 443	+ 790

En général, les déplacements observés croissent avec la largeur des traits et sont beaucoup plus importants que le défaut de reproductibilité des pointés. On a ainsi confirmé que la qualité métrologique d'une règle tient plus à la similitude de ses traits qu'à leur finesse. L'étude des résultats se poursuit.

#### *Règles divisées*

Sept règles ont été mesurées au comparateur photoélectrique et interférentiel.

— Règle N° 15566 de 1 m en acier nickelé (Laboratoire National d'Essais, Paris) : longueur de l'intervalle principal et étalonnage des centimètres. Depuis sa dernière détermination (juin 1975) la longueur de cette règle a augmenté de 0,07  $\mu\text{m}$ .

— Règle N° 0112-77 de 1 m en acier au nickel (Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava) : coefficient de dilatation, longueur de l'intervalle principal, étalonnage des décimètres, des centimètres des décimètres extrêmes et des millimètres des centimètres extrêmes.

— Règles en acier nickelé N° 16775 de 1 m et N° 19903 de 0,2 m (Central Organization for Standardization and Quality Control, Bagdad) : coefficients de dilatation, longueur des intervalles principaux et étalonnage des centimètres.

— Règle N° 427/69 de 0,5 m en acier au nickel (National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba) : longueur de l'intervalle principal et étalonnage des décimètres.

— Règle N° 4795 de 1 m en acier au nickel (Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakosci, Varsovie) : longueur de l'intervalle principal. C'est la troisième fois que nous mesurons cette règle. Les résultats obtenus, donnés ci-après, montrent un raccourcissement qui a tendance à se ralentir.

septembre	1973	: 1 m	— 3,53 $\mu\text{m}$
novembre	1976	:	— 3,78
mai	1981	:	— 3,97

— Règle N° 0114-77 de 1 m en acier au nickel (Office National des Mesures, Budapest) : coefficient de dilatation, longueur de l'intervalle principal, étalonnage des décimètres.

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

Pour la mesure de la température des calibres dans l'interféromètre Tsugami, nous avons remplacé le thermomètre à mercure du point de référence par un thermomètre à résistance de platine du type capsule dont la résistance est déterminée au moyen d'un pont Tinsley type 5840.

Dans cet interféromètre, nous avons mesuré neuf calibres (Office Fédéral de Métrologie, Suisse) déjà étudiés en 1975, 1977 et 1979 ; il est prévu de continuer à étudier ces calibres tous les deux ans.

### 1.4 — Base géodésique (G. Girard)

#### *Fils et rubans géodésiques*

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

#### *Invar géodésique*

Nous avons effectué l'étuvage de 190 kg d'alliage constituant les livraisons 32 (F et G) issues de la coulée FP950 et, en relation avec les traitements thermiques, nous avons déterminé le coefficient de dilatation de treize échantillons de fil de 24 m de longueur.

Nous avons d'autre part soumis 80 fils d'invar géodésique de 24 m de longueur à un traitement mécanique (battage) pour une entreprise française.

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

### 2.1 — Généralités

La continuité de fonctionnement des lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée risque de ne pas pouvoir être assurée car il devient de plus en plus difficile de se procurer des tubes à décharge commerciaux utilisables en métrologie. Le BIPM a pris contact avec différents fabricants ; seul l'un d'entre eux (Société NEC, Tokyo) s'est intéressé au problème ; avant la fin du troisième trimestre de 1981, ce fabricant doit nous fournir les premiers tubes, comportant deux fenêtres orientées à l'incidence de Brewster. La plupart des laboratoires nationaux seront intéressés par cette fabrication. Parallèlement, le BIPM poursuit sa collaboration avec les Éts Jaeger (Levallois, France) pour la mise au point de tubes à décharge similaires. Nous avons aussi étudié sur d'anciens tubes que nous avons ouverts le mélange de gaz qui réalise le meilleur compromis entre la puissance et le bruit pour les longueurs d'onde 3,39  $\mu\text{m}$ , 633, 612 et 594 nm.

Un autre problème important est la reproductibilité de la fréquence des lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode. On s'est aperçu, lors de comparaisons de lasers entre laboratoires, que des décalages relatifs de fréquence de quelques  $10^{-10}$  semblaient être dus aux cuves à iode elles-mêmes. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons procédé à un échange de cuves avec le NPL ; nous avons aussi comparé plusieurs cuves en provenance de différents laboratoires nationaux. Les résultats sont présentés dans ce rapport.

Trois lasers spéciaux, munis de réglages multiples, à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ , 633 et 612 nm ont été réalisés pour étudier de façon systématique les facteurs qui limitent la reproductibilité de la fréquence.

Le laser du gravimètre transportable BIPM-Jaeger appartenant au Geographical Survey Institute (Tsukuba, Japon) était équipé d'un tube à décharge spécialement mis au point par le BIPM. Après une année, ce tube, qui avait cessé de fonctionner, a été remplacé par un tube commercial CW Radiation qui n'a lui-même fonctionné que quelques mois ; nous avons suggéré de le remplacer dès que possible par un tube NEC. Le laser qui sera utilisé sur le gravimètre du même type destiné au BIPM est en cours d'essai ; actuellement, il fonctionne avec l'un de nos derniers tubes à décharge.

Le NIM (Beijing, Rép. Pop. de Chine) nous a fait parvenir gracieusement trois verreries de tubes à décharge qu'il a construites à notre intention.

Nous avons bénéficié d'un prêt très important de la PTB : un laser à argon ionisé asservi sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe. Ce laser nous a été fourni avec son asservissement, en état de fonctionnement. Mr F. Spieweck (PTB) en a assuré la mise en service au BIPM en septembre 1981. Nous sommes reconnaissants à la PTB de l'intérêt qu'elle porte à nos travaux et nous la remercions de son aide.

Nous avons acquis un ordinateur Tektronix type 4052 équipé d'une imprimante, d'une table traçante et de deux unités de disques souples. Cet équipement nous a déjà permis d'enregistrer des résultats de mesures de fréquence de battements de lasers et de faire des calculs de moyenne, d'écart-type et de variance d'Allan. Ces calculs étaient précédemment effectués avec un compteur calculateur de capacité moindre, plus lent et moins souple. Nous comptons utiliser aussi cet ordinateur pour piloter des expériences telles que la stabilisation de lasers avec décalage de fréquence, ce qui devrait permettre l'étude de spectres avec plus de souplesse que la méthode purement analogique utilisée jusqu'ici.

## 2.2 — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne

### *Comparaison de lasers de référence du BIPM à $\lambda = 633$ nm*

Les lasers BIPM3 et BIPM4 ont été comparés par battement au laser BIPM2. Deux déterminations ont été faites sur chaque laser, chacune comportant la mesure de douze intervalles de fréquence; on a obtenu :

le 17 octobre 1980,	(BIPM2) — (BIPM4) = + 10,2 kHz	$\sigma = 0,6$ kHz
le 6 janvier 1981,	+ 0,3	0,9
le 22 mai 1981,	(BIPM2) — (BIPM3) = — 6,2	1,5
le 26 mai 1981,	+ 7,0	1,2

$\sigma$  est l'écart-type d'une mesure.

### *Mesure de l'intervalle ( $^{129}\text{I}_2, \text{B}$ ) — ( $^{127}\text{I}_2, \text{i}$ )*

Nous avons refait cette détermination après avoir procédé à plusieurs modifications sur le laser NBS/BIPM ( $^{129}\text{I}_2$ ), notamment en ajoutant une seconde céramique piézoélectrique de manière à séparer la tension de modulation de la tension d'asservissement et en améliorant l'asservissement.

Nous avons obtenu quatre valeurs dont la moyenne est

$$(^{129}\text{I}_2, \text{B}) - (^{127}\text{I}_2, \text{i}) = 988,310 \text{ MHz} \quad \sigma = 4 \text{ kHz.}$$

En 1978, nous avons obtenu pour le même intervalle 988,320 MHz.

### *Comparaisons de cuves à iode*

1) *Comparaison entre le NPL et le BIPM.* — Quatre cuves du NPL et quatre cuves du BIPM ont été comparées successivement dans les deux laboratoires. Il s'agissait, pour chaque laboratoire, de confirmer si les écarts de fréquence sont bien liés systématiquement aux cuves à iode.

Au BIPM, la plupart des cuves ont été montées successivement sur deux lasers différents, et on a comparé par battement ces lasers au laser de référence BIPM 2. Pour chaque cuve, le résultat obtenu ne dépendait pas significativement du laser sur lequel elle était montée.

Les valeurs données au Tableau I sont les différences ( $\Delta f$ ) mesurées entre la fréquence du laser muni de la cuve à étudier et celle du laser de référence de chaque laboratoire.

TABLEAU I  
*Comparaison de cuves à iode*

Cuves (date de remplissage)	$\Delta f$	
	BIPM (fév. 1981)	NPL (avr. 1981)
NPL MOM2b (1979-04)	+ 5,7 kHz	- 1,6 kHz
N° 15 (1975 )	-- 28,6	- 20,4
MOM3d (1980-07)	- 65,0	- 59,1
QM3a (1980-07)	+ 7,1	+ 1,1
BIPM N° 5 (1973-06)	- 0,3 kHz	+ 5,9 kHz
22 (1980-02)	- 240,2	- 237,8
25 (1980-06)	- 81,9	
26 (1980-12)	- 11,7	- 6,1

L'écart-type d'une mesure concernant les déterminations effectuées au BIPM est de l'ordre de 6 kHz. On peut remarquer que l'écart maximal entre les mesures faites au BIPM et celles faites au NPL est inférieur à 10 kHz (soit  $2 \times 10^{-11}$  en valeur relative).

Ces mesures confirment donc l'existence de décalages systématiques liés aux cuves à iode elles-mêmes, sans corrélation avec leur âge.

2) *Comparaison de cuves à iode de différentes origines.* — Dans les mêmes conditions que précédemment, nous avons obtenu :

Cuves	$\Delta f$	$\sigma$	$n$
IMGC1	- 11,1 kHz	4,5 kHz	5
IMGC2	- 2,4	5	5
TCHE1	- 51,3	7	5
NPL/BIPM3b	- 22,8		1
BIPM28	- 2,4		1
BIPM6/INM	- 6,1		1
BIPM12/INM	- 17,5		1

Les deux premières cuves proviennent de l'IMGC (Italie), la troisième provient de l'Institut Métrologique Tchèque, Prague, la quatrième, remplie au NPL, est du même modèle que les trois suivantes, remplies au BIPM;  $\sigma$  est l'écart-type d'une mesure;  $n$  est le nombre de mesures.

On a constaté lors de ces comparaisons que lorsque l'on diminuait d'un facteur deux la puissance du laser étudié, en tournant la cuve à iode autour de l'axe optique, la variation de fréquence était inférieure à 10 kHz.

On a aussi déterminé le coefficient de variation de la fréquence du laser en fonction de la pression d'iode sur un grand nombre de cuves. Toutes les

valeurs obtenues sont voisines de 8 kHz/Pa; elles ne permettent pas d'expliquer les écarts de fréquence observés entre les différentes cuves. L'effet de puissance du faisceau laser ne permet pas non plus d'interpréter les résultats observés<sup>(1, 2)</sup>.

Une étude préliminaire semble indiquer que les décalages observés peuvent être dus à la présence, en petite quantité, d'impuretés condensées en même temps que l'iode.

#### *Lasers à $\lambda = 612$ nm*

Nous possédons maintenant un second laser, appelé BIOR2, de caractéristiques identiques à celles de BIOR1 (Rapport 1979, p. 30) et dont l'asservissement a été construit et mis au point au BIPM. Ces deux lasers, mis en place sur l'un des piliers de la salle 103, constituent notre base de mesures par battement tant pour l'étude de la stabilité et de la reproductibilité de fréquence de ces étalons que pour d'éventuelles comparaisons internationales.

#### *Lasers à $\lambda = 594$ nm*

Nous avons placé dans une cavité identique à celles des lasers à  $\lambda = 612$  nm, mais équipée de miroirs dont le facteur de réflexion est maximal pour  $\lambda = 580$  nm, un tube à décharge muni d'un robinet. Nous avons déterminé le meilleur mélange gazeux pour obtenir l'effet laser à  $\lambda = 594$  nm, c'est

$$p(^{20}\text{Ne}) = 29 \text{ Pa}; \quad p(^{20}\text{Ne}) + p(\text{He}) = 213 \text{ Pa}.$$

Dans ces conditions, le laser fournit une puissance de l'ordre de 100  $\mu\text{W}$ , mais il ne nous a pas été encore possible de le faire fonctionner avec une cuve à iode dans la cavité. Nous espérons ainsi construire un laser asservi ayant des performances analogues à celles des lasers fonctionnant à  $\lambda = 633$  nm. En effet, nous avons pu enregistrer la structure hyperfine d'une raie de l'iode au voisinage de 594 nm à l'aide d'un laser à colorant appartenant au Laboratoire Aimé Cotton (Orsay), accordable en fréquence et équipé d'une cuve à iode externe.

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

Nous envisageons de réaliser deux lasers à He-Ne, à  $\lambda = 612$  nm, asservis sur l'absorption saturée de l'iode dans une cuve située en dehors de la cavité optique du laser, à l'intérieur d'un résonateur du type Perot-Fabry.

---

<sup>(1)</sup> LAYER (H. P.), A portable iodine stabilized He-Ne laser. *IEEE Trans. Instr. Meas.*, **IM-29**, 1980, pp. 358-361 (le signe du déplacement de fréquence de la fig. 10 doit être inversé).

<sup>(2)</sup> SPIEWECK (F.), Dependence of the  $\text{I}_2$  stabilized  $\text{Ar}^+$  laser frequency on the power density. European Conference Abstracts, **4E** (12<sup>th</sup> EGAS Conf., 2-5 Sept. 1980, Pisa), 1980, article N° 112.

Ce type de laser a déjà été réalisé au LHA (Orsay)<sup>(3)</sup> et à la PTB (Braunschweig)<sup>(4)</sup>; les premiers résultats obtenus montrent que la reproductibilité et la stabilité de la fréquence sont meilleures avec ce type de laser que celles obtenues avec un laser à cuve interne. En outre, l'absorption à cette longueur d'onde est beaucoup plus intense qu'à 633 nm (Rapport 1979, p. 31).

Pour la mise en œuvre de cette expérience, nous avons acquis un marbre NRC (É.-U. d'Amérique) à structure en nid d'abeille, donc très rigide, muni d'un système de suspension oléo-pneumatique, et un minicalcateur Tektronix 4052 ainsi que différents périphériques. Une partie du bâti de ces lasers a déjà été réalisée à notre atelier de mécanique; les pièces optiques nécessaires, notamment des isolateurs optiques à effet Faraday, ont été commandées.

#### 2.4 — Étalonnage de lasers asservis sur le « Lamb dip »

Les deux lasers Spectra-Physics, type 119, utilisés aux sections longueurs et gravimétrie ont été réétalonnés par battement avec un laser asservi sur l'iode 127. Les valeurs données ci-dessous sont obtenues à partir de la différence de fréquence mesurée entre le laser étudié et le laser de référence, en admettant pour ce dernier la longueur d'onde recommandée (*Procès-Verbaux CIPM*, 41, 1973, p. 112).

Laser N° 418 (Longueurs)	{	$\lambda = 632\,991\,438,2$ fm	janvier	1981
		(434,3	mars	1980)
Laser N° J3284 (Gravimétrie)	{	$\lambda = 632\,991\,434,1$ fm	avril	1981
		(433,4	septembre	1974)

#### 2.5 — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane ( $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ )

Nous avons ouvert le tube à décharge à He-Ne que le NIM (Beijing) nous avait donné en mai 1980 et refait le remplissage. Avec le mélange gazeux utilisé habituellement, mais non optimisé pour ce tube, nous avons obtenu un contraste du pic du méthane de l'ordre de 5%. L'étude du mélange optimal est en cours et le capillaire tronçonné du tube devrait nous permettre d'obtenir une courbe de gain aplatie. On pourrait donc utiliser la dérivée première du signal de l'intensité pour asservir le laser, ce qui devrait améliorer la reproductibilité de la fréquence.

---

<sup>(3)</sup> CÉREZ (P.), BRILLET (A.), MAN-PICHOT (C. N.) et FELDER (R.), He-Ne lasers stabilized by saturated absorption in iodine at 612 nm. *IEEE Trans. Instr. Meas.*, **IM-29**, 1980, pp. 352-354.

<sup>(4)</sup> DSCHAO (K.), GLÄSER (M.) et HELMCKE (J.), I<sub>2</sub> stabilized He-Ne lasers at 612 nm. *IEEE Trans. Instr. Meas.*, **IM-29**, 1980, pp. 354-357.

## 2.6 — Projets à court terme

Nous pensons commencer prochainement l'étude de lasers à argon ionisé asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe. Des résultats très prometteurs ont en effet été obtenus avec des lasers de ce type par G. Camy au LPL (Villetaneuse, France) et par F. Spieweck à la PTB (Braunschweig). Nous avons passé commande d'un laser à argon LEXEL (É.-U. d'Amérique) qui nous permettra de construire un laser de ce type.

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

Dans l'interféromètre de Michelson, sous vide, mesure de la longueur d'onde de deux raies d'absorption de l'iode 127 qui coïncident avec les deux raies jaunes du sodium. Ces raies étaient explorées par un laser à colorant (rhodamine) construit par P. Juncar et J. Pinard au Laboratoire Aimé Cotton (Orsay).

La référence était la longueur d'onde de la composante d de la raie (11-5)R127 de notre laser BIPM3; la différence de marche était de 375 mm.

Nous avons obtenu

pour la composante o de la raie (14-1)P114 :

$$\lambda = 589\,756\,661,7 \text{ fm,}$$

pour la composante n de la raie (15-2)P38 :

$$\lambda = 589\,158\,022,0 \text{ fm.}$$

La dispersion des résultats des diverses mesures correspond à un écart-type de la moyenne de 0,2 fm pour la première raie (quatre séries de mesure) et de 0,45 fm pour la seconde (six séries).

## 3. Masses (G. Girard)

### 3.1 — Masse volumique de cylindres en platine iridié

Nous indiquions (Rapport 1980, p. 40) que nous avons extrait cinq ébauches (JM17 à JM21) d'un lingot de platine iridié fabriqué par Johnson-Matthey; nous donnions la valeur de la masse volumique obtenue pour l'ébauche JM19.

Les masses volumiques des quatre autres ébauches ont été déterminées aussi par des pesées hydrostatiques effectuées au voisinage de 22 °C. L'eau de robinet du BIPM, bidistillée, a été utilisée comme étalon; on a admis pour sa masse volumique à 4 °C la valeur 999,972 kg/m<sup>3</sup> et pour sa dilatation thermique celle qui est donnée par Chappuis; on a corrigé la

valeur de la masse volumique de l'eau à la température des mesures pour tenir compte de l'air dissous. Les résultats suivants ont été obtenus :

Ébauche	Masse volumique à 0 °C
JM17	21 535,15 kg/m <sup>3</sup>
JM18	27
JM19	37
JM20	40
JM21	30

La valeur donnée antérieurement pour JM19 (21 535,40 kg/m<sup>3</sup>) n'était pas corrigée pour la présence d'air dissous dans l'eau.

A titre indicatif, nous donnons les valeurs que le NPL a obtenues pour la masse volumique des deux ébauches qu'il avait prélevées auparavant sur le même lingot :

1	21 534,2 kg/m <sup>3</sup>
2	4,9

### 3.2 — Comparaison de masses de 1 kg avec le NRLM et le CSIRO \*

Nous avons maintenant les résultats définitifs du NRLM (Japon) et du CSIRO (Australie) concernant la comparaison de deux étalons de masse de 1 kg, l'un en platine iridié et l'autre en acier inoxydable (*voir* Rapport 1980, p. 41). Nous rappellerons brièvement qu'en septembre-octobre 1979 le BIPM avait comparé aux prototypes d'usage courant en platine iridié (9 et 31) un étalon en platine iridié provenant de chacun de ces laboratoires (E59 et 44), deux étalons en acier inoxydable du BIPM (N2 et N3) et deux autres étalons en acier inoxydable du BIPM (U. et J1). Un étalon en acier inoxydable du BIPM a été déposé dans chaque laboratoire avec l'étalon en platine iridié lui appartenant. Des mesures directes ou indirectes ont été effectuées aussitôt et, fin décembre 1979, les deux étalons en acier inoxydable étaient de retour au BIPM. Ils ont alors été comparés aux prototypes d'usage courant et principalement aux deux étalons en acier inoxydable restés au BIPM, afin de vérifier la stabilité de leur masse.

Les valeurs trouvées dans les trois laboratoires sont indiquées dans le tableau II. Elles ont été ramenées à un taux d'humidité relative de 59 % (valeur observée au BIPM lors des mesures aller) à l'aide d'une formule proposée par le NRLM pour exprimer, en fonction de l'humidité relative, l'effet de la vapeur d'eau adsorbée sur la différence de masse entre deux étalons de 1 kg, l'un en acier inoxydable et l'autre en platine iridié. L'application de cette formule conduit à une correction non négligeable ; en effet, pour une variation de 10 % du taux d'humidité relative, cette correction est de 6 µg.

---

\* Antérieurement NML.

TABLEAU II

*Masse des étalons en acier inoxydable N2 et N3 déterminée par le BIPM, le NRLM et le CSIRO*

(excès sur la valeur nominale)

	BIPM sept.-oct. 1979	NRLM décembre 1979	CSIRO déc. 1979-1980	BIPM février 1980
N2	+ 0,220 mg	+ 0,215 mg		+ 0,220 mg
N3	+ 0,083 mg		+ 0,091 mg	+ 0,098 mg

Un projet de rapport plus détaillé a été présenté à la 1<sup>re</sup> session du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées en juin 1981.

### 3.3 – Fabrication des étalons de masse en platine iridié

Nous avons décrit antérieurement (Rapports 1979, p. 34; 1980, p. 45) la technique d'usinage au diamant du platine iridié destinée à obtenir une surface ayant un poli spéculaire, et les étapes préliminaires du processus de fabrication d'un « Kilogramme prototype ». Nous appelons ainsi un étalon dont on a déterminé au BIPM la masse volumique et la masse, et qui a un numéro d'ordre dans la série qui a commencé avec les numéros 1 à 40 préparés pour la 1<sup>re</sup> CGPM (1889); sa masse doit être comprise entre 1 kg + 1 mg et 1 kg – 1 mg.

Nous sommes maintenant parvenus avec succès au but final qui était de fabriquer un tel Kilogramme prototype en utilisant la nouvelle méthode d'usinage et d'ajustage au diamant. Ce prototype porte le N° 64. Un certain nombre d'autres Kilogrammes prototypes sont actuellement en cours de fabrication; la plupart sont destinés à devenir des étalons nationaux de masse. Nous espérons pouvoir en conserver au moins trois au BIPM afin de faire des recherches à long terme sur la stabilité de leur masse. Il y a tout lieu de penser que ces étalons seront moins influencés par les conditions ambiantes que ceux qui étaient fabriqués selon l'ancienne technique de polissage manuel, car leur surface effective doit être nettement inférieure à celle des anciens étalons, comme le suggère la figure 1.

Le détail du processus de fabrication d'un Kilogramme prototype est le suivant :

#### *Fabrication de l'alliage de platine iridié*

Un mode de fabrication a été maintenant convenu avec Johnson-Matthey (Londres). Il doit donner un alliage homogène, à forte masse volumique, à grain fin, tout à fait approprié à l'usinage au diamant. Cet alliage est obtenu à partir de mousse vierge de platine et d'iridium; il doit contenir, en masse,  $(10 \pm 0,25) \%$  d'iridium; il ne doit pas contenir plus de 0,2 % au total de rhodium, palladium et ruthénium, 0,05 % de fer et 0,02 %

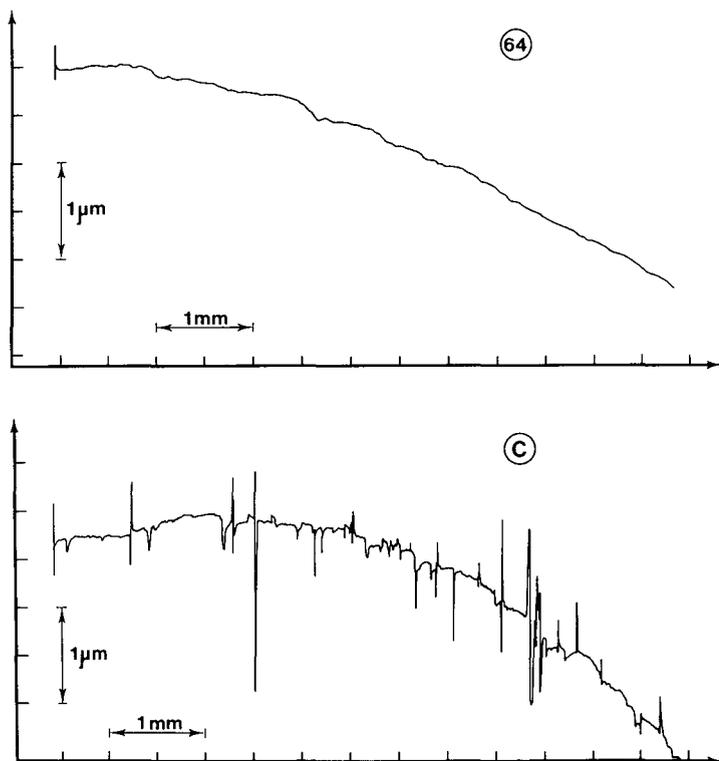


Fig. 1. — État de surface déterminé par le « Talysurf » sur une face plane des Kilogrammes prototypes 64 (nouvelle technique de polissage, rugosité moyenne  $0,012 \mu\text{m}$ ) et C (polissage manuel effectué vers 1880).

d'autres éléments. La masse volumique finale de l'alliage ne doit pas être inférieure à  $21\,530 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

L'alliage est d'abord coulé selon la méthode de Durville en un bloc d'environ  $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$ . Il est ensuite forgé à chaud, entre  $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $1\,300 \text{ }^\circ\text{C}$ , en un prisme droit à base polygonale d'environ  $8 \text{ cm}$  d'épaisseur et  $16 \text{ cm}$  de longueur. La billette forgée est alors livrée au NPL, où elle est extrudée, à  $1\,200 \text{ }^\circ\text{C}$ , en utilisant le verre comme lubrifiant, pour donner un cylindre d'environ  $4,3 \text{ cm}$  de diamètre. On procède à ce moment à des radiographies par rayons gamma pour vérifier l'absence de cavités. Deux rondelles sont prélevées (une à chaque extrémité); elles sont envoyées au BIPM pour examen. On procède aussi à des essais par analyses spectroscopique et chimique. Si ces analyses sont toutes satisfaisantes, le lingot est livré en totalité au BIPM où il est débité en ébauches de  $43 \text{ mm}$  de longueur.

#### *Méthode d'usinage à l'outil au diamant*

Chaque ébauche est d'abord usinée grossièrement au moyen d'un outil en acier ou en carbure de tungstène pour donner un cylindre de  $40 \text{ mm}$  de

longueur et 40 mm de diamètre. Un poli préliminaire est obtenu à l'aide d'un outil au diamant avant de procéder à la mesure précise de la masse volumique par pesée hydrostatique. Une des faces planes de l'ébauche est ensuite usinée au diamant pour obtenir un bon poli. Sur cette face on colle une pièce en laiton pour tenir l'ébauche (fig. 2a). L'utilité de cette pièce est de permettre le montage de l'ébauche dans une pince sur le tour en laissant libre la totalité de la surface cylindrique et une face plane afin de les usiner sans modifier l'axe de rotation. La surface cylindrique est alors usinée à

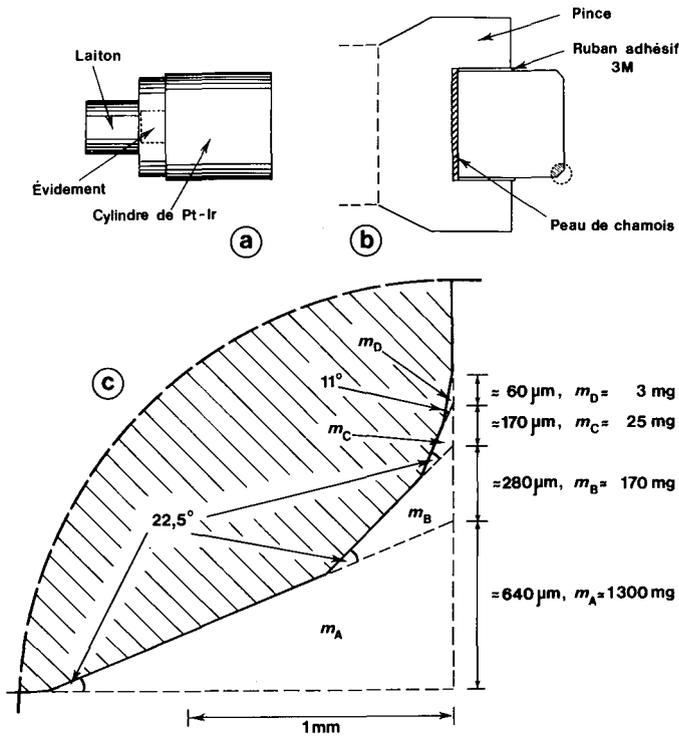


Fig. 2. — Usinage et ajustage d'un Kilogramme prototype.

- a) montage pour l'usinage de l'ébauche en platine iridiée.
- b) montage de l'ébauche dans une pince; la zone cerclée est agrandie à la figure 2c.
- c) schéma des étapes successives du biseautage.

l'outil au diamant jusqu'à un diamètre final de 39,17 mm et un état de surface définitif. Le diamètre de 39,17 mm a été prévu pour être très voisin de la hauteur du cylindre terminé; cependant, il est, dans une certaine mesure, arbitraire : il doit correspondre très étroitement à une pince fabriquée spécialement pour maintenir l'ébauche pendant l'usinage de la face plane.

Lorsque la surface cylindrique est terminée, à l'exception du numérotage qui vient ultérieurement, l'ébauche est montée dans une pince comme

l'indique la figure 2b. La surface cylindrique finie est protégée par une couche unique de ruban adhésif plastique 3M. La seconde face plane est alors usinée; on détermine régulièrement la masse de l'ébauche jusqu'à ce qu'elle soit 1 kg + 3 g, tout en veillant à garder un bon poli. On ne travaille plus alors les faces planes. A ce stade, l'ébauche est numérotée en marquant la surface cylindrique très légèrement au pochoir avec une brosse et un peu de pâte au diamant. L'usinage se poursuit au tour en biseautant les arêtes.

Le biseautage est effectué suivant un plan déterminé à l'avance, selon lequel la quantité exacte de matière à enlever à chaque étape est soigneusement calculée. Afin de réaliser cela avec une exactitude suffisante, le tour a été équipé d'un indicateur numérique de position pour le déplacement transversal, avec une résolution de 1  $\mu\text{m}$ , et d'un autre pour le déplacement longitudinal, avec une résolution de 5  $\mu\text{m}$ . De plus, un microscope binoculaire est monté sur le tour afin de pouvoir ajuster avec précision l'orientation de l'outil par rapport à la surface à travailler. La figure 2c donne le schéma des étapes successives du biseautage. A chaque extrémité, il faut enlever environ 1 500 mg d'alliage. On fait d'abord le biseau à 22,5° par rapport à l'axe longitudinal pour enlever 1 300 mg. Ensuite, le biseau à 45° enlève 170 mg, celui à 67,5° enlève 25 mg et enfin un biseau à environ 79° enlève environ 3 mg.

L'ajustage de la masse finale étant effectué à une extrémité seulement, aucune des quantités ci-dessus n'est critique pour la première extrémité finie; le biseau à 79° n'est pas nécessairement pratiqué sur cette extrémité. Avant que celle-ci ne soit considérée comme achevée, on s'assure qu'il ne subsiste aucune bavure. La jonction de chaque biseau avec le suivant est adoucie par un polissage manuel à l'aide d'un morceau de bois recouvert de pâte de diamant de 0,1  $\mu\text{m}$ .

#### *Ajustage final*

Lorsqu'une extrémité est terminée, l'ajustage final est effectué sur l'autre extrémité, d'abord en usinant les biseaux comme indiqué ci-dessus. A divers stades, pendant ce processus d'ajustage, l'ébauche est enlevée de la pince, nettoyée et pesée. Bien entendu, on le fait plus fréquemment vers la fin. Lorsque le dernier biseau, à 79°, a été fait et que la masse est d'environ 1 kg + 2 mg, l'ajustage final se fait manuellement de la même façon que pour enlever les bavures, par petites quantités de 0,1 mg à 0,5 mg.

### **3.4 — Balance Rueprecht**

La balance Rueprecht de portée 1 kg, envoyée en octobre 1979 à Chyo Balance Corporation (Japon) pour révision et modification, est revenue au BIPM à la fin du mois de mars 1981.

### 3.5 — Fraction molaire de CO<sub>2</sub> dans l'air

L'étude commencée en novembre 1979 (voir Rapport 1980, p. 46) sur la variation de la fraction molaire de CO<sub>2</sub> dans l'air de la cour du BIPM s'est poursuivie. La figure 3 représente les résultats déjà obtenus.

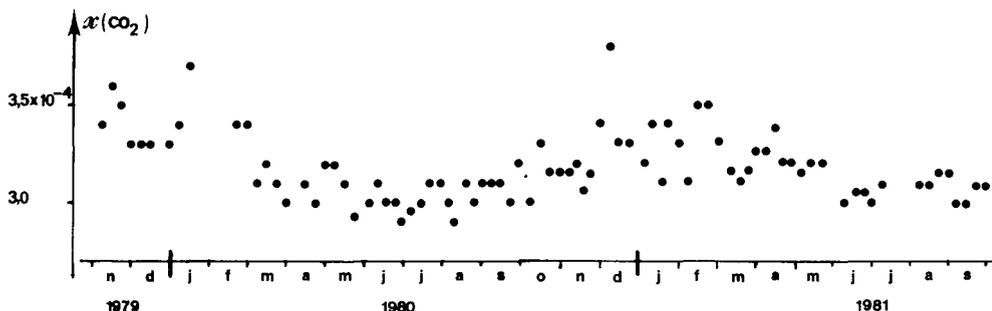


Fig. 3. — Variation de la fraction molaire  $x$  de CO<sub>2</sub> dans l'air de la cour du BIPM.

### 3.6 — Masse volumique de l'eau

Dans le Rapport de 1978 (p. 37), nous indiquions que des mesures préliminaires avaient été effectuées pour connaître la variation de la masse volumique d'un échantillon d'eau d'abord privée de ses gaz atmosphériques dissous, puis saturée en ces gaz.

Cette étude a été reprise et les résultats partiels obtenus ont été présentés à la Second International Conference on Precision Measurement and Fundamental Constants (Washington, 8-12 juin 1981).

Nous n'en donnons que les résultats.

Les mesures n'ont été faites jusqu'à maintenant qu'à 4, 5, 10, 16 et 22 °C.

La figure 4 indique qu'à une température donnée la masse volumique est linéairement décroissante en fonction de l'augmentation de la quantité de gaz atmosphériques dissous.

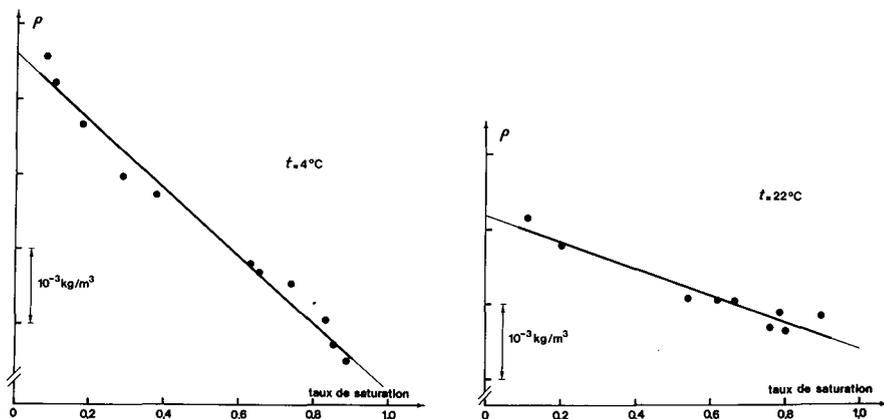


Fig. 4. — Variation, à température  $t$  constante, de la masse volumique de l'eau en fonction de la teneur en gaz atmosphériques dissous.

Sur la figure 5, nous avons reporté les résultats que nous avons obtenus aux cinq températures différentes. Une droite a été provisoirement tracée au mieux ; l'équation de la courbe définitive sera établie lorsque nous aurons poursuivi cette étude, notamment à des températures intermédiaires.

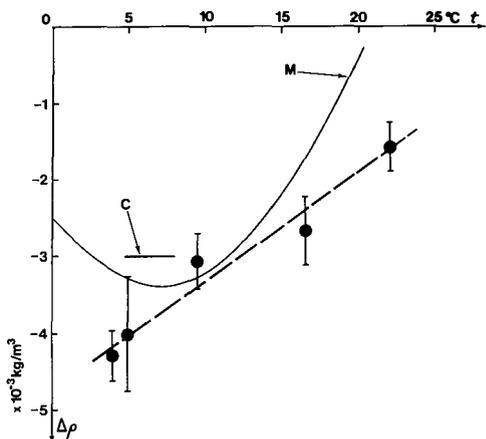


Fig. 5. — Variation, en fonction de la température, de la différence de masse volumique entre un échantillon d'eau saturée d'air et le même échantillon d'eau privée d'air.

M, courbe donnée par Marek en 1891 ; C, valeur moyenne donnée par Chappuis en 1910 (entre 5 et 8 °C) ; les points représentent les résultats des mesures effectuées au BIPM en 1981, les barres d'incertitude correspondent à trois fois l'écart-type.

### 3.7 — Études courantes et divers

— Étalonnage de la série de masses de 1 kg à 1 g en laiton chromé, N° 32 ; détermination de la masse volumique et de la masse d'un étalon de 1 kg en acier inoxydable, N° 13 (Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Rép. Dém. Allemande).

— Détermination de la masse d'un étalon de 100 g en acier inoxydable ; détermination de la masse volumique et de la masse d'un étalon de 1 kg en acier inoxydable (Office Fédéral de Métrologie, Suisse).

— Nouvelle détermination de la masse d'un étalon de 1 kg en acier inoxydable Nicral D, N° 42 (National Physical Laboratory, Israël).

— Détermination de la masse d'étalons de 1 g, 100 mg, 10 mg et 1 mg en platine (Service des Instruments de Mesure, France).

#### Achat

- d'un nanovoltmètre Keithley ;
- de deux enregistreurs potentiométriques Sefram ;
- d'une jauge de pression Ruska (étendue de mesure 0 à 110 kPa) ;
- de cloches en verre destinées à équiper les supports de laboratoires et étuis de voyage fabriqués à l'atelier du BIPM pour les étalons de masse en platine iridié.

## 4. Échelles de temps (J. Azoubib)

### 4.1 — Travaux courants

L'établissement du Temps Atomique International (TAI) est toujours effectué à partir de l'Échelle Atomique Libre (EAL) au moyen d'une méthode de pilotage.

Les principaux systèmes qui permettent d'utiliser effectivement les données des horloges utilisent les liaisons horaires par satellite, par LORAN-C et par la télévision publique, associées aux transports d'horloges. La zone de couverture utile est limitée à l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Afrique du Nord. La Rép. Pop. de Chine, le Japon et l'URSS étant situés en dehors de cette zone de couverture, l'utilisation des données des grands laboratoires de ces pays n'est pas possible. La mise en place du système GPS, projet en cours de réalisation et qui, nous l'espérons, ne sera pas interrompu, permettra d'avoir une zone de couverture utile mondiale et d'introduire les données de grands laboratoires qui ne participent pas encore à l'établissement du TAI.

Actuellement, 124 horloges industrielles, 6 horloges de laboratoire (NBS, NRC, PTB) et 3 étalons de fréquence (NBS, NRC, PTB) participent à la formation du TAI. Ces appareils sont situés dans 26 laboratoires nationaux.

La gestion de l'échelle de Temps Universel Coordonné (UTC) n'a donné lieu à aucune difficulté. En 1980, il n'y a pas eu de seconde intercalaire. En 1981, une seconde intercalaire positive a été introduite à la fin du mois de juin. Ainsi, à partir de cette date,  $\text{TAI} - \text{UTC} = 20 \text{ s}$ .

### 4.2 — Fichiers sur disque magnétique

Depuis la mise en œuvre en 1972 du programme ALGOS pour le calcul du TAI, des données (espacées de 10 en 10 jours) portant sur presque dix années sont disponibles pour les recherches concernant les échelles de temps. D'un point de vue pratique, l'utilisation de ces données n'était pas aisée car elles avaient comme unique support des cartes perforées dont le nombre est de l'ordre de quelques milliers. Pour améliorer cet état de choses, des fichiers contenant les données du temps atomique ont été créés sur disque magnétique; ils ont été utilisés pour les recherches dont il est question ci-après.

### 4.3 — Stabilité et exactitude du TAI

Depuis novembre 1979, aucune correction de pilotage n'a été appliquée, la différence entre les fréquences normées de l'EAL et du TAI reste égale à  $8,4 \times 10^{-13}$ . Cela indique que la décroissance progressive de l'EAL a cessé en 1980.

Pour élucider le problème des fluctuations saisonnières de la différence de fréquence entre le TAI (et l'EAL) et les étalons de fréquence, le BIH a demandé à tous les laboratoires participants des informations sur les conditions d'exploitation des horloges. Il est apparu que, dans la majorité des cas, l'humidité de l'air n'est pas régulée. En revanche, la plupart des horloges sont situées dans des salles dont la température est régulée, mais imparfaitement, des fluctuations annuelles de 1 à 2 °C étant généralement observées.

Deux échelles de temps ont été calculées, indépendantes entre elles et ne faisant pas intervenir les horloges primaires. L'échelle EAL 1 a été obtenue à partir des horloges situées dans un environnement où les variations de température ne dépassent pas 2 °C; l'échelle EAL 2 a été obtenue à partir des horloges situées dans un environnement où les variations de température dépassent 2 °C. Dans ces conditions, si les fluctuations saisonnières sont liées aux variations de température, EAL 1 devrait être plus stable que EAL 2. La comparaison de chacune de ces deux échelles aux horloges primaires NRC Cs V et PTB CS1 a montré la persistance de l'effet saisonnier. De plus, les différences de temps EAL 1 – EAL 2 ne montrent aucun effet saisonnier. L'hypothèse selon laquelle l'effet saisonnier entre les échelles de temps issues des horloges primaires et les échelles de temps issues d'horloges à césium commerciales serait dû à l'influence de la température ne semble pas tenir.

Il est alors légitime de se demander si les horloges primaires peuvent être responsables de l'effet saisonnier observé. Aucune indication ferme ne peut encore être obtenue. Ce problème devra être réexaminé.

La pérennité du TAI doit être assurée par la participation d'un grand nombre d'horloges situées dans plusieurs laboratoires. De plus, cette participation est essentielle pour maintenir la stabilité du TAI. Mais la possibilité de rejeter *a priori* des horloges qui fonctionnent dans un environnement mal contrôlé n'est pas exclue. Un pas a été fait dans ce sens en réduisant la participation relative des mauvaises horloges. Cela a été accompli en portant à 200 le poids limite maximal de façon que les poids inférieurs à 100 ne soient pas affectés par ce changement.

#### 4.4 – Liaisons horaires par satellite

Depuis le 31 janvier 1980, une nouvelle station située à Raisting (Rép. Féd. d'Allemagne) et reliée à la PTB par transports d'horloge participe à l'expérience Symphonie. Ainsi est établi un lien horaire triangulaire entre la PTB, le NRC et le LPTF (situé à l'Observatoire de Paris). La liaison transatlantique utilisée dans le calcul du TAI est donc actuellement assurée par la double liaison horaire OP/NRC et PTB/NRC.

Une autre expérience de liaison par satellite est en cours de réalisation. Son but est de synchroniser des horloges situées à grande distance avec une exactitude de l'ordre de la nanoseconde en utilisant des impulsions laser très brèves, émises de stations terrestres vers un satellite géostationnaire

muni de rétroreflecteurs, d'un détecteur et d'un dispositif de chronométrie. Le satellite SIRIO 2 qui servira à cette expérience dénommée LASSO (Laser Synchronization Stationary Orbit) sera lancé au début de 1982. Notre participation consistera à effectuer le calcul des différences de temps entre les horloges participantes et à déterminer la précision et l'exactitude. Dans ce but, des études préliminaires sont en cours, notamment, en ce qui nous concerne, l'étalonnage des stations, la stabilité de l'oscillateur de bord, les corrections relativistes, les corrections troposphériques, l'organisation du traitement des données.

## 5. Gravimétrie (A. Sakuma)

La plupart des éléments du gravimètre absolu transportable BIPM-Jaeger dont la livraison était annoncée dans le Rapport de 1980 (p. 50) ont été livrés au début de l'année 1981. Le montage et les réglages sont en cours.

Nous espérons que ce gravimètre pourra participer aux comparaisons projetées avec les instruments analogues de l'URSS et des États-Unis d'Amérique (en octobre 1981), de l'Italie et de la Chine (en 1982).

Nous avons déjà signalé (Rapport 1979, p. 39) la nécessité de l'établissement de stations gravimétriques « satellites » autour de notre station Sèvres point A, en vue de la surveillance de la variation séculaire de l'accélération due à la pesanteur. Au début de 1981, une première station de cette sorte a été construite par le Département de géophysique du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) à Orléans, à 130 km au sud de Paris, grâce à la contribution financière et à la collaboration du Bureau National de Métrologie, Paris.

La liaison gravimétrique entre les deux stations de Sèvres et d'Orléans n'est pas encore effectuée, mais la mesure périodique du niveau de l'eau souterraine au voisinage de la station d'Orléans, mesure réalisée par le BRGM, montre qu'il existe une variation saisonnière appréciable du niveau de l'eau : celle-ci a atteint 1 m environ entre avril 1980 et avril 1981. La perturbation de l'accélération due à la pesanteur causée par cet effet est évaluée à  $4 \text{ à } 8 \times 10^{-9}$  en valeur relative selon la nature du sol ; c'est une quantité qui sera bien mesurable dans un proche avenir avec notre gravimètre absolu transportable.

Pour répondre aux demandes des gravimétristes, nous recherchons une autre station gravimétrique satellite dans une région rocheuse, afin qu'elle ne soit pas soumise à l'effet de l'eau souterraine. Une telle station, trouvée récemment à l'Observatoire de Géophysique, Dourbes (Ardennes), près de la frontière franco-belge, semble être satisfaisante.

## 6. Thermométrie (J. Bonhoure)

Les températures ambiantes constituant pour le BIPM un domaine de température privilégié, on a commencé l'étude du point triple du gallium

( $t \approx 29,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) qui semble un point fixe intéressant. Nous avons aussi poursuivi la mise en place et l'amélioration des installations destinées aux mesures de comparaison entre  $419 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $630 \text{ }^\circ\text{C}$  par pyrométrie infrarouge.

En revanche, les travaux au-dessous de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , aux points triples de l'argon et du méthane, ont été presque complètement arrêtés, sauf en ce qui concerne le développement d'un instrument de transfert de pression (voir p. 53).

### 6.1 — Échelle Internationale Pratique de Température

*Point triple du gallium.* — Le Bureau International a fait l'acquisition de trois échantillons de gallium de grande pureté (99,999 9 %) Johnson-Matthey, Sogemet, Cominco. Seuls les deux premiers échantillons (1 kg et 1,1 kg respectivement) ont été utilisés jusqu'à maintenant, placés dans des creusets en téflon comportant un puits thermométrique en nylon. Pendant les mesures, chaque creuset était évacué par une pompe à vide en fonctionnement permanent et maintenu à température uniforme, au voisinage de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , dans un bain à circulation d'eau thermorégulée.

Dans ces conditions, nous avons pu obtenir des paliers de température, d'une durée supérieure à une semaine, présentant un domaine de fusion un peu inférieur à  $0,2 \text{ mK}$ .

Nous avons réalisé cinq paliers de température avec chaque échantillon de gallium et effectué les mesures avec quatre thermomètres (deux Tinsley et deux Leeds et Northrup); après chaque détermination, le  $R_0$  du thermomètre était contrôlé dans deux cellules à point triple de l'eau. Toutes corrections effectuées (échauffement dû au courant, pression hydrostatique), les valeurs obtenues sont les suivantes (Tableau III).

TABLEAU III

*Valeurs obtenues pour la température du point triple du gallium*

Deux échantillons de gallium et quatre thermomètres ont été utilisés

Thermomètre	Échantillon	
	Johnson-Matthey	Sogemet
T223679	$29,774\ 18 \pm 0,000\ 12$	$29,774\ 19 \pm 0,000\ 04$
T236008	$29,773\ 65 \pm 0,000\ 20$	$29,773\ 55 \pm 0,000\ 19$
LN1857440	$29,773\ 16 \pm 0,000\ 28$	$29,773\ 36 \pm 0,000\ 12$
LN1857442	$29,773\ 29 \pm 0,000\ 07$	$29,773\ 36 \pm 0,000\ 16$
Moyenne	$29,773\ 57 \text{ }^\circ\text{C}$	$29,773\ 62 \text{ }^\circ\text{C}$

Les résultats montrent un très bon accord entre les deux échantillons de gallium, mais on remarque aussi une très forte dispersion entre les quatre thermomètres; en particulier, T223679 s'éloigne nettement des autres thermomètres. Les écarts sont certes dus aux différences entre les échelles représentées par les quatre thermomètres (étalonnés en utilisant le point de

congélation de l'étain, et non le point d'ébullition de l'eau), mais ils semblent excessifs. On ne peut toutefois pas conclure avant un nouvel étalonnage des thermomètres.

Dans l'hypothèse où, dans une future Échelle Internationale Pratique de Température, le point triple du gallium pourrait être préféré au point triple de l'eau, il faudrait que la stabilité des thermomètres soit au moins aussi bonne au premier point fixe qu'au second. Or, on a observé des variations de résistance, tantôt positives, tantôt négatives, qui semblent dues aux vibrations provoquées par le brassage violent de l'eau du bain thermorégulé. On devrait donc rechercher une forme plus élaborée de réalisation du point triple du gallium.

*Point triple de l'eau.* — Lors de chaque utilisation d'un thermomètre à résistance de platine, nous avons continué à contrôler son  $R_0$  dans deux cellules à point triple de l'eau au moins, ce qui offre la possibilité de comparer entre elles des cellules d'origines différentes.

Les plus récentes mesures portent sur des cellules qui ont été offertes gracieusement au Bureau International par l'ASMW (Rép. Dém. Allemande), par le NIM (Rép. Pop. de Chine) et par la PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). L'accord entre ces cellules paraît satisfaisant. Cependant, les résultats disponibles sont encore trop peu nombreux pour qu'on puisse fournir des valeurs significatives.

*Point triple de l'argon.* — Les deux thermomètres du type capsule (T226321 et T226322), qui sont utilisés au BIPM pour toutes les mesures au point triple de l'argon, ont été transportés au NPL. Ils ont été comparés, au voisinage de 84 K, aux thermomètres de référence employés par S. D. Ward<sup>(5)</sup> en 1975 lors de la comparaison internationale de thermomètres. L'accord NPL-BIPM est de  $\pm 0,1$  mK, comme pour les mesures effectuées au BIPM au cours de la comparaison internationale de cellules scellées (voir Rapport 1980, p. 53).

## 6.2 — Températures thermodynamiques : étude par pyrométrie infrarouge

Rappelons brièvement le principe de cette étude. Les températures de deux cavités « corps noir », l'une à 419 °C, l'autre à 630 °C, sont connues dans l'EIPT-68 grâce à l'emploi de thermomètres à résistance de platine placés au voisinage des cavités. La comparaison des luminances des deux cavités, à une longueur d'onde voisine de 1  $\mu\text{m}$ , permet de calculer la température thermodynamique de l'une des cavités quand on connaît celle de l'autre, par application de la loi de Planck. Si, par hypothèse, on admet que la température thermodynamique  $T$  et sa réalisation  $T_{68}$  dans l'EIPT sont identiques à 419 °C, on en déduit l'écart  $T - T_{68}$  à 630 °C.

---

<sup>(5)</sup> WARD (S. D.) and COMPTON (J. P.), *Metrologia*, **15**, 1979, pp. 31-46.

Dans le Rapport de 1979 (p. 41), nous rendions compte des premiers essais de mesure. Les difficultés rencontrées dans la mise en œuvre du photomultiplicateur à cathode Ga-In-As refroidie (défauts de linéarité, dérive, fatigue) sont maintenant surmontées : on fait en sorte que l'éclairement du photomultiplicateur soit presque constant, quelle que soit la cavité observée, pour s'affranchir des défauts de linéarité ; on passe alternativement d'une cavité à l'autre, à des intervalles de temps réguliers, pour éliminer au mieux les effets de la dérive ; on neutralise les premières minutes d'observation, lors de chaque changement de cavité, pour laisser au photomultiplicateur le temps de récupération nécessaire.

Tout cela suppose que l'on dispose d'un moyen de gradation de la lumière. Le faisceau est en fait la juxtaposition de quatre petits faisceaux qui peuvent être reçus par le photomultiplicateur, soit un par un, soit deux par deux, soit tous les quatre ensemble, grâce à un disque « diviseur de luminance ». Si, de plus, on procède par étapes successives, en découpant l'intervalle de température 419 °C-630 °C en intervalles plus petits (par exemple 420-470, 470-527, 527-593, 593-631) choisis de telle façon que les luminances des cavités soient dans un rapport 4 ou 2, il devient possible d'organiser les mesures pour que le photomultiplicateur travaille chaque fois à éclairement pratiquement constant.

Les premières mesures faites dans ces conditions ont été décevantes. D'abord, l'uniformité de température le long des cavités était insuffisante ; on a donc remplacé les blocs de nickel contenant les cavités par des blocs de cuivre recouverts de nickel (traitement « kanigène »). Ensuite, on s'est aperçu que les résultats obtenus n'étaient pas suffisamment bien reproductibles ; il fallait à tout prix augmenter considérablement le nombre des mesures et faire ces mesures dans des conditions beaucoup plus rigoureuses. Nous avons donc décidé de rendre l'installation complètement automatique.

Le problème, simple dans son principe, a été résolu au moyen d'un ordinateur, construit au BIPM à partir d'un microprocesseur type 8080. Il s'agit d'effectuer les opérations suivantes :

- commande du déplacement du chariot portant les fours et les cavités et contrôle de son arrivée en bonne position ;
- commande de la rotation du disque diviseur de luminance et contrôle de sa mise en place correcte ;
- sélection du thermomètre dont on désire mesurer la résistance ;
- lecture de l'indication du pont de mesure des thermomètres une fois qu'il est parvenu à l'équilibre ;
- lecture de la réponse du photomultiplicateur et, éventuellement, après traitement, sortie de cette réponse vers un enregistreur.

L'ordinateur réalisé comporte, outre les circuits habituels associés au microprocesseur, les convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique nécessaires aux entrées-sorties en rapport avec le photomultiplicateur et à la détection de la position du disque (codée grâce à

un potentiomètre), une horloge fournissant en permanence la date et l'heure, des mémoires vives non volatiles, une interface pour la connexion du pont de mesure des thermomètres à résistance et enfin une machine à écrire.

Le programme assure le déroulement complet des séries de mesure (y compris leur reprise après une éventuelle coupure du réseau) et l'exécution des mesures elles-mêmes à la cadence de deux par seconde; il calcule automatiquement le résultat recherché, c'est-à-dire  $(T - T_{68})_{\text{moyen}}$  et son écart-type.

Il permet aussi, en dehors des séries proprement dites, d'effectuer diverses opérations nécessaires aux réglages préalables (déplacement du chariot, rotation du disque, sélection des thermomètres, mesures de température).

L'installation automatisée fonctionne de façon pleinement satisfaisante. L'abondance des mesures et la rigueur de leur déroulement due à l'absence d'intervention humaine améliorent considérablement la précision des résultats obtenus. Il semble que les principaux termes de l'incertitude proviennent maintenant de la détermination des températures des cavités avec les thermomètres à résistance de platine et de la détermination de la longueur d'onde effective des filtres interférentiels. Dans le but d'étudier la transmission des filtres sur le montage optique lui-même, nous avons fait l'acquisition d'un monochromateur double à réseaux.

### 6.3 — Émissivité des cavités corps noir

*Cavités cylindriques dont la paroi est à réflexion diffuse.*

Une des difficultés qui subsistent parmi celles rencontrées lors de l'évaluation de l'émissivité des cavités corps noir réelles est que la méthode par intégration est difficile à appliquer aux cavités de forme complexe. C'est pourquoi on a mis au point des méthodes par approximation qui donnent des résultats très proches, dans des conditions spécifiées, de ceux obtenus par intégration.

Dans un article publié en 1980 (T. J. Quinn, *High Temp. — High Pressures*, 12, p. 359), on a décrit une forme étendue de la méthode bien connue, proposée pour la première fois par De Vos, de développement en série suivant le facteur de réflexion. Cette méthode permet d'obtenir davantage de renseignements que précédemment sur la variation angulaire de l'émissivité. Pour le type de cavité utilisé comme source en pyrométrie optique, les valeurs de l'émissivité ainsi obtenues sont très proches de celles obtenues par intégration.

La nouvelle méthode par développement en série peut être appliquée sans trop de difficulté aux cavités de forme plus complexe qu'un simple cylindre.

*Cavités coniques dont la paroi est à réflexion spéculaire.*

Ce cas particulier est d'un intérêt croissant en radiométrie. L'absorptivité, ou l'émissivité, d'une telle cavité est fonction du facteur de réflexion spéculaire de la paroi et du nombre  $n$  de réflexions subies par un rayon incident avant sa sortie du cône.

Pour les rayons incidents parallèles à l'axe du cône, l'évaluation de  $n$  est sans problème. De même, pour les rayons incidents dans le plan de l'axe mais non parallèles à l'axe, on peut trouver  $n$  très facilement. Dans le cas général des rayons entrant obliquement dans le cône, il ne semble pas qu'il y ait une méthode analytique d'évaluation de  $n$ . Dans un article publié en 1981 (T. J. Quinn, *Infrared Physics*, **21**, p. 123), on a proposé une formule simple qui repose sur une construction géométrique originale et qui permet d'évaluer  $n$  pour des rayons obliques.

#### 6.4 — Études courantes

En plus de la vérification d'instruments appartenant au BIPM, nous avons étudié des thermomètres à résistance de platine et des thermocouples platine/platine rhodié pour le Danemark, la Hongrie, les Pays-Bas et la Suisse.

### 7. Manométrie (J. Bonhoure)

#### 7.1 — Instrument de transfert de pression

Dans le Rapport de 1980 (p. 56), on indiquait le résultat  $(68\,890 \pm 1,5)$  Pa obtenu au point triple de l'argon avec une cellule utilisée dans un cryostat adiabatique. Mais, devant la complexité du système qui le rendait très difficilement transportable, on a complètement reconsidéré le problème.

On a finalement construit un instrument de transfert de pression à partir d'une grande cellule scellée, initialement prévue pour l'étalonnage au point triple de l'argon des thermomètres à résistance de platine du type tige. On a supprimé le puits thermométrique et on a ajouté un tube de faible diamètre en acier inoxydable pour relier la cellule à la jauge de pression différentielle qui clôt l'enceinte contenant l'argon. Du fil de cuivre placé dans la cellule améliore les échanges thermiques entre les phases de l'argon et supprime les fluctuations qui, sans cela, seraient inévitables. En plaçant la cellule dans un bain d'azote liquide dont la pression (0,2 MPa environ) est telle que la température de l'azote soit légèrement supérieure à celle du point triple de l'argon, le palier de pression se réalise naturellement ; sa durée est de 1 à 2 heures et le domaine de fusion de 1 Pa environ.

La jauge différentielle étant reliée au manobaromètre interférentiel du BIPM, on a obtenu, pour la pression rapportée au point milieu du palier, la valeur moyenne de dix mesures et son écart-type

$$(68\,890,5 \pm 0,9) \text{ Pa.}$$

Cette valeur est en très bon accord avec celle rappelée ci-dessus. Au cours de ces mesures, la correction pour la pression hydrostatique due à la colonne d'argon dans le tube reliant la cellule à la jauge différentielle a été calculée en supposant que la température du tube variait linéairement entre le niveau de l'azote liquide (84 K) et le sommet du vase de Dewar (293 K). La mise en place de quelques thermocouples différentiels devrait permettre de mieux connaître cette correction.

L'instrument de transfert de pression a été utilisé avec le manobaromètre interférentiel installé en 1970 au Centre d'Essais en Vol (CEV), Brétigny (France). On a réalisé dix paliers de pression et on a obtenu la valeur moyenne

$$(68\,890,2 \pm 0,4) \text{ Pa.}$$

On voit ainsi que les deux manobaromètres interférentiels, celui du BIPM et celui du CEV, sont en parfait accord au niveau de précision de l'instrument de transfert.

## 7.2 — Études courantes

Toutes ces études concernent la section des masses.

— Comparaisons fréquentes de la jauge de pression MKS Baratron au manobaromètre interférentiel.

— Réception et examen d'une spirale en quartz (0 à 150 kPa) pour la jauge de pression Texas Instruments.

— Étude d'une jauge Garrett qui nous a été aimablement prêtée par les Éts Jaeger, Levallois (France), pendant deux mois et demi. La jauge a fait preuve d'une très bonne stabilité durant ce laps de temps.

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

### 8.1 — Comparaisons de représentations nationales de l'ohm

*Résultats des comparaisons internationales d'étalons de 1  $\Omega$  et de 10<sup>4</sup>  $\Omega$ .*  
— Sur les dix laboratoires qui ont participé à la comparaison des étalons de 1  $\Omega$  effectuée de novembre 1979 à février 1980 (Rapport 1980, p. 57), six seulement nous ont fait connaître la valeur retour de leurs étalons voyageurs. Nous en avons déduit les relations suivantes entre les représentations de l'ohm conservées par ces laboratoires et celle du BIPM :

au 29 décembre 1979 (date centrale des mesures faites au BIPM)

$$\begin{aligned} \Omega_{\text{NRC}} &= \Omega_{69\text{-BI}} - 1,33 \mu\Omega \quad (- 1,16 \text{ en nov. 1976}) \\ \Omega_{\text{LCIE}} &= \quad + 0,68 \quad (+ 0,57 \text{ en nov. 1976}) \\ \Omega_{\text{IEN}} &= \quad + 1,33 \quad (+ 1,23 \text{ en nov. 1976}) \\ \Omega_{\text{ETL}} &= \quad + 1,30 \quad (+ 1,19 \text{ en jan. 1977}) \\ \Omega_{\text{VSL}} &= \quad + 0,47 \quad (+ 0,44 \text{ en nov. 1976}) \\ \Omega_{\text{NPL}} &= \quad + 0,32 \quad (+ 0,15 \text{ en mars 1978}) \end{aligned}$$

Les comparaisons de  $\Omega_{\text{NPL}}$  et de  $\Omega_{\text{VSL}}$  à  $\Omega_{69\text{-BI}}$  effectuées quelques semaines plus tard en utilisant des étalons de  $10^4 \Omega$  ont conduit à :

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{\text{NPL}} &= \Omega_{69\text{-BI}} + 0,31 \mu\Omega \\ \Omega_{\text{VSL}} &= \quad \quad + 1,17 \mu\Omega \end{aligned} \right\} \text{ au 20 mars 1980.}$$

Pour le NPL, la concordance entre les résultats obtenus avec les étalons de  $1 \Omega$  et les étalons de  $10^4 \Omega$  est parfaite; pour le VSL, la différence est anormalement importante. Les recherches entreprises pour trouver les causes de cette différence sont jusqu'à présent demeurées vaines.

*Rattachement de  $\Omega_{\text{IMM}}$  à  $\Omega_{69\text{-BI}}$ .* — Les comparaisons faites au cours de l'été 1980 ont conduit au résultat suivant :

$$\text{au 19 juillet 1980, } \Omega_{\text{IMM}} = \Omega_{69\text{-BI}} + 1,15 \mu\Omega.$$

### 8.2 — Pont pour la comparaison d'étalons de résistance de valeurs élevées

Cet instrument, essentiellement constitué par un montage en pont de Wheatstone, a été fabriqué par l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (IMM). Il permet de comparer, en courant continu, des étalons de même valeur nominale, de  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$ ,  $10^9$  et  $10^{10} \Omega$ , soit directement, soit par la méthode de substitution, avec un écart-type relatif compris entre  $3 \times 10^{-7}$  pour les étalons de  $10^5 \Omega$  et  $3 \times 10^{-6}$  pour ceux de  $10^{10} \Omega$ .

L'IMM a aussi fourni au BIPM deux étalons de chacune des valeurs suivantes :  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$  et  $10^9 \Omega$ , ainsi que deux bobines de passage, l'une de  $10^5$  à  $10^7 \Omega$  (dispositif « Hamon », constitué de dix résistances de  $10^6 \Omega$ ) et l'autre de  $10^7$  à  $10^9 \Omega$  (dispositif analogue, dix résistances de  $10^8 \Omega$ ).

Un spécialiste de l'IMM (V. P. Chigorine) a installé ce pont au BIPM. Avec notre collaboration, il a vérifié le fonctionnement du pont en comparant entre eux les étalons de même valeur nominale et en rattachant l'un à l'autre, par l'intermédiaire des bobines de passage, les étalons appropriés.

### 8.3 — Comparaisons de représentations nationales du volt

*Résultats de la comparaison internationale d'étalons de force électromotrice.* — Cette comparaison a été effectuée de novembre 1979 à février 1980 (Rapport 1980, p. 58). Pour les cinq laboratoires qui nous ont communiqué la valeur retour de la force électromotrice de leurs étalons voyageurs, nous avons obtenu les résultats suivants :

au 26 décembre 1979 (date centrale des mesures faites au BIPM)

$$\begin{aligned} V_{\text{NRC}} &= V_{76\text{-BI}} + 0,54 \mu\text{V} \\ V_{\text{LCIE}} &= \quad \quad + 1,64 \\ V_{\text{OMH}} &= \quad \quad - 3,17 \\ V_{\text{IEN-69}} &= \quad \quad + 0,84 \quad (+ 0,61 \text{ en nov. 1976}) \\ V_{\text{VSL}} &= \quad \quad + 0,36 \quad (+ 0,17 \text{ en nov. 1976}) \end{aligned}$$

Cette comparaison est la première à laquelle participent le NRC, le LCIE (et l'IMM, dont il est question ci-dessous) depuis qu'ils utilisent l'effet Josephson pour réaliser le volt. Par ailleurs, c'est la première fois que l'OMH participe à une comparaison internationale.

*Rattachement de  $V_{\text{IMM}}$  à  $V_{76\text{-BI}}$ .* — Le résultat de la comparaison effectuée au cours de l'automne 1980 a été le suivant :

$$\text{en novembre 1980, } V_{\text{IMM}} = V_{76\text{-BI}} + 0,95 \mu\text{V.}$$

#### 8.4 — Conservation et transfert de $V_{76\text{-BI}}$

*Effet Josephson.* — Nous continuons à déterminer la force électromotrice des piles de notre groupe de référence primaire (BIRD) en mettant en œuvre l'effet Josephson; on effectue deux ou trois séries de mesures tous les deux mois environ. Nous avons refait les contrôles systématiques de notre installation. Nous avons essayé une nouvelle source hyperfréquence à diode « Gunn » et son stabilisateur (matériel plus facilement transportable que celui que nous utilisons actuellement); les résultats obtenus sont en parfait accord avec ceux des mesures faites en utilisant un klystron.

*Fabrication de nouvelles enceintes thermorégulées.* — Nous avons terminé la construction d'une série de quatre enceintes thermorégulées dont la température devrait rester stable à quelques  $10^{-4}$  K près sur une période d'un mois. Les caractéristiques de ces enceintes feront l'objet d'une publication lorsque nous aurons observé leur comportement sur une période suffisamment longue. Nous avons placé dans ces enceintes quatre groupes de piles fabriquées par la PTB (Berlin et Braunschweig) et l'ETL. Nous prévoyons d'adjoindre ultérieurement ces quatre nouveaux groupes aux groupes BIRD et N qui constituent actuellement nos références primaire et secondaire de tension.

*Installation pour la comparaison des piles étalons.* — Cette installation, en cours de réalisation l'an dernier (Rapport 1980, p. 59) est maintenant en service depuis plusieurs mois. On rappelle que pour la soustraire aux parasites radioélectriques on l'a déjà placée dans une cage de Faraday. On a veillé par ailleurs

- à rendre minimales les forces électromotrices dans les instruments, les commutateurs et les câbles de liaison;
- à obtenir des résistances de fuite aussi élevées que possible (supérieures à  $10^{11} \Omega$ );
- à réduire les influences électriques en éloignant de cette installation les conducteurs du réseau et les transformateurs.

Lorsque leurs caractéristiques le permettent, les enceintes thermorégulées envoyées au BIPM sont alimentées en courant continu pour éviter des fuites de courant alternatif à travers les piles qu'elles contiennent.

Avec cette nouvelle installation, nous pouvons comparer deux piles avec une résolution de 5 nV.

Les piles envoyées au BIPM pour étalonnage sont comparées à l'une des cinq piles du groupe de référence N, piles fabriquées par la PTB (Braunschweig) et conservées à 30 °C dans notre enceinte du type NBS (Rapport 1977, p. 41).

Les piles du groupe N sont elles-mêmes régulièrement comparées, directement ou par l'intermédiaire d'une pile du groupe T (conservé dans l'enceinte transportable décrite dans le rapport de 1980, p. 59), aux piles du groupe de référence primaire BIRD connues en fonction de la tension Josephson.

Les opérations successives peuvent donc être schématisées comme indiqué à la figure 6.

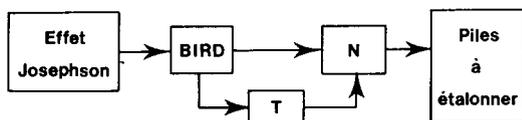


Fig. 6. — Détermination, à partir de l'effet Josephson, de la force électromotrice des piles à étalonner.

BIRD, groupe de référence primaire ; T, groupe dans l'enceinte transportable ; N, groupe de référence secondaire ;  $V_{76-BI}$  est réalisé au moyen de l'effet Josephson en admettant la relation

$$2e/h = 483\,594,0 \text{ GHz}/V_{76-BI}$$

En fonction de  $V_{76-BI}$ , la force électromotrice du groupe BIRD est connue avec un écart-type de  $2,8 \times 10^{-8}$  V, celle du groupe N avec un écart-type de  $2,9 \times 10^{-8}$  V. Chacun de ces écarts-types est obtenu en combinant les écarts-types qui traduisent d'une part les incertitudes de mesure des piles et d'autre part l'incertitude sur l'évolution du groupe concerné entre deux « déterminations Josephson ».

*Potentiomètre fabriqué par l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléev.* — Cet instrument qui comprend, outre le potentiomètre proprement dit, un détecteur-amplificateur, un compensateur de forces thermoélectromotrices, une triple alimentation stabilisée, un inverseur de courant et un commutateur pour 80 piles, a été livré au BIPM en novembre 1980. Il permet de comparer des tensions comprises entre 0 et 2 V avec une résolution de 5 nV. Il a été installé au BIPM par un spécialiste de l'IMM (O.M. Pavlov) avec notre collaboration. L'étalonnage effectué a confirmé la qualité des ajustages réalisés par l'IMM (corrections d'étalonnage nulles).

Nous prévoyons d'installer définitivement ce potentiomètre dans la cabine climatisée qui contient notre bain d'huile. Il servira à étalonner les piles conservées à 20 °C dans ce bain par comparaison aux étalons de référence contenus dans l'une des quatre enceintes récemment construites que nous placerons aussi dans la cabine climatisée.

*Réduction des mesures.* — Elle était effectuée antérieurement avec l'ordinateur central du BIPM (IBM 1130); on utilise maintenant un

ordinateur de bureau HP 85, disponible à proximité des installations de mesure. Les résultats de chaque série de mesures sont calculés dans les minutes qui suivent la fin des observations et stockés. En fin d'étude, ils sont repris par un programme qui trace la courbe représentative de l'évolution de chaque pile durant son séjour au BIPM, calcule les valeurs les plus probables de sa force électromotrice et de sa dérive, ainsi que l'écart-type sur chacune de ces valeurs.

On utilise aussi cet ordinateur pour effectuer, à l'aide de thermomètres à résistance de platine, la mesure semi-automatique de la température du bain d'huile qui contient les piles à 20 °C. On l'associe pour cela à un pont à comparateur de courants continus et à un nanovoltmètre numérique. La lecture du nanovoltmètre et le calcul de la température (dans l'EIPT-68) sont effectués automatiquement.

### **8.5 — Cage de Faraday ; convertisseurs « tension alternative-tension continue »**

Pour effectuer l'étude de détecteurs SQUID et la comparaison de convertisseurs thermiques « alternatif-continu », nous avons fait construire dans la salle 13 (ancienne chimie), par une société spécialisée, une cage de Faraday de 3,70 m × 2,70 m × 2,50 m. Cette cage est posée sur une dalle de béton de 10 cm d'épaisseur, dalle qui repose elle-même sur un lit de sable destiné à amortir les vibrations possibles du sol. Pour rendre le plancher de la cage aussi rigide que possible, on l'a recouvert de 10 cm de béton, sauf à l'endroit du support des galvanomètres qui repose sur des billes de plomb.

Ce sont les spécialistes du Laboratoire Central des Industries Électriques qui ont contrôlé, à titre gracieux, les caractéristiques de cette nouvelle cage de Faraday. Nous tenons à remercier le LCIE de sa généreuse collaboration.

Nous avons placé dans cette cage notre installation pour la comparaison des convertisseurs thermiques « alternatif-continu ». Pour compléter le matériel dont nous disposions déjà (Rapport 1980, p. 61), nous avons acquis une source de tension continue variable de 0 à 1 000 V, une source de tension alternative (tension maximale : 120 V ; fréquence maximale : 1 MHz), un amplificateur de puissance pour obtenir une tension alternative de 1 000 V, un amplificateur galvanométrique, un nanovoltmètre, deux jeux de convertisseurs et leurs résistances complémentaires.

Pour vérifier le bon fonctionnement de cette installation et nous familiariser avec son fonctionnement, nous avons effectué plusieurs mesures d'essai.

### **8.6 — Conservation de l'unité de capacité**

Le BIPM a reçu en novembre 1980 trois condensateurs étalons de 10 pF, à diélectrique de silice, fabriqués par General Radio (É.-U. d'Amérique). Ces étalons et l'étalon déposé à Sèvres par le NBS depuis 1967

sont destinés à conserver l'unité SI de capacité au BIPM. Une première étude des trois condensateurs est en cours ; leur coefficient de température sera déterminé. Pour effectuer cette étude, le BIPM utilise le pont de comparaison que lui a offert le NBS (Rapport 1967, p. 56), pont dont la résolution est de  $1 \times 10^{-8}$ . Nous avons acheté un nouveau détecteur synchrone chez Princeton Applied Research (É.-U. d'Amérique) pour équiper ce pont.

### 8.7 — Études courantes

Indépendamment de la maintenance de ses installations de mesure et de l'étalonnage de ses références et de celles des autres sections du BIPM, la section d'électricité a étudié 23 étalons de résistance (valeurs comprises entre 0,01 et  $10^5 \Omega$ , définies à 20 ou 25 °C), y compris le coefficient de température de 5 d'entre eux, et 29 piles (définies à 20 °C ou à 30 °C), pour la Belgique, la Bulgarie, l'Égypte, la Roumanie, la Tchécoslovaquie, la Suisse et l'URSS.

## 9. Photométrie (J. Bonhoure)

### 9.1 — Radiométrie absolue

Le radiomètre absolu, offert au BIPM par le NPRL (Afrique du Sud), a été mis en service en mai 1981. Il est piloté par un ordinateur HP 85 et son utilisation est entièrement automatique. Les premières mesures ont permis de vérifier le bon fonctionnement de l'installation.

### 9.2 — Études courantes

On a effectué le contrôle de 59 lampes à incandescence (étalons d'intensité lumineuse, de flux lumineux ou de température de répartition) appartenant aux laboratoires nationaux de Belgique, de Pologne et de Tchécoslovaquie.

On a aussi étudié à nouveau trois récepteurs  $V(\lambda)$  — cellules au silicium précédées de verres colorés — qui sont l'objet d'une comparaison organisée par la PTB sous les auspices du CCPR.

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

### 10.1 — Rayons X (M. Boutillon \*)

Nous avons calculé, pour les qualités de rayonnement recommandées par la Section I du CCEMRI lors de sa 2<sup>e</sup> réunion (1972), les valeurs du kerma dans l'air  $K_{\text{air}}$  et du kerma dans l'eau  $K_{\text{eau}}$  déduites des mesures

d'exposition par les relations

$$K_{\text{air}} = \frac{X}{1 - \bar{g}} \frac{W}{e},$$

$$K_{\text{eau}} = \frac{(\mu_{\text{tr}}/\rho)_{\text{eau}}}{(\mu_{\text{tr}}/\rho)_{\text{air}}} K_{\text{air}},$$

où  $X$  est l'exposition,

$\bar{g}$  est la fraction de l'énergie des électrons dissipée sous forme de rayonnement de freinage,

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

$e$  est la charge élémentaire,

$(\mu_{\text{tr}}/\rho)$  est la valeur moyenne du coefficient de transfert d'énergie massique pour le spectre des photons.

Les valeurs de  $\bar{g}$  pour l'air et pour l'eau ont été recalculées pour quelques spectres de rayons X (fournis par le NPL). Les premières valeurs données pour cette grandeur, alors notée  $G$  (Rapport 1978, p. 53), sont en effet

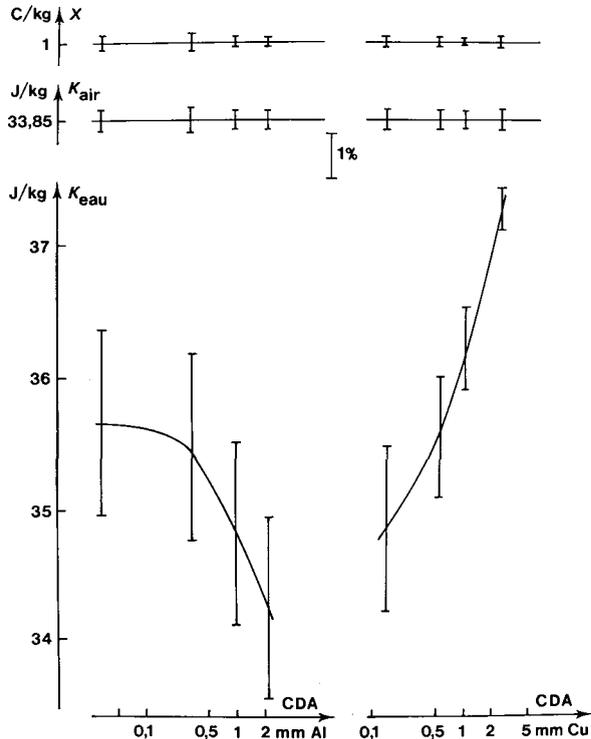


Fig. 7. — Exposition, kerma dans l'air et kerma dans l'eau dans le domaine des rayons X. Les incertitudes relatives sont représentées à la même échelle pour les trois grandeurs.

erronées. On donne les nouvelles valeurs dans le tableau IV. Les valeurs des rapports des coefficients de transfert d'énergie massique ont été calculées d'après les tables de Hubbell.

TABLEAU IV  
Valeurs de  $\bar{g}_{\text{air}}$  et  $\bar{g}_{\text{eau}}$  pour quelques spectres de rayons X

kV	CDA	CDA	$\bar{g}_{\text{air}}$	$\bar{g}_{\text{eau}}$
20	0,15 mm Al		$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
50	1		1	1
104	5,2	0,2 mm Cu	1	1
180		3,0	4	3
276		4,0	5	4
280		5,5	6	5

On donne dans la figure 7, pour chaque rayonnement de référence, les valeurs de  $K_{\text{air}}$  et  $K_{\text{eau}}$  lorsque l'exposition  $X$  est prise arbitrairement égale à 1 C/kg. On donne aussi les incertitudes expérimentales ( $1 \sigma$ ) pour la grandeur  $X$  et les incertitudes correspondantes pour les deux autres grandeurs.

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

### Mesure de l'exposition

*Comparaison d'étalons d'exposition.* — L'étalon d'exposition du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Autriche, a été comparé à celui du BIPM. L'écart est de 0,26 %. Plusieurs des corrections applicables à l'étalon autrichien ont été mesurées dans le faisceau du BIPM, en particulier les corrections pour la paroi de la chambre et pour la recombinaison des ions.

*Étalonnage de chambres d'ionisation.* — On a étalonné trois chambres d'ionisation du National Institute of Radiation Hygiene (NIRH), Danemark, destinées à servir à ce laboratoire d'étalons secondaires d'exposition. Ces trois chambres étaient de types différents : chambres cylindriques NEL et Exradin, chambre sphérique Shonka.

### Mesure de la dose absorbée dans le graphite

On a calculé théoriquement le facteur de correction de perturbation  $k_{p_2}$  pour notre chambre d'ionisation étalon lorsqu'on prend comme plan de référence la face avant de la cavité. Les résultats de ces calculs ont été comparés aux résultats expérimentaux obtenus précédemment (Rapport 1980, p. 65). Ils sont reportés sur la figure 8 qui montre un accord satisfaisant entre théorie et expérience.

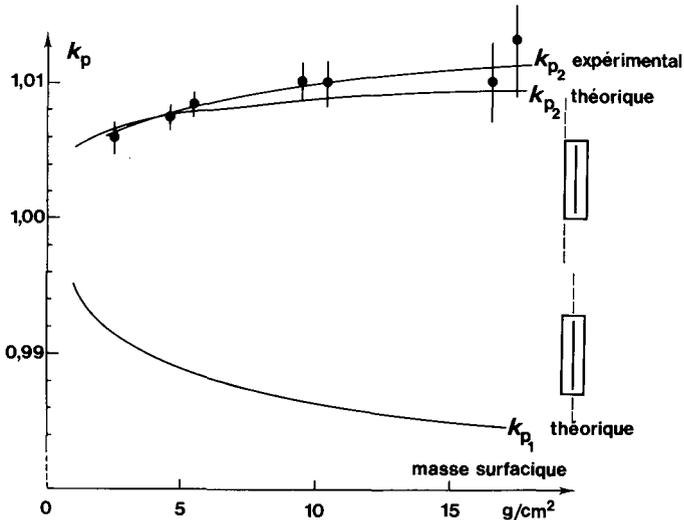


Fig. 8. — Valeurs des facteurs de correction  $k_{p_2}$  et  $k_{p_1}$  en fonction de la profondeur dans le fantôme de graphite pour la chambre étalon du BIPM.

Pour  $k_{p_1}$ , le plan de référence est le plan médian de la cavité ; pour  $k_{p_2}$ , il est confondu avec la face avant de la cavité.

On a étalonné deux chambres d'ionisation en graphite du National Institute of Radiation Protection (NIRP, Stockholm), destinées à remplacer les étalons secondaires de dose absorbée dans le graphite qui avaient été étalonnés en 1979 et dont la stabilité à long terme s'était révélée insuffisante pour des étalons. Les nouvelles chambres laissent encore à désirer, particulièrement l'une d'entre elles qui a présenté une dispersion de 1,6 %. Néanmoins, on a pu, en marge de ces étalonnages, poursuivre l'étude expérimentale de la correction de perturbation pour ce type de chambres (variation avec la profondeur dans le fantôme, changement de plan de référence). On a trouvé que le rapport des corrections de perturbation  $k_{p_1}$  et  $k_{p_2}$  correspondant aux deux positions du plan de référence des chambres NIRP était en accord avec les prévisions théoriques. Mais, alors que  $(k_{p_1}/k_{p_2})_{NIRP}$  et  $(k_{p_1}/k_{p_2})_{BIPM}$  varient tous deux comme prévu avec la profondeur, il n'en est pas de même pour le rapport  $(k_{p_2})_{NIRP}/(k_{p_1})_{BIPM}$  qui s'écarte de la valeur théorique d'une quantité pouvant atteindre 1,1 %. On projette des expériences pour éprouver la validité de plusieurs hypothèses qui permettraient d'expliquer ce désaccord.

#### Dose absorbée dans l'eau

*Détermination théorique à partir de la dose absorbée dans le graphite.* — Pour la comparaison de dosimètres chimiques relatée ci-dessous, on a déterminé par un calcul théorique la valeur de la dose absorbée dans l'eau à partir de la dose absorbée mesurée dans le fantôme de graphite à la même distance de la source et à la même profondeur à l'intérieur du fantôme.

Le principe du calcul est de comparer, pour un même faisceau incident, les fluences énergétiques dans l'eau et dans le graphite, et d'en déduire le rapport des doses absorbées. Les détails du calcul sont donnés dans le rapport BIPM-81/2. Pour les conditions de référence (distance à la source de 1 m et « profondeur » dans le fantôme de 5 g/cm<sup>2</sup>), le rapport des doses absorbées dans l'eau et dans le graphite est égal à 1,050 avec une incertitude de 1 % (1  $\sigma$ ).

*Comparaison de dosimètres chimiques.* — La comparaison des systèmes de dosimétrie chimique décidée par la Section I du CCEMRI à sa 5<sup>e</sup> réunion (1979) a été menée à bien par le groupe de travail créé à cet effet et dont la responsabilité a été confiée à S. C. Ellis (NPL). Le BIPM a assuré, de novembre 1980 à février 1981, les irradiations des échantillons de sulfate ferreux des huit laboratoires participants. Sauf pour le NBS, les irradiations ont été effectuées dans le fantôme d'eau du BIPM. Le débit de dose absorbée qui existerait dans l'eau au centre des dosimètres en l'absence des dosimètres a été calculé comme indiqué ci-dessus.

Les résultats sont présentés dans la figure 9. Six laboratoires seulement y figurent, les deux autres ayant eu des résultats anormaux. L'accord entre les six moyennes est raisonnable, étant donné les incertitudes de la dosimétrie chimique (2 % à 3 % d'après les estimations des participants). L'accord entre ces résultats s'améliore encore si l'on corrige ces moyennes en utilisant, pour tous les participants, la même valeur pour le produit  $G_{\epsilon}$  du rendement radiochimique par le coefficient d'extinction molaire. On peut constater aussi que l'écart entre la dose absorbée  $D_F$  mesurée avec les dosimètres chimiques Fricke et la dose absorbée calculée  $D_{BIPM}$  n'est pas significatif.

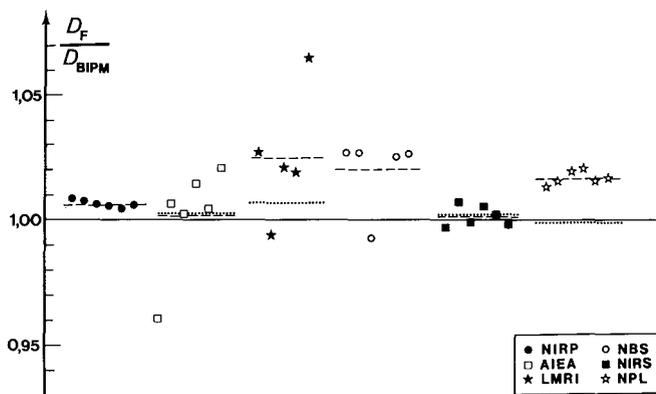


Fig. 9. — Comparaison de dosimètres chimiques Fricke.

$D_F$ , dose absorbée dans l'eau mesurée par un dosimètre Fricke irradié au BIPM,  $D_{BIPM}$ , dose absorbée dans l'eau calculée à partir de la dose absorbée dans le graphite.

Les doses absorbées nominales sont de 30, 50 et 70 Gy.

Traits discontinus : moyennes des résultats donnés par les participants ; traits en pointillé : moyennes corrigées.

### 10.3 — Électrons (A.-M. Perroche \*)

La figure 10 représente schématiquement le dispositif construit pour la mesure de  $W$ , à la suite des expériences préliminaires effectuées ces dernières années.

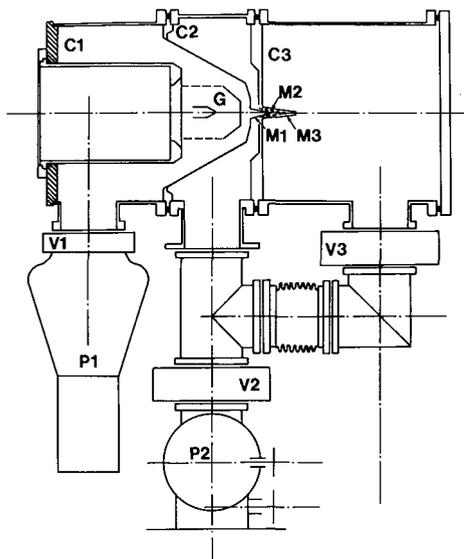


Fig. 10. — Schéma de l'installation pour la mesure de  $W$ .

G, canon à électrons situé dans le compartiment C1 monté sur la pompe à diffusion P1; C3, enceinte de la chambre d'ionisation et C2, compartiment intermédiaire, montés sur la pompe turbomoléculaire P2; V1, V2, vannes à commande pneumatique; V3, vanne à commande manuelle; M1, M2, M3, cônes définissant un faisceau d'électrons comportant un minimum d'électrons diffusés.

La construction des trois enceintes C1, C2, C3 a été réalisée en apportant un soin particulier à la qualité des surfaces en contact avec les joints, de façon à obtenir le meilleur vide possible, compte tenu des performances des pompes : P1 a un débit de 280 l/s, un vide limite de  $3 \times 10^{-6}$  Pa; les valeurs correspondantes pour P2 sont 270 l/s et  $5 \times 10^{-6}$  Pa.

Les pressions obtenues après dégazage et pompage continu pendant plusieurs jours sont de  $1 \times 10^{-5}$  Pa dans le compartiment C1 et  $1 \times 10^{-4}$  Pa dans les compartiments C2 et C3.

La vanne V3 permet d'isoler la chambre de la pompe, ce qui sera nécessaire lors des mesures d'ionisation. Afin de pouvoir mesurer dans ce cas l'ionisation due aux électrons rétrodiffusés, le cône M3 repousse le plan d'entrée du faisceau d'électrons dans la chambre. On réduit le plus possible le trajet du faisceau dans C2 à l'aide d'un autre cône M1 qui, de plus, délimite le faisceau. Un troisième cône M2, placé entre les deux précédents, est prévu pour mesurer l'ionisation produite dans C2. La réalisation de ces

cônes, isolés électriquement de la masse du système, a nécessité un travail particulièrement minutieux.

A chacune des pompes P1 et P2 sont associées une pompe primaire et une vanne à commande électromagnétique placée entre la pompe primaire et la pompe secondaire.

Le dispositif de commande de la pompe à diffusion, de sa pompe primaire et de ses vannes a été réalisé au BIPM. Celui de la pompe turbomoléculaire a été acheté chez le constructeur. Des systèmes de sécurité permettent d'isoler pompes et enceintes lors d'une coupure de courant ou d'eau et de faire automatiquement les entrées d'air nécessaires sur certaines pompes.

Quelques améliorations ont été apportées au canon à électrons, notamment en ce qui concerne le réglage du filament en direction, pour placer le faisceau d'électrons sur l'axe mécanique formé par les orifices de communication entre enceintes. Des passages haute tension permettant d'appliquer 12 kV ont été montés. Le canon, monté sur le flasque fermant le compartiment, est montré sur la figure 11.

L'ensemble décrit ici est maintenant prêt à fonctionner et la mesure du courant d'électrons, qui constitue la première partie de la mesure de  $W$ , devrait être bientôt entreprise.

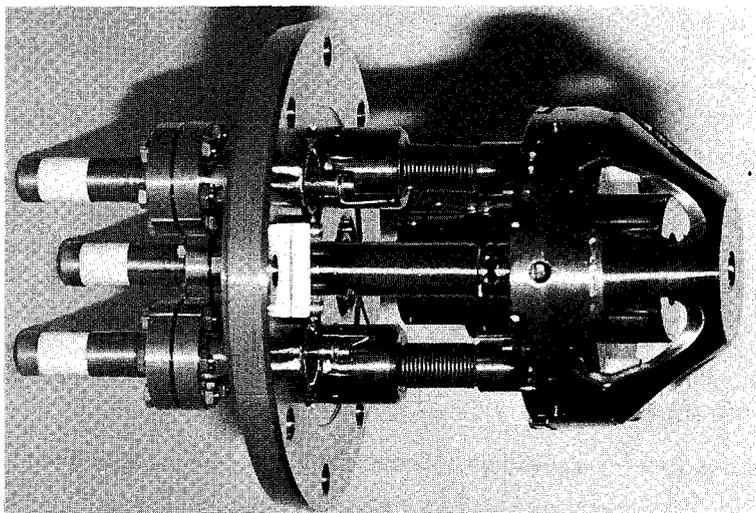


Fig. 11. — Vue du canon à électrons construit au BIPM.

## 11. Radionucléides

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

Parmi les radionucléides qui jouent un rôle important, par exemple en médecine, dans la technique nucléaire ou dans la protection de l'environnement, ceux dont on sait mesurer l'activité absolue avec une précision suffisante sont encore en minorité. Si des progrès considérables dans la précision et l'uniformisation de telles mesures ont été accomplis au cours des vingt dernières années, il ne faut pas oublier que la fiabilité des mesures d'activité de nombreux nucléides importants est encore mal connue. Les études spéciales de problèmes particuliers et les comparaisons internationales soigneusement organisées représentent des moyens efficaces pour faire progresser les connaissances théoriques et pratiques sur lesquelles peuvent se fonder les mesures d'activité dans le monde entier.

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

Depuis la mise en œuvre du système international de référence (SIR, voir ci-après, p. 68), il a été reconnu que les comparaisons futures devraient concerner surtout les nucléides n'émettant pas de rayons  $\gamma$ , ainsi que ceux pour lesquels les résultats du SIR indiquent des désaccords notables.

<sup>55</sup>Fe. — La mesure de ce nucléide qui se désintègre uniquement par capture électronique n'étant pas possible au BIPM, faute d'équipement adéquat, l'organisation d'une comparaison internationale a été confiée au NPL. Onze participants, en utilisant pour la plupart des techniques bien différentes, ont obtenu dix-huit résultats distincts dont sept ne concernent que le taux d'émission de photons  $X_K$ . La dispersion totale des résultats des mesures d'activité est de 5 % environ et illustre bien les difficultés de telles mesures. Le rapport final de cette comparaison sera publié sous forme de Rapport interne du BIPM.

<sup>133</sup>Ba. — Les résultats trop dispersés du SIR concernant ce radionucléide, souvent utilisé pour l'étalonnage de spectromètres  $\gamma$ , ont été à l'origine de ce choix. Comme il est habituel en pareil cas, une comparaison préliminaire avec un nombre restreint de participants a eu lieu ; les résultats ont pleinement justifié cette mesure de précaution. La dispersion, qui est toujours aussi considérable que celle des résultats du SIR, doit être attribuée à des particularités du schéma de désintégration et surtout à des effets chimiques. Une comparaison à grande échelle ne pourra être envisagée qu'après une étude plus approfondie et une nouvelle comparaison restreinte.

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

*Radionucléides à capture électronique.* — Trois représentants de ce type de désintégration ont fait l'objet d'expériences auxiliaires. Ainsi,

l'étalonnage d'une série de sources de  $^{51}\text{Cr}$  a été étudié en vue de mesures futures sur des échantillons à fournir à d'autres laboratoires.

Les mesures de dix-sept sources relativement fortes de  $^{54}\text{Mn}$  ont donné, compte tenu de la décroissance, des résultats inférieurs de 0,25 % en moyenne à ceux de mesures semblables, effectuées quelques mois plus tôt. Des mesures ultérieures suivront afin d'élucider l'origine de ce désaccord, faible mais significatif.

Comme prélude à la comparaison préliminaire mentionnée plus haut, les conditions de mesure du  $^{133}\text{Ba}$  ont été étudiées afin de pouvoir préparer un formulaire pour consigner les détails importants de telles mesures.

*Période du  $^{60}\text{Co}$ .* — Une série de quatorze sources minces de  $^{60}\text{Co}$ , préparées en 1974, ont été mesurées quinze fois au cours d'un intervalle de temps égal à 1,3 fois la période radioactive de ce nucléide. Les résultats obtenus ont permis de calculer une valeur très précise de la période, à savoir

$$T_{1/2} = (1\,925,50 \pm 0,15) \text{ jours.}$$

L'incertitude indiquée n'exprime que l'écart-type qui découle de l'ajustement linéaire. Il convient d'ajouter que la méthode des coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  n'est pas spécialement adaptée aux mesures de périodes longues et que d'autres catégories d'incertitudes peuvent intervenir.

#### *Étalonnage et distribution de sources solides minces*

Seize sources de divers radionucléides ont été envoyées à l'Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne (Autriche). Pour la plupart d'entre elles, l'activité, qui ne pouvait être mesurée directement, avait été déterminée à partir des résultats du SIR. Une livraison ultérieure comportait quatre sources de  $^{60}\text{Co}$  dont l'activité avait été mesurée par la méthode de coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ .

#### *Spectromètre $\gamma$ muni d'un détecteur à germanium compensé au lithium, Ge(Li)*

En attendant l'arrivée d'un système perfectionné d'acquisition et de traitement des données, on s'est limité à quelques expériences préliminaires. La fonction d'efficacité relative a été établie entre 250 et 450 keV au moyen de sources de  $^{133}\text{Ba}$  et de  $^{152}\text{Eu}$ . Cela permettra de comparer, dans le cadre d'une comparaison internationale imminente de mesures neutroniques, les activités de sources émettrices de rayons  $\gamma$  ( $^{51}\text{Cr}$  et  $^{115}\text{In}^m$ ) d'énergies très voisines.

L'ensemble de spectrométrie une fois complété permettra entre autres des contrôles de pureté radionucléidique, en particulier pour les échantillons du SIR.

#### *Étalon international de radium*

L'étalon N° 5430 fabriqué par O. Hönigschmid en 1934 est conservé définitivement au BIPM depuis 1961. Par la suite, il n'a servi qu'une seule

fois, au cours d'une comparaison incluant cinq étalons semblables (voir *Procès-Verbaux CIPM*, 32, 1964, p. 58 et rapport du 12 avril 1965). Un premier examen de son état a été effectué en 1967 (voir *Procès-Verbaux CIPM*, 36, 1968, p. 69). Afin de nous rendre compte de son état actuel, un contrôle similaire au premier a eu lieu le 2 juillet 1981. L'enveloppe de verre a été trouvée intacte et aucune indication de perte de radon n'a pu être observée.

*Mesures relatives au moyen d'une chambre d'ionisation à puits pressurisée*

*Contrôles des sources de référence.* — Toutes les mesures de courant d'ionisation de cette chambre sont exprimées par rapport au courant produit par une source de radium qui sert de référence permanente. Le plus souvent, ce rapport est inférieur à l'unité et peut descendre jusqu'à  $10^{-3}$ . Pour éviter d'avoir à déterminer des rapports de courants supérieurs à 1,8 ou inférieurs à 0,55, ce qui ferait diminuer la précision des mesures, on a associé à la source de référence un jeu de quatre sources de construction identique et contenant respectivement trois, dix, trente et cent fois moins de radium que la première. Les rapports de ces sources prises deux à deux dans l'ordre de leurs activités sont déterminés mensuellement et servent à raccorder les mesures d'échantillons inconnus à la source de référence. Leurs variations (*fig. 12*) rendent compte de la répétabilité élevée des mesures, et l'absence de dérive est une preuve de l'étanchéité de toutes ces sources. Les variations plus grandes de la valeur du rapport des deux sources les plus faibles indiquent que l'on s'approche ici de la limite imposée par le mouvement propre et la sensibilité de l'équipement.

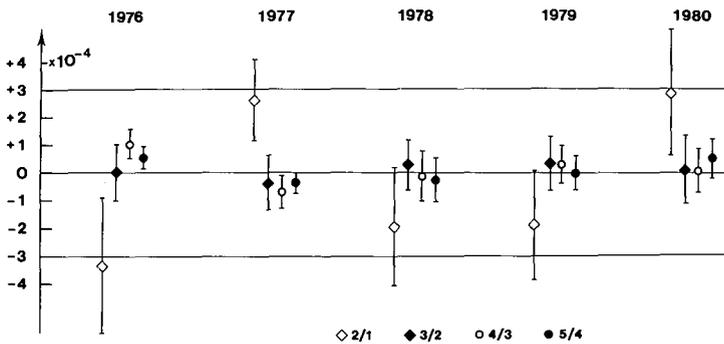


Fig. 12. — Comparaison des courants d'ionisation produits par les sources de référence N° 1 à N° 5, prises deux à deux dans l'ordre croissant de leur activité : variations et écarts-types des moyennes annuelles des rapports des courants.

*Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$  (SIR).* — L'utilité de ce moyen de comparaison permanent n'est plus à prouver. Dès son début, en 1976, dix-neuf laboratoires internationaux et nationaux y ont contribué en envoyant environ

300 ampoules contenant des solutions de 40 radionucléides différents. Le nombre de résultats consignés dans les tableaux d'enregistrement s'élève à 204.

*Fonctions d'efficacité de la chambre d'ionisation.* — Pour établir une courbe de réponse en fonction de l'énergie des photons, on commence par les émetteurs d'une raie unique. Passant ensuite aux nucléides ayant une raie forte et quelques raies faibles, on peut retrancher, en se servant de la courbe déjà obtenue, la contribution des raies faibles et définir ainsi de nouveaux points d'où résultera une courbe améliorée. En répétant ce procédé et en ajoutant des points correspondant aux nucléides à spectres de plus en plus complexes, on arrive à une courbe de mieux en mieux définie. Elle peut servir à l'interpolation et au dépistage d'erreurs soit dans les mesures d'activité, soit dans les schémas de désintégration. Pour mieux faire ressortir les détails d'une telle courbe, on a porté dans la figure 13, à un coefficient constant près, le quotient de la réponse de la chambre par l'énergie. La représentation graphique des valeurs expérimentales tient compte des incertitudes de mesures et des probabilités d'émission de rayons  $\gamma$ .

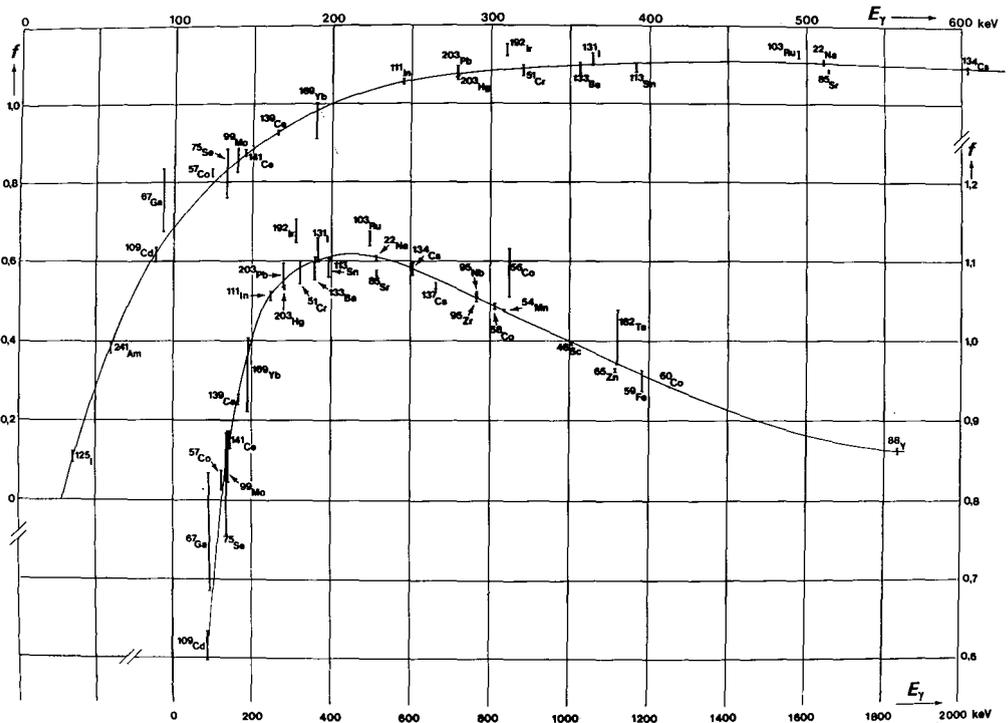


Fig. 13. — Courbe de réponse de la chambre d'ionisation à puits :  $f = (KA_c P_\gamma E_\gamma)^{-1}$ , où  $A_c$  est l'activité (en Bq) qui produirait le même courant d'ionisation que la source de référence N° 5 ;  $P_\gamma$  est la probabilité d'émission de photons d'énergie  $E_\gamma$  (en keV) ; la réponse de la chambre est  $(A_c P_\gamma)^{-1}$  ;  $K = 6 \times 10^{-11}$ .

Les deux courbes, tracées avec des échelles différentes, représentent la même fonction.

*Mesure de diaphragmes à l'aide d'un détecteur semi-conducteur à barrière de surface*

Afin de comparer entre eux deux diaphragmes à ouvertures circulaires de diamètres très voisins, un appareil a été construit qui permet de placer l'un ou l'autre de ces diaphragmes entre une source émettrice de particules  $\alpha$  et un détecteur de dimensions appropriées (fig. 14).

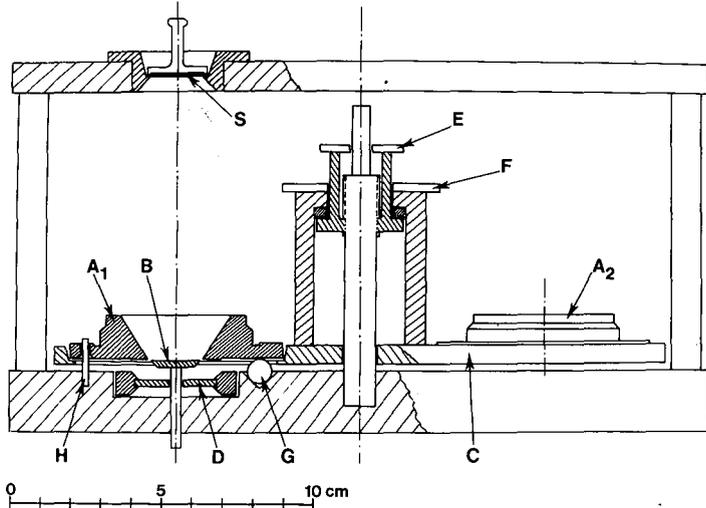


Fig. 14. — Comparateur pour les diaphragmes  $A_1$  et  $A_2$  dont on recherche le rapport des ouvertures.

B, écran circulaire de diamètre connu; C, plate-forme pivotante; D, détecteur annulaire à barrière de surface; E, F, poulies pouvant être mises en rotation de l'extérieur, E pour lever la plate-forme C, F pour la faire pivoter; G, trois billes définissant le plan de l'ouverture de  $A_1$  ou  $A_2$ ; H, deux ergots de centrage; S, source de particules  $\alpha$ . L'appareil se trouve dans le vide sous une cloche.

Un écran circulaire fixe cachant la plus grande partie du détecteur intercepte une large proportion des particules qui ne portent guère d'information utile. Leur élimination améliore la statistique de comptage; elle permet d'utiliser une source plus faible et de réduire l'usure du détecteur. Des mesures préliminaires ont montré que le rapport des ouvertures pourra être déterminé à mieux que  $10^{-4}$  près, à condition qu'il soit voisin de l'unité. L'expérience se poursuit.

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

En ce qui concerne les déterminations d'activité, la contribution essentielle consiste cette fois-ci dans la présentation d'une nouvelle méthode de mesure, à laquelle le nom d'*échantillonnage sélectif* a été attribué en raison de son fonctionnement pratique. Le premier sujet choisi est une

description succincte du principe de cette méthode ; le deuxième, qui traite de l'effet d'un temps mort pour un changement brusque du taux de comptage, lui est lié par l'emploi du même dispositif expérimental.

### *La méthode d'échantillonnage sélectif*

Les différents détecteurs permettant d'enregistrer individuellement les particules émises lors d'une désintégration nucléaire ont en commun de n'en compter qu'une certaine fraction. Pour déterminer l'activité  $N_0$  d'une source radioactive, il faut donc connaître l'efficacité  $\varepsilon$  d'un tel instrument afin de pouvoir déduire du taux mesuré  $N$  la totalité des émissions d'un certain type, car  $N_0 = N/\varepsilon$ . Pour un détecteur donné, l'évaluation du paramètre  $\varepsilon$  par le calcul se révèle en général trop incertaine, sinon impossible, pour être d'une utilité pratique.

Dans le cas fréquent d'émission « simultanée » de deux rayonnements différents, comme par exemple d'une particule bêta suivie d'une transition gamma, une solution élégante du problème est connue depuis longtemps. Elle consiste à mesurer, en parallèle avec les taux individuels, la fréquence des émissions qui sont « en coïncidence » dans le temps sur les deux voies. Puisqu'on peut considérer comme indépendantes les probabilités d'enregistrement pour les différents types de rayonnement, le taux des impulsions coïncidentes est donné par le produit  $N_c = N_0 \varepsilon_\beta \varepsilon_\gamma$ . Il s'ensuit que, dans la combinaison  $N_\beta N_\gamma / N_c$ , les efficacités  $\varepsilon_\beta$  et  $\varepsilon_\gamma$  s'éliminent et la valeur numérique de cette quantité est égale à l'activité  $N_0$  recherchée. C'est ainsi que la nécessité de connaître les efficacités peut être éludée. Cette solution ingénieuse est la base pour mesurer de façon « absolue » une activité nucléaire par la méthode de coïncidence, utilisée couramment dans tous les laboratoires de métrologie des rayonnements ionisants.

En pratique, son application à des buts métrologiques se heurte à un certain nombre de problèmes dont quelques-uns sont très difficiles à résoudre. C'est en particulier pour des taux de comptage élevés que l'évaluation des corrections nécessaires (dues aux temps morts dans les deux voies et au temps de résolution), surtout pour les coïncidences, devient si compliquée qu'il faut se contenter, pour le calcul, d'un modèle dont on sait qu'il ne tient pas compte de toutes les influences expérimentales.

Puisque l'application d'une méthode indépendante est souvent le seul moyen efficace pour dépister d'éventuelles influences insoupçonnées, une approche expérimentale du problème, reposant sur d'autres bases, serait certainement la bienvenue ; d'où l'intérêt de la nouvelle méthode d'échantillonnage sélectif que nous allons décrire maintenant et qui évite la mesure de coïncidences.

Alors que les émissions originelles bêta et gamma sont toutes corrélées, c'est-à-dire que pour chaque bêta existe un « partenaire » gamma (et vice versa) qui provient de la même désintégration, ceci n'est plus le cas pour les impulsions observables. Il importe de se rendre compte que le problème des efficacités, en ce qui concerne les comptages, est équivalent à la connaissance de l'appartenance des impulsions à des paires, et puisqu'une

impulsion est avec ou sans partenaire, il suffit par exemple de connaître le pourcentage de celles qui sont seules. Par conséquent, si l'on peut déterminer la fréquence des impulsions d'une voie pendant un intervalle de temps où l'on sait que l'autre voie est dépourvue d'événements, il s'agit nécessairement d'impulsions sans partenaire. Mais comment peut-on savoir si tel est vraiment le cas ? La réalisation de cette idée simple tire parti du fonctionnement d'un temps mort  $T$  du type cumulatif, pour lequel il est bien connu que l'arrivée de toute impulsion, enregistrée ou non, impose un nouveau temps mort ou allonge celui qui est déjà présent. Il en découle que toute impulsion observée est obligatoirement précédée d'un intervalle de temps de durée  $T$  pour lequel on peut garantir l'absence d'autres détections dans cette voie. Par conséquent, les impulsions enregistrées pendant ce même temps  $T$  sur l'autre voie sont sans partenaire.

La mise en pratique ne pose guère de problèmes et une réalisation possible est esquissée dans la figure 15, avec déclenchement du cycle par une

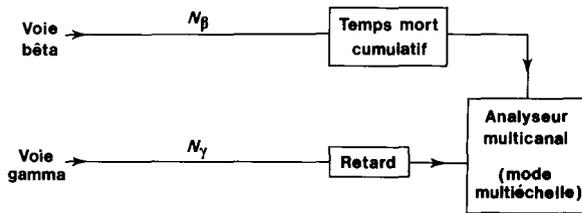


Fig. 15. — Schéma simplifié de l'arrangement expérimental utilisé pour la méthode d'échantillonnage sélectif.

Comme mentionné dans le texte, l'enregistrement des intervalles de temps se fait par l'intermédiaire d'un appareil spécial qui permet d'augmenter la résolution temporelle. Les circuits de temps morts des voies bêta et gamma sont omis par souci de simplification.

impulsion bêta. Les temps d'arrivée des impulsions gamma, convenablement retardées, sont enregistrés par un analyseur multicanal utilisé en mode multiéchelle. Cette opération est répétée un grand nombre de fois et l'accumulation des impulsions gamma peut être suivie sur l'oscilloscope. Leur répartition (voir fig. 16) montre deux zones : la première (appelée G) se situe avant le temps mort cumulatif  $T$  et l'on y enregistre toutes les impulsions ; la deuxième (g), qui précède l'arrivée d'une impulsion bêta, ne contient que les gammas sans partenaire.

Si, pour simplifier la description, on admet l'absence d'un mouvement propre et d'un temps mort dans la voie gamma, les hauteurs moyennes des deux zones sont données par

$$G = \kappa N_\gamma \quad \text{et} \quad g = \kappa(N_\gamma - N_\beta),$$

où  $\kappa$  est une constante. En posant  $R_\gamma = g/G$ , on a donc

$$1 - R_\gamma = N_\beta/N_\gamma = \varepsilon_\beta.$$

Il s'ensuit que l'activité de la source mesurée est obtenue par la formule simple

$$N_0 = \frac{N_\beta}{\varepsilon_\beta} = \frac{N_\beta}{1 - R_\gamma}$$

Il est aussi possible de renverser le rôle des voies bêta et gamma. Si le cycle est déclenché par une impulsion gamma, on obtient par des raisonnements tout à fait analogues l'expression

$$N_0 = \frac{N_\gamma}{\varepsilon_\gamma} = \frac{N_\gamma}{1 - R_\beta}$$

où  $R_\beta = b/B$  est maintenant le rapport des densités bêta pour les deux zones correspondantes. L'utilisation des deux modes d'emploi pour une même source permet un contrôle interne de la nouvelle approche.

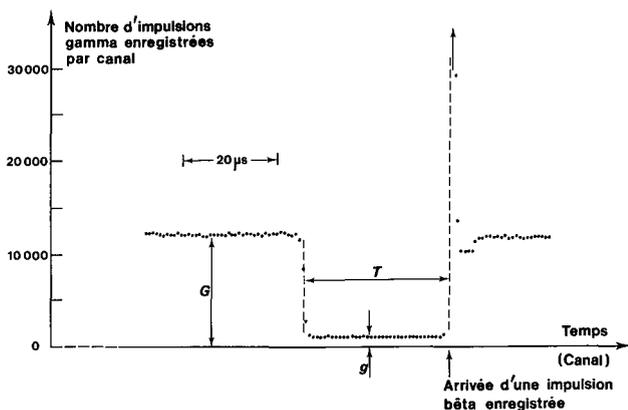


Fig. 16. — Répartition expérimentale des impulsions gamma qui précèdent une impulsion bêta enregistrée, pour une source de  $^{60}\text{Co}$  d'environ 60 kBq.  
La résolution est de  $0,75 \mu\text{s}$  par canal et l'enregistrement a duré 30 min.

En réalité, les densités observées doivent être corrigées pour des pertes dues au temps mort gamma (ou bêta), mais ceci ne pose pas de problème particulier puisqu'il s'agit toujours d'une seule voie. De plus, le stockage dans l'analyseur multicanal doit être précédé d'un dispositif spécial qui permet un enregistrement rapide en temps réel, suivi d'un transfert lent adapté aux analyseurs commerciaux dont le temps d'occupation par canal n'est guère inférieur à  $10 \mu\text{s}$ . Cette conversion est effectuée par un appareil électronique, construit par P. Bréonce, qui a été décrit antérieurement (Rapport BIPM-76/14).

Si l'on compare la nouvelle méthode au procédé classique par coïncidences, on remarquera plusieurs avantages. Ainsi, l'absence du circuit à coïncidences évite automatiquement tous les problèmes liés à son temps de résolution, mais aussi les perturbations produites par un retard résiduel

entre les deux voies (effet Gandy) et par les fluctuations temporelles. De plus, puisque le critère de sélection employé ne se fonde plus sur la simultanéité d'impulsions, mais sur un principe causal, c'est-à-dire l'absence d'un partenaire, la méthode d'échantillonnage sélectif s'applique également aux désintégrations qui passent par un état mésomère dont la vie moyenne peut être de l'ordre du temps mort  $T$ , pour lequel une valeur de 20 à 30  $\mu$ s est utilisée habituellement.

La nouvelle approche a déjà fait ses preuves dans la mesure de l'activité de plusieurs nucléides et elle s'est avérée particulièrement avantageuse pour des taux de comptage élevés, donc juste dans le domaine où la méthode traditionnelle à coïncidences devient d'un maniement délicat.

A l'heure actuelle, les mesures durent assez longtemps, mais l'étude d'un procédé permettant d'accélérer l'accumulation des enregistrements dans l'analyseur multicanal est en cours. Une description succincte de la nouvelle méthode de mesure est en voie de publication.

Pour l'influence de la sensibilité du compteur proportionnel au rayonnement gamma, on consultera la récente note BIPM WPN-218.

#### *Correction de temps mort pour un taux de comptage variable*

Les formules classiques qui permettent de tenir compte de l'effet d'un temps mort  $\tau$  pour ramener un taux de comptage observé  $R$  à sa valeur originelle  $\rho$ , ou vice versa, sont d'une application si courante que l'on se fait peu de souci sur les limites de validité. Pourtant, leur dérivation demande, pour l'essentiel, que deux conditions soient remplies, c'est-à-dire que le processus d'origine suive une loi de Poisson et que son taux moyen reste constant dans le temps. Dans la grande majorité des applications usuelles, ces suppositions sont bien réalistes. En particulier, pour les désintégrations nucléaires, même si elles sont de nature complexe, les émissions suivent presque invariablement de très près un processus de Poisson, comme de multiples contrôles l'ont bien démontré. L'hypothèse d'un taux de comptage constant, quoique violée pour un temps d'observation comparable à la période du nucléide, est en général peu critique si la durée d'une mesure individuelle est obtenue par subdivision régulière et suffisamment fine du temps total que dure l'expérience.

Néanmoins, il existe des exceptions à cette règle, et la méthode d'échantillonnage sélectif, dont on vient de décrire le principe, nous en donne un bel exemple : le passage entre les zones  $G$  et  $g$  (voir fig. 16) implique un changement brusque et pratiquement instantané du taux de comptage originel  $\rho$ . Une interprétation fiable de la forme de la densité mesurée des impulsions gamma s'impose si l'on veut en déduire l'efficacité du compteur bêta. On a donc besoin d'une description rigoureuse de l'influence du temps mort  $\tau_\gamma$  de la voie gamma pour un taux de comptage variable. Le problème est analogue si le cycle débute par une impulsion gamma, mais concerne alors la déformation qui résulte du temps mort  $\tau_\beta$ .

Une étude, dont on trouvera les détails dans le Rapport BIPM-81/3,

révèle que les formules habituelles doivent être généralisées de la manière suivante

— pour un temps mort  $\tau$  du type non cumulatif :

$$\rho(t) = \frac{R(t)}{1 - \Theta(t)}, \quad \text{avec} \quad \Theta(t) = \int_{t-\tau}^t R(x) dx,$$

— pour un temps mort  $\tau$  cumulatif :

$$R(t) = \rho(t) \exp[-\theta(t)], \quad \text{avec} \quad \theta(t) = \int_{t-\tau}^t \rho(x) dx.$$

Pour le cas d'un taux constant, on retrouve bien les anciennes expressions

$$\rho = \frac{R}{1 - R\tau} \quad \text{et} \quad R = \rho \exp(-\rho t).$$

On remarquera, cependant, qu'une forme telle que

$$R(t) \approx \frac{\rho(t)}{1 + \rho(t)\tau},$$

souvent utilisée pour un temps mort non cumulatif, ne trouve plus de justification et qu'elle doit être remplacée par

$$R(t) = \rho(t) [1 - \Theta(t)].$$

Il en est de même dans le cas d'un temps mort cumulatif où la formule inverse exacte pour un taux constant, connue depuis peu (BIPM WPN-217), n'a pour généralisation que l'expression

$$\rho(t) = R(t) \exp[\theta(t)].$$

Puisque  $\Theta$  dépend de  $R(t)$  et  $\theta$  de  $\rho(t)$ , les deux dernières formules indiquées ne nous permettent plus d'exprimer le taux observé uniquement en termes du taux originel (pour  $\tau$  non cumulatif), ou inversement pour  $\tau$  cumulatif, comme c'est le cas si  $\rho$  (et donc aussi  $R$ ) reste constant. Or, ce fait est évidemment lié au mécanisme physique des temps morts : pour le type non cumulatif, les pertes de comptage proviennent des impulsions enregistrées, ce qui s'exprime maintenant par  $\Theta(t)$ , tandis que pour le type cumulatif l'effet est dû au taux originel, dont on tient compte par la fonction  $\theta(t)$ .

L'application pratique des corrections qui sont nécessaires pour passer de  $R(t)$  à  $\rho(t)$  si la répartition empirique se présente sous forme d'un enregistrement sur un analyseur multicanal, comme c'est le cas pour l'échantillonnage sélectif, peut être effectuée par un programme d'ordinateur. Il est écrit en Fortran IV et disponible sur demande.

Pour illustrer le bon fonctionnement de ces corrections, nous montrons dans la figure 17 l'enregistrement d'une distribution mesurée pour les particules bêta ainsi que la densité originelle qui en découle par le calcul.

Pour contrôle, on a également déterminé, en partant de la densité  $\rho$ , supposée constante dans les deux zones, la répartition expérimentale attendue. L'accord avec les mesures réelles est excellent et semble confirmer le bien-fondé de cette nouvelle approche permettant de déterminer l'effet d'un temps mort dans le cas d'une variation quelconque du taux de comptage.

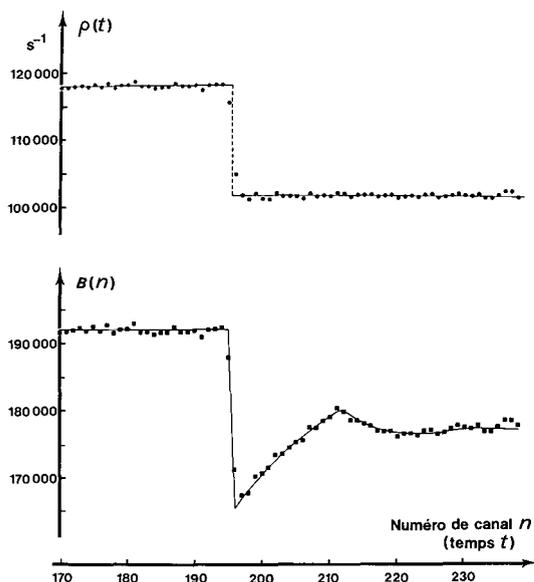


Fig. 17. — Effet d'un temps mort non cumulatif sur la répartition  $R(t)$  des impulsions bêta mesurées; cette grandeur est proportionnelle au nombre d'impulsions par canal  $B(n)$ .

La densité originelle  $\rho(t)$  des impulsions résulte du calcul décrit ici et confirme que le taux de comptage change brusquement d'une zone à l'autre. C'est ce rapport qui sert dans l'échantillonnage sélectif à évaluer l'efficacité du compteur gamma.

### *Autres travaux*

L'étude consacrée antérieurement aux modifications apportées par la décroissance d'une source radioactive à la loi de Poisson, qui suppose un taux invariable, nous a amenés à une lecture attentive d'une publication déjà historique<sup>(6)</sup>, mais toujours intéressante, qui traite de sujets semblables. Quelques simplifications peuvent être apportées à l'ancienne approche; elles sont incluses dans la note BIPM WPN-216.

La méthode de mesure d'un temps mort par superposition des impulsions provenant de deux oscillateurs indépendants, dont l'application s'est bien implantée dans les laboratoires, est maintenant plus aisée et rapide

<sup>(6)</sup> RUARK (A.) and DEVOL (L.), The general theory of fluctuations in radioactive disintegration. *Phys. Rev.*, **49**, 1936, pp. 355-367.

grâce à un dispositif électronique qui rend la mesure automatique. La description détaillée de cet appareil par P. Bréonce est le sujet du Rapport BIPM-81/1.

La réunion du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes, qui a eu lieu à Sèvres du 21 au 23 octobre 1980, a demandé un important travail de préparation; de plus, le rapport qui inclut les discussions et les recommandations a subi une certaine mise en forme par le BIPM.

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

#### *Mesure du champ magnétique du spectrographe*

Pour mesurer l'énergie de particules  $\alpha$  on observe, dans un champ magnétique uniforme, le profil d'une raie d'émission de particules monocinétiques. L'extrapolation à zéro en direction des énergies croissantes permet de déterminer le point correspondant à l'énergie recherchée et par là le rayon de courbure correspondant à la valeur du champ magnétique. Comme ce champ n'est jamais rigoureusement uniforme, il faut le mesurer tout le long des trajectoires et calculer une valeur moyenne effective. En outre, la forme du profil peut être modifiée par les irrégularités du champ au voisinage de la trajectoire centrale. On s'est donc proposé d'effectuer une analyse approfondie de la forme des raies expérimentales.

La mesure fine des détails de la topographie magnétique exige une stabilité très poussée du champ et de l'appareil de mesure. En outre, il faut que la sonde à résonance de protons ait des dimensions aussi réduites que possible. Les dispositifs électroniques pour la stabilisation et la mesure du champ ont été perfectionnés et une sonde dont le volume sensible ne dépasse pas  $25 \text{ mm}^3$  a pu être construite. La topographie du champ a ensuite été enregistrée pour plusieurs valeurs du champ et du rayon de courbure moyen. Ces résultats serviront de base pour des calculs de forme de raie dont le principe a pu être établi.

#### *Mesures d'énergie de particules alpha*

$^{212}\text{Po}$ . — Une redétermination visant à trancher entre le résultat obtenu au BIPM et celui qui a été publié par un groupe de l'Université Technique de Munich, plus élevé d'environ 700 keV, exige une source intense de  $^{228}\text{Th}$ , de plus en plus coûteuse et difficile à obtenir. La source disponible actuellement ne permettrait pas d'arriver à une valeur suffisamment exacte. Aussi, bien que les résultats de treize mesures récentes, effectuées avec deux valeurs différentes du champ magnétique, soient nettement plus proches de la valeur de Munich, il ne nous semble pas souhaitable de publier ces résultats: nous préférons attendre qu'une source plus intense soit disponible.

$^{244}\text{Cm}$ . — Il est bien connu que la technique d'évaporation sous vide fournit des sources très minces et propres. Toutefois, il faudrait disposer de

beaucoup d'activité pour obtenir des sources suffisamment fortes. Une méthode entièrement différente, mise au point au laboratoire de l'Australian Atomic Energy Commission (AAEC), consiste à déposer une couche mince de résine échangeuse d'ions sur un substrat de platine et à y étaler ensuite une goutte de solution du radionucléide dont on retire aussitôt le solvant. Mr G. C. Lowenthal, de l'AAEC, a bien voulu préparer plusieurs sources de  $^{244}\text{Cm}$  et les faire parvenir au BIPM. Leur activité modeste demandait dans le spectromètre des poses de plusieurs jours.

Pour contrôler l'épaisseur de ces sources, on a déterminé la largeur à mi-hauteur de la raie principale, tandis que la valeur extrapolée de l'énergie fournissait un indice de la propreté. La largeur à mi-hauteur était située entre 6 et 7 keV, ce qui est le double de la valeur trouvée avec des sources préparées par évaporation. Ce résultat est à rapprocher des 4,3 keV obtenus, voici quelques années, avec des sources de  $^{241}\text{Am}$  de préparation similaire.

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

En dehors des préparatifs de la prochaine comparaison internationale des mesures de débit de fluence de neutrons rapides, l'activité du groupe de mesures neutroniques a été essentiellement consacrée à la construction et à la mise au point des appareils destinés aux mesures de dose absorbée et de kerma dans le tissu (muscle) avec la source de neutrons (D + T) dont nous disposons actuellement. Le principe de la méthode de mesure a déjà été exposé (Rapport 1980, p. 76). A l'époque, nous avons estimé qu'avec une chambre d'ionisation de  $1\text{ cm}^3$ , placée à 30 cm d'une source qui émet  $1,5 \times 10^9$  neutrons par seconde, on devrait avoir un courant d'ionisation de  $3 \times 10^{-13}$  A. Les premières mesures expérimentales effectuées au BIPM confirment bien cette prévision. En effet, notre chambre d'ionisation Exradin (modèle T2), ayant un volume de  $0,5\text{ cm}^3$ , donne un courant de  $1,10 \times 10^{-13}$  A lorsqu'elle est placée à 29 cm de notre source actuelle dont le taux d'émission est de  $1,0 \times 10^9\text{ s}^{-1}$ . D'autre part, il faut encore souligner un fait important; dans notre installation, nous mesurons simultanément deux grandeurs : le kerma et la fluence.

Parmi les travaux expérimentaux, nous décrivons ici trois types de mesures :

- mesure de la sensibilité du long compteur,
- mesure de la sensibilité du compteur Geiger-Müller,
- comparaison des mesures de débit de fluence utilisant le système Nb/Zr comme instrument de transfert.

### 12.1 — Sensibilité du long compteur

Dans le but de rechercher la possibilité d'utiliser notre long compteur comme instrument de mesure de débit de fluence de neutrons à 14,61 MeV

dans nos expériences de dosimétrie neutronique, nous avons essayé de mesurer sa sensibilité  $\varepsilon$ , c'est-à-dire le quotient de son taux de comptage par le débit de fluence de neutrons, ce dernier étant mesuré par la méthode habituelle de la particule associée. Les difficultés proviennent essentiellement, d'une part de la détermination du centre effectif du long compteur et, d'autre part, de la correction pour les neutrons diffusés.

Pour déterminer la contribution des neutrons diffusés, on utilise un cône d'ombre placé entre la source de neutrons et le long compteur. La figure 18 donne les dimensions et les matériaux constituant le cône d'ombre.

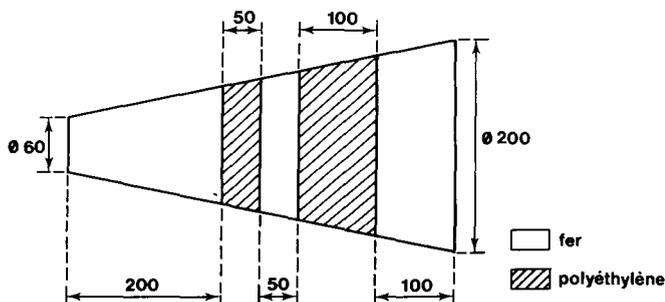


Fig. 18. — Cône d'ombre (toutes dimensions en mm).

En mesurant en fonction de la distance les taux de comptage du long compteur, corrigés pour les neutrons diffusés, et en appliquant la loi de l'inverse du carré de la distance, on peut déterminer le centre effectif du long compteur. Les mesures ont été effectuées pour cinq distances, comprises entre 1,50 m et 2,80 m. Le long compteur était placé à  $27^\circ$  par rapport à la direction du faisceau incident de deutons.

Finalement, nous avons trouvé que le centre effectif est à une distance de  $(20,7 \pm 2,0)$  cm de la face frontale du long compteur et que la valeur de la sensibilité est

$$\varepsilon = (2,53 \pm 0,10) \text{ cm}^2.$$

## 12.2 — Sensibilité du compteur Geiger-Müller

### Sensibilité aux neutrons de 14,61 MeV

*Principe de la méthode de mesure.* — Si l'on déplace un petit cercle de rayon  $r$  à travers un grand cercle de rayon  $R$  de façon que le centre du petit cercle décrive une droite passant par le centre du grand (fig. 19), on peut montrer <sup>(7)</sup> que

$$2\pi \int_0^{R+r} A(x)x \, dx = (\pi r^2) \cdot (\pi R^2), \quad (1)$$

(<sup>7</sup>) FOWLER (J. L.) et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **175**, 1980, p. 449.

où  $x$  est la distance entre les deux centres et  $A(x)$  l'aire de l'intersection des deux cercles.

Ainsi, si le petit cercle représente la section droite du cône de neutrons (faisceau uniforme) sur le compteur Geiger-Müller et si le grand cercle représente ce compteur (efficacité constante), alors en déplaçant le petit cercle à travers le grand cercle, on « dessine » une courbe d'efficacité du compteur et l'utilisation de l'expression (1) permet de déduire une efficacité « globale ».

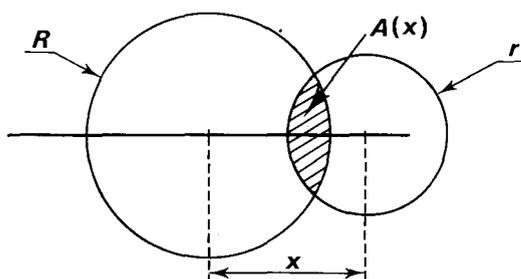


Fig. 19. — Présentation géométrique de l'intersection de deux cercles.

Dans le cas qui nous intéresse ici, le compteur Geiger-Müller, qui a une symétrie cylindrique, est placé horizontalement, son axe coïncidant avec celui du faisceau de neutrons et ce dernier est défini par le détecteur des particules  $^4\text{He}$  associées.

Le taux de comptage  $N_\alpha$  des particules  $^4\text{He}$  est donné par

$$N_\alpha = \varepsilon_\alpha \Phi_\alpha \pi r^2, \quad (2)$$

où  $\Phi_\alpha$  est le débit de fluence des particules  $^4\text{He}$  et  $\varepsilon_\alpha$  l'efficacité du détecteur de particules  $^4\text{He}$ .

Le taux de coïncidences  $N_c$  entre les particules associées et les neutrons est donné par

$$N_c = \varepsilon_n \Phi_n A(x) \varepsilon_\alpha = \varepsilon_n A(x) \Phi_\alpha \varepsilon_\alpha, \quad (3)$$

où  $A(x)$  est déjà défini ci-dessus,  $\Phi_n$  est le débit de fluence de neutrons (ici  $\Phi_n = \Phi_\alpha$ ) et  $\varepsilon_n$  est l'efficacité du compteur Geiger-Müller.

Par conséquent, pour chaque distance  $x$  on a

$$\frac{N_c}{N_\alpha} = \varepsilon_n \frac{A(x)}{\pi r^2}. \quad (4)$$

L'équation (4) peut être intégrée d'après l'équation (1); on obtient alors

$$2\pi \int_0^{R+r} \frac{N_c}{N_\alpha} x \, dx = 2\pi \int_0^{R+r} \varepsilon_n \frac{A(x)}{\pi r^2} x \, dx = \varepsilon_n \pi R^2. \quad (5)$$

Cette dernière expression est la sensibilité aux neutrons du compteur Geiger-Müller.

Expérimentalement, on mesure  $N_c/N_\alpha$  en fonction de  $x$  et, selon l'équation (5), on en déduit, par intégration numérique, la sensibilité aux neutrons du compteur Geiger-Müller, ainsi que son efficacité.

Cette propriété se généralise pour toute distribution de l'efficacité du compteur et du débit de fluence à symétrie circulaire.

*Conditions expérimentales.* — Pour la détection des particules associées, on utilise les conditions expérimentales habituelles. Rappelons seulement ici qu'une jonction à barrière de surface au silicium est placée à 99,39 cm de la cible et à un angle de  $150^\circ$  par rapport à la direction du faisceau de deutons incidents, et qu'un diaphragme de 4 mm de diamètre placé devant la jonction définit l'angle solide de détection.

En ce qui concerne le compteur Geiger-Müller, il est du type ZP1311, fabriqué par la Société RTC. Le compteur est rempli de Ne-He (et halogène) et possède un filtre en étain de 2 mm d'épaisseur; l'ensemble compteur nu et filtre a un diamètre de 10,2 mm et une longueur de 27,7 mm. La paroi du compteur est constituée de chrome-fer. La tension de fonctionnement est de 550 V.

Le compteur Geiger-Müller est placé horizontalement sur un support qui peut être déplacé angulairement autour du centre de la source de neutrons, de sorte que l'axe du compteur passe toujours par ce centre. Dans notre expérience, le centre géométrique est placé à 9,4 cm de la cible.

*Résultats.* — La variation de  $N_c/N_\alpha$  en fonction de  $x$  est donnée par la courbe de la figure 20.

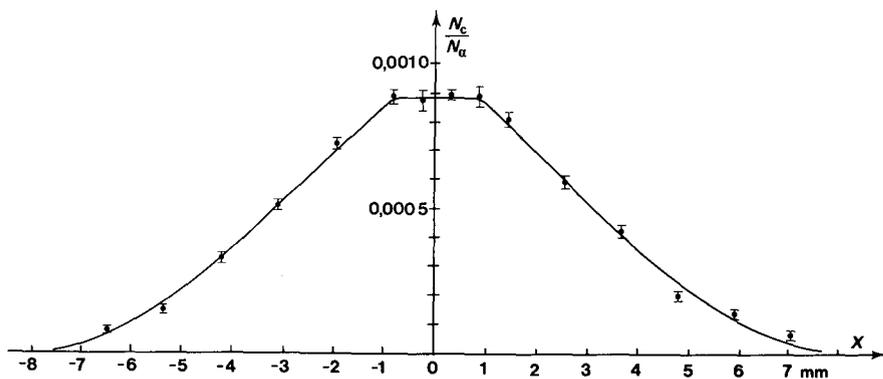


Fig. 20. — Détermination de la sensibilité aux neutrons du compteur Geiger-Müller : variation de  $N_c/N_\alpha$  en fonction de  $x$ .

On en tire, pour la sensibilité du compteur, la valeur

$$(4,65 \pm 0,46) \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

ou, en prenant un facteur de kerma de  $6,63 \times 10^{-11} \text{ Gy.cm}^2$  pour les

neutrons de 14,61 MeV (Rapport ICRU 26), la réponse du compteur est de  $(7,01 \pm 0,70) \times 10^6 \text{ Gy}^{-1}$ .

Il faut souligner que la précision de cette mesure n'était pas très bonne à cause du faible taux de coïncidences et de la contribution importante des coïncidences fortuites.

### *Sensibilité aux photons d'une source étalonnée de $^{60}\text{Co}$*

L'utilisation du compteur Geiger-Müller ayant pour but de séparer les deux composantes de doses absorbées dues respectivement aux neutrons et aux photons dans un champ mixte, il est nécessaire de connaître le rapport des sensibilités du compteur aux neutrons et aux photons; ce rapport est habituellement désigné par  $k_U$ .

Pour cela, nous avons étalonné notre compteur Geiger-Müller dans un faisceau  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  du groupe de mesure des rayons X et  $\gamma$  du BIPM. Le compteur, avec son axe dans une position horizontale, était placé à une distance de 1,12 m de la source. Nous avons obtenu un taux de comptage de  $11\,836 \text{ min}^{-1}$  pour un débit d'exposition de  $6,840 \times 10^{-7} \text{ C}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ . En utilisant un facteur de conversion de  $37,48 \text{ Gy}/(\text{C}/\text{kg})$  pour passer de l'étalonnage en exposition à l'étalonnage en kerma dans le tissu (mesuré au BIPM) pour le  $^{60}\text{Co}$ , la réponse du compteur était alors de  $(461,7 \pm 1,9) \times 10^6 \text{ Gy}^{-1}$ .

Ainsi, le rapport des sensibilités a pour valeur

$$k_U = (7,01 \times 10^6)/(461,70 \times 10^6) = 0,0152 \pm 0,0015.$$

### **12.3 — Instrument de transfert Nb/Zr**

Dans le domaine d'énergie de 13 à 15 MeV, la section efficace de la réaction  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92}\text{Nb}$  est pratiquement constante, tandis que celle de la réaction  $^{90}\text{Zr}(n, 2n)^{89}\text{Zr}$  croît rapidement avec l'énergie des neutrons. Ainsi, en utilisant cette propriété particulière de la variation des sections efficaces, le NPL a mis au point un système niobium/zirconium<sup>(8)</sup> qui permet de déterminer, d'une part l'énergie moyenne  $\bar{E}_n$  des neutrons qui produisent ces réactions, en mesurant le rapport des activités induites dues respectivement au zirconium (rayons  $\gamma$  de 909 keV) et au niobium (rayons  $\gamma$  de 934 keV) et, d'autre part, la fluence de neutrons, en mesurant l'activité induite du niobium.

Étant donné que la période de décroissance des activités induites est relativement longue (10,15 d pour le niobium et 78,4 h pour le zirconium), ce système peut être utilisé comme instrument de transfert. En effet, une fois que l'échantillon de Nb/Zr a été irradié par un laboratoire participant à la comparaison, on peut le renvoyer au NPL (par la poste, dans la limite de sept jours) pour que celui-ci mesure son activité. Puis, à partir de la courbe d'étalonnage du NPL, on peut déduire  $\bar{E}_n$  et la fluence.

<sup>(8)</sup> LEWIS (V. E.) and ZIEBA (K. J.), *Nucl. Inst. and Meth.*, **174**, 1980, p. 141.

A la demande de V.E. Lewis, du NPL, une comparaison de mesures de débit de fluence a eu lieu entre le NPL et le BIPM; l'échantillon de Nb/Zr, placé à une distance de 22,5 cm de la cible, a été irradié avec le faisceau étalonné du BIPM pendant 130 minutes environ. Les résultats sont résumés dans le tableau V (où  $\bar{E}_d$  et  $\bar{E}_n$  désignent respectivement les énergies moyennes pour les deutons incidents et pour les neutrons produits).

TABLEAU V

Résultats de la comparaison NPL-BIPM de mesures de débit de fluence

	NPL	BIPM
$\bar{E}_d$ (keV)	$70 \pm 10$	$90 \pm 10$
$\bar{E}_n$ (MeV)	$14,570 \pm 0,035$	$14,650 \pm 0,050$
Fluence (cm <sup>-2</sup> )	$1,458 \times 10^9$	$(1,461 \pm 0,019) \times 10^9$

Bien qu'il y ait un très bon accord sur la valeur de fluence mesurée, on remarque qu'il y a une différence de 20 keV sur la valeur de  $\bar{E}_d$ . Si l'on admettait une valeur moyenne de  $\bar{E}_d = (80 \pm 10)$  keV, alors  $\bar{E}_n = (14,610 \pm 0,050)$  MeV; la fluence mesurée au NPL serait de  $1,478 \times 10^9$  cm<sup>-2</sup> et celle mesurée au BIPM serait de  $1,441 \times 10^9$  cm<sup>-2</sup>, soit un rapport de 1,025.

### 13. Publications

#### Publications du BIPM

Depuis octobre 1980 ont été publiés :

1° Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, 8<sup>e</sup> session (1979), 52 pages;

Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), 5<sup>e</sup> réunion (1979), 18 pages.

Section II (Mesure des radionucléides), 5<sup>e</sup> réunion (1979), 14 pages.

Section III (Mesures neutroniques), 4<sup>e</sup> réunion (1979), 14 pages.

2° Comité Consultatif des Unités, 7<sup>e</sup> session (1980), 30 pages.

3° Le Système International d'Unités (SI), 4<sup>e</sup> édition (1981), 50 pages.

4° Comité Consultatif de Thermométrie, 13<sup>e</sup> session (1980), 128 pages.

5° Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, tome 48 (69<sup>e</sup> session, octobre 1980), 190 pages.

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

En octobre 1980, à l'arrivée de R. P. Hudson, le BIPM a commencé à remplir son rôle de rédacteur de *Metrologia*. Le dernier numéro dont H. Preston-Thomas a assuré la rédaction (numéro 1 de l'année 1981) est paru

en mars 1981. Maintenant qu'une personne à plein temps s'occupe de la rédaction de cette revue, le délai de publication devrait pouvoir être nettement réduit. Toutefois, l'éditeur, Springer-Verlag, a quelques difficultés avec son imprimeur, ce qui a compromis l'amélioration attendue. Nous avons l'assurance qu'il travaille activement à résoudre ce problème.

*Publications extérieures*

- GIACOMO (P.), News from the BIPM. *Metrologia*, **17**, 1981, pp. 69-74.
- GIACOMO (P.), Le rayonnement électromagnétique. In *La Physique*, 4<sup>e</sup> volume de l'Encyclopédie Scientifique de l'Univers, Paris, 1981, pp. 353-398.
- TERRIEN (J.), Les grandeurs physiques, les systèmes d'unités, les étalons de mesures; l'optique. In *La Physique*, 4<sup>e</sup> volume de l'Encyclopédie Scientifique de l'Univers, Paris, 1981, pp. 7-87 et 197-239.
- QUINN (T. J.), The emissivity of near-blackbody cavities for high-temperature pyrometry. *High Temperatures - High Pressures*, **12**, 1980, pp. 359-372.
- QUINN (T. J.), The absorptivity of a specularly reflecting cone for oblique angles of view. *Infrared Physics*, **21**, 1981, pp. 123-126.
- ALLISY (A.), Stopping Power. In *Proceedings of the Seventh Symposium on Microdosimetry*, J. Booz, H. G. Ebert, H. D. Hartfield, eds, Harwood Academic Publishers Ltd., EUR 7147, 1981, p. 303.
- RYTZ (A.), Activity measurements of a solution of <sup>134</sup>Cs. Report on an international comparison. *Nucl. Instr. and Methods*, **192**, 1982, pp. 427-431.
- MÜLLER (J. W.), Counting statistics of short-lived nuclides. *Journal of Radioanalytical Chemistry*, **61**, 1981, pp. 345-359.
- MÜLLER (J. W.), Les incertitudes de mesures. In *La Physique*, 4<sup>e</sup> volume de l'Encyclopédie Scientifique de l'Univers, Paris, 1981, pp. 11-17.
- MÜLLER (J. W.), Selective sampling - an alternative to coincidence counting. *Nucl. Instr. and Methods*, **189**, 1981, pp. 449-452.
- JUNCAR (P.), PINARD (J.), HAMON (J.) and CHARTIER (A.), Absolute determination of the wavelengths of the sodium D<sub>1</sub> and D<sub>2</sub> lines by using a CW tunable dye laser stabilized on iodine. *Metrologia*, **17**, 1981, pp. 77-79.
- HUDSON (R. P.), Thermometry. *Encyclopedia of Physics*; R. G. Lerner and G. L. Trigg, eds, Addison-Wesley Publishing Co, Reading, Mass., 1981, pp. 1040-1043.
- HUDSON (R. P.), Metrology and fundamental constants : book review. *Metrologia*, **17**, 1981, p. 75.
- GUINOT (B.) and AZOUBIB (J.), Problems of the generation, quality and availability of the International Atomic Time scale. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-29**, 1980, pp. 226-229.
- KOSHELJAEVSKY (N.), OBOUKHOV (A.), TATARENKOV (V.), TITOV (A.), CHARTIER (J.-M.) and FELDER (R.), International comparison of methane stabilized He-Ne lasers. *Metrologia*, **17**, 1981, pp. 3-6.

ZACHARENKO (Y.), KOTKOV (A.), MELNIKOV (N.), CHARTIER (J.-M.) and FELDER (R.), International comparison of He-Ne lasers stabilized on the saturated absorption of 127 iodine at  $\lambda = 633$  nm. *Metrologia*, **17**, 1981, pp. 81-82.

CÉREZ (P.), BRILLET (A.), MAN-PICHOT (C. N.) and FELDER (R.), He-Ne lasers stabilized by saturated absorption in iodine at 612 nm. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-29**, 1980, pp. 352-354.

### Rapports internes

Ces rapports peuvent être fournis sur demande.

— Remarque sur une formule de Ruark et Devol, par J. W. Müller (BIPM WPN-216, octobre 1980, 4 pages).

— Statistiques de comptage, par J. W. Müller (Rapport BIPM-80/7, octobre 1980, 5 pages).

— Deux nouvelles expressions concernant un temps mort cumulatif, par J. W. Müller (BIPM WPN-217, novembre 1980, 5 pages).

— Description d'un dispositif automatique de mesure précise de temps morts, par P. Bréonce (Rapport BIPM-81/1, mars 1981, 13 pages).

— On the influence of the gamma sensitivity of the proportional counter in the selective sampling method, par J. W. Müller (BIPM WPN-218, avril 1981, 4 pages).

— Determination of absorbed dose in a water phantom from the measurement of absorbed dose in a graphite phantom, par M. Boutillon (Rapport BIPM-81/2, avril 1981, 6 pages).

— Dead-time corrections for variable count rates, par J. W. Müller (Rapport BIPM-81/3, août 1981, 8 pages).

— Report on a comparison of activity measurements of a solution of  $^{133}\text{Ba}$ , par A. Rytz (Rapport BIPM-81/4, avril 1981, 5 pages).

— Rapport sur la comparaison des étalons nationaux de résistance électrique de  $1 \Omega$  (novembre 1979 - février 1980), par G. Leclerc (Rapport BIPM-81/5, avril 1981, 7 pages).

— Rapport sur la comparaison internationale des étalons de résistance électrique de  $10^4 \Omega$  (mars 1980), par G. Leclerc (Rapport BIPM-81/6, avril 1981, 2 pages).

— Rapport sur la comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (novembre 1979 - février 1980), par G. Leclerc (Rapport BIPM-81/7, avril 1981, 10 pages).

— Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981) (Rapport BIPM-81/8, octobre 1981 [version révisée du Rapport BIPM-79/10], 19 pages).

## 14. Certificats et Notes d'étude

Du 1<sup>er</sup> octobre 1980 au 30 septembre 1981, 60 Certificats et 5 Notes d'étude ont été délivrés.

### CERTIFICATS

1980

N°		
35.	Thermomètre à résistance de platine N° 232762 .....	Laboratoire de Métrologie Fondamentale, Lingby, Danemark.
36.	Thermomètre à résistance de platine N° 1871480 .....	Office Fédéral de Métrologie, Wabern, Suisse.
37.	Règle de 1 m N° 15566 en acier nickelé (addition) .....	Laboratoire National d'Essais, Paris, France.
38.	Un fil géodésique de 8 m .....	Service des Instruments de Mesure, Paris, France.
39.	Fil géodésique de 20 m N° 351 .....	Id.
40.	Fil géodésique de 24 m N° 1055 (addition)	Id.
41.	Ruban en invar de 20 m SIM-INVAR N° 1 (addition) .....	Id.
42.	Quatre masses en platine de 1 g, 100, 10 et 1 mg .....	Id.
43.	Trois thermocouples platine rhodié/platine G, H et J .....	Van Swinden Laboratorium, Delft, Pays-Bas
44.	Deux étalons de 1 Ω N° <sup>OS</sup> 000710 et 000922 .	Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad, U.R.S.S.
45.	Cinq étalons de force électromotrice N° <sup>OS</sup> 6559, 6561, 6565, 6572 et 6619 .....	Id.

1981

1.	Règle de 1 m N° 0112-77 en acier au nickel	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
2.	Règle de 1 m N° 16775 en acier nickelé ...	Central Organization for Standardization and Quality Control, Bagdad, Irak.
3.	Dix étalons secondaires d'intensité lumineuse : (2042 K) N° <sup>OS</sup> 101 à 105, (2353 K) N° <sup>OS</sup> 121 à 125 (addition) .....	Service de la Métrologie, Bruxelles, Belgique.
4.	Huit étalons secondaires de flux lumineux : (2353 K) N° <sup>OS</sup> 11, 12, 14 et 15, (2787 K) N° <sup>OS</sup> 30, 33, 36 et 37 (addition)	Id.

1981 (suite)

N°

5. Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2042 K) N°s 2491 et 2638 (addition) .....	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
6. Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2353 K) N°s 2493 et 2521 (addition) .....	Id.
7. Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N°s 131 et 2339 (addition) .....	Id.
8. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2353 K) N°s 5 et 8 (addition) .....	Id.
9. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N°s A10 et A16 (addition) .....	Id.
10. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N°s B10 et B16 (addition) .....	Id.
11. Quatre étalons secondaires de température de couleur N°s 1619, 2632, 2358 et 155 (addition) .....	Id.
12. Règle de 0,2 m N° 19903 en acier nickélé .	Central Organization for Standardization and Quality Control, Bagdad, Irak.
13. Deux étalons de 1 Ω N°s 1870791 et 1870794	Service de la Métrologie, Bruxelles, Belgique.
14. Règle de 0,5 m N° 427/69 en acier au nickel .....	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba, Japon.
15. Etalon de masse de 1 kg N° 13 en acier inoxydable .....	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, R.D.A.
16. Etalon de masse de 1 kg N° 42 en acier inoxydable "Nical D" (addition) .....	Laboratoire National de Physique, Jérusalem, Israël.
17. Etalon de masse de 1 kg en acier inoxydable .....	Office Fédéral de Métrologie, Wabern, Suisse.
18. Etalon de masse de 100 g en acier inoxydable .....	Id.
19. Etalon de masse de 10 g en acier inoxydable .....	Id.
20. Six étalons de force électromotrice N°s 30128, 30137, 30143, 30164, 30205 et 30127 .....	Service de la Métrologie, Bruxelles, Belgique.
21. Deux fils géodésiques de 24 m N°s 123 et 124 (addition) .....	Brigade Topographique Nationale du Cadastre, Paris, France.
22. Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2353 K) N°s HA 1004B à HA 1008B .....	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakosci, Warszawa, Pologne.
23. Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N°s SB 20490 à SB 20494 .....	Id.

1981 (suite)

N°		
24.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux (2353 K) N <sup>OS</sup> TA 1415B à TA 1419B .....	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakosci, Warszawa, Pologne.
25.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N <sup>OS</sup> TA 21531C à TA 21535C .....	Id.
26.	Règle de 1 m N° 4795 en acier au nickel (addition) .....	Id.
27.	Etalon de 1000 Ω N° 108984 (addition) ....	Comité d'Etat de Normalisation, Sofia, Bulgarie.
28.	Etalon de 1000 Ω N° 108936 .....	Id.
29.	Etalon de 1000 Ω N° 109041 .....	Id.
30.	Etalon de 10 000 Ω N° 148531 (addition) ..	Id.
31.	Etalon de 10 000 Ω N° 114764 (addition) ..	Id.
32.	Etalon de 10 000 Ω N° 114789 .....	Id.
33.	Deux étalons de 100 000 Ω N <sup>OS</sup> 125654 et 129368 (addition) .....	Id.
34.	Etalon de 100 000 Ω N° 126179 .....	Id.
35.	Quatre étalons de force électromotrice N <sup>OS</sup> 453093A (addition) et K310 à K312 ...	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
36.	Trois étalons de 1 Ω N <sup>OS</sup> 1679692, 1681958 et 1684330 (addition) .....	National Institute for Standards, Le Caire, Egypte.
37.	Deux étalons de 1 Ω N <sup>OS</sup> 1698308 et 1698309	Id.
38.	Etalon secondaire d'intensité lumineuse (2042 K) N° 2630 (addition) .....	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
39.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N <sup>OS</sup> 2381 et 2383 (addition) .....	Id.
40.	Règle de 1 m N° 0114-77 en acier au nickel	Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
41.	Etalon de 1 Ω N° 017112 .....	Institut National de Métrologie, Bucarest, Roumanie.
42.	Etalon de 10 000 Ω N° 028041 (addition) ..	Id.
43.	Etalon de 10 000 Ω N° 028014 .....	Id.
44.	Deux étalons de 0,01 Ω N <sup>OS</sup> 011373 et 057236 .....	Id.
45.	Dix étalons de force électromotrice N <sup>OS</sup> 36366, 36427, 36493, 36496, 36498, 36507, 36519, 36521, 36974 et 37022 .....	National Institute for Standards, Le Caire, Egypte.
46.	Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K) N <sup>OS</sup> 650-3472, 666-3473, 695-3476 (addition) et 655 ....	Statens Provningsanstalt, Stockholm, Suède.
47.	Quatre étalons secondaires de flux lumineux (2353 K) N <sup>OS</sup> F2 et F3 , (2787 K) N <sup>OS</sup> H2 et H3 (addition) .....	Id.

1981 (suite)

N°

- |   |  |
|---|--|
| 48. Deux étalons secondaires de flux<br>lumineux (2787 K) N°s 3463 et 2<br>(addition) ..... | Statens Provvningsanstalt, Stockholm,<br>Suède.  |
| 49. Neuf calibres de 5, 15, 25, 40, 50, 60,<br>75, 90 et 100 mm en acier (addition) ....    | Office Fédéral de Métrologie, Wabern,<br>Suisse. |

NOTES D'ETUDE

1980

- |   |  |
|---|--|
| 2. Thermocouple platine rhodié/platine<br>N° 1-74 ..... | Office National des Mesures, Budapest,<br>Hongrie. |
|---|--|

1981

- |   |   |
|---|---|
| 1. Série de masses de 1 kg à 1 g N° 32 en<br>laiton nickelé .....                                 | Amt für Standardisierung, Messwesen und<br>Warenprüfung, Berlin, R.D.A. |
| 2. Quatre étalons de force électromotrice<br>N°s 33317, 33307, 33289 et 33288<br>(addition) ..... | Service de la Métrologie, Bruxelles,<br>Belgique.                       |
| 3. Etalon de 25 $\Omega$ N° 234451 .....  | Id.   |
| 4. Etalon de 1 $\Omega$ N° 017204 (addition) .....  | Institut National de Métrologie,<br>Bucarest, Roumanie                  |

#### IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

##### Documentation; Système International d'Unités

Les demandes de renseignements adressées au BIPM sur les unités, les étalons de mesure, etc., sont toujours aussi nombreuses.

La 4<sup>e</sup> édition de la brochure du BIPM « Le Système International d'unités (SI) » est parue en avril 1981. Elle tient compte des résolutions adoptées par la CGPM en 1979 et des décisions prises par le CCU en mai 1980 et par le CIPM en octobre 1980.

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

La participation du BIPM aux travaux de diverses organisations scientifiques, techniques et de normalisation est toujours aussi active : Organisation Internationale de Normalisation (ISO), Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (Commission SUN-AMCO), Union

Internationale de Chimie Pure et Appliquée, Association Internationale des Sciences Physiques de l'Océan, Association Française de Normalisation, Committee on Data for Science and Technology (CODATA), Confédération Internationale de la Mesure (IMEKO-TC8), International Committee for Radionuclide Metrology, International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU).

En particulier, à l'occasion de l'étude d'un vocabulaire de métrologie fondamentale, le BIPM entretient des relations suivies avec l'ISO, l'OIML et la Commission Électrotechnique Internationale.

P. Giacomo et A. Allisy participent régulièrement aux réunions du Comité de direction ou de divers Groupes de travail du Bureau National de Métrologie français et T. J. Quinn au Conseil Scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti.

Dans le cadre des travaux de la Commission Internationale de l'Éclairage, J. Terrien, directeur honoraire, et H. Moreau, métrologue honoraire, poursuivent l'important travail de préparation de la 4<sup>e</sup> édition du Vocabulaire International de l'Éclairage.

A. Allisy et M.-T. Niatel ont participé du 18 au 20 mars 1981, au Pavillon de Breteuil, aux travaux du comité ICRU qui prépare un rapport intitulé : « The use of calibrated ionization chambers for the determination of absorbed dose to water for photon and electron beams with maximum energies between 1 and 50 MeV ».

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

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

La « Second International Conference on Precision Measurement and Fundamental Constants » qui a eu lieu au NBS, à Washington, du 8 au 12 juin 1981, revêtait une importance toute particulière pour le BIPM. Une délégation relativement importante y a pris part, composée de P. Giacomo, T. J. Quinn, A. Sakuma, J. W. Müller, R. P. Hudson, T. Witt et G. Girard. Quatre contributions y ont été présentées :

- « A radiometric determination of the Stefan-Boltzmann constant », par T. J. Quinn, avec J. Martin, du NPL ;
- « Present status of the absolute measurement of gravitational acceleration », par A. Sakuma ;
- « The assignment of uncertainties to the results of experimental measurements », par J. W. Müller ;
- Influence des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau (exposé sous forme d'affiches), par G. Girard.

P. Giacomo a présidé l'une des journées. Il a ensuite participé avec T. J. Quinn, le 13 juin, à une réunion du Groupe de travail « Constantes fondamentales » de CODATA.

A l'occasion de cette conférence, une réunion improvisée des spécialistes des masses a été organisée par T. J. Quinn ; elle a donné lieu à des échanges de vues très fructueux.

Profitant de leur séjour à Washington, T. Witt a visité les laboratoires d'électricité du NBS et R. P. Hudson a participé, du 15 au 18 juin, aux « International Joint Conferences on Thermophysical Properties ».

P. Giacomo s'est en outre rendu :

— à Bratislava <sup>+</sup>, puis à Prague, du 28 octobre au 1<sup>er</sup> novembre 1980 ; il a donné une conférence au Symposium INSYMET 80 sur « Le rôle du BIPM » ; il en a profité pour visiter les laboratoires du CSMU à Bratislava et à Prague ;

— à Paris, les 14 et 15 novembre 1980, où il a participé avec A. Allisy à la réunion organisée par la World Association of Societies of Pathology (Commission on World Standards) sur « Grandeurs et unités en médecine » ;

— encore à Paris, du 24 au 26 novembre 1980, au colloque « Métrologie et mesures biomédicales », où il a donné une conférence sur l'« État présent de la métrologie » ;

— à Turin, les 8 et 9 janvier 1981, où il a visité les laboratoires de l'IMGC et de l'IEN, et où il a discuté avec plusieurs personnalités des problèmes d'intérêt commun à ces laboratoires et au BIPM ;

— à Namur <sup>++</sup>, le 19 mars 1981, où il a donné une conférence sur « L'évolution moderne de la métrologie » ;

— à Budapest, le 24 mars 1981, où il a représenté notre organisation aux obsèques de P. Honti et visité le laboratoire national hongrois ;

— à Heidelberg <sup>+</sup>, du 6 au 10 avril 1981, où il a présenté à l'« European Conference on Atomic Physics » une conférence sur « La physique atomique et moléculaire au service de la métrologie » ;

T. J. Quinn s'est rendu :

— à Ottawa <sup>++</sup>, du 4 au 7 novembre 1980, pour assister au NRC à une réunion du « *ad hoc* Review Committee on Heat and Thermometry » ;

— à Amsterdam <sup>+</sup>, du 19 au 20 février 1981, où il a fait une conférence intitulée « An experimental measurement of the Stefan-Boltzmann constant » à l'Institut de Physique Théorique ;

— à Reading, le 20 février 1981, pour visiter The European Centre for Medium Range Weather Forecasts et y discuter de questions concernant les règlements financiers des organisations internationales ;

— au NPL, Teddington, les 23 et 24 février 1981, avec H. H. Jensen pour discuter des conditions dans lesquelles la source de neutrons du NPL pourrait être utilisée pour une comparaison internationale de dosimètres ;

— à la PTB, du 8 au 11 mars 1981 ; il a visité, à Braunschweig, la section des neutrons et celle où une mesure de la constante d'Avogadro est en cours, et à Berlin la section de pyrométrie optique ;

— au NPL, Teddington, le 23 avril, où il a fait une conférence intitulée « The scientific work of the BIPM » ;

- à l'Université de Virginie, à Charlottesville, le 5 juin 1981, où il a visité le Département de Physique, où G. Gillies, récemment recruté pour la section d'électricité du BIPM, a travaillé sur les « rotors de précision »;
- à Beijing <sup>+</sup>, du 8 au 22 juillet 1981, pour visiter les laboratoires du NIM et faire des conférences sur le thème « Thermométrie »;
- à Turin <sup>++</sup>, trois fois, pour participer au Conseil scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti;
- au NPL, plusieurs fois, pour la poursuite de son expérience en cours sur la mesure des températures thermodynamiques et de la constante de Stefan-Boltzmann.

A. Allisy a participé aux réunions suivantes :

- du 13 au 15 octobre 1980 <sup>++</sup>, European seminar on radiation protection quantities for external exposure, à la PTB, Braunschweig. Cette réunion était organisée conjointement par Euratom, la GSF (Munich), la PTB et l'Université de Göttingen. Il a été invité à y faire une conférence intitulée « Discussion of fundamental dosimetric quantities »;
- du 15 au 23 juin 1981 <sup>++</sup>, réunion de la Main Commission de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), à Bruxelles. A cette occasion, il a été réélu vice-président de la Commission pour une période de quatre ans.

A. Rytz et J. W. Müller se sont rendus, du 24 au 28 octobre 1980, en Belgique où ils ont visité le laboratoire de spectrométrie nucléaire et mesures absolues du Centre d'Études Nucléaires à Mol et le Bureau Central de Mesures Nucléaires à Geel.

Sur invitation de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, A. Rytz s'est rendu, du 25 au 27 novembre 1980 <sup>++</sup>, au siège de l'Agence à Vienne (Autriche) pour tracer l'épure d'un projet de manuel concernant les mesures d'activité. Il a aussi pris contact avec Mr E. Kerö, du laboratoire de Seibersdorf.

Du 11 au 15 mai 1981, il a participé à la réunion annuelle de l'International Committee for Radionuclide Metrology qui s'est tenue à Varsovie.

P. Carré, J. Hamon, J.-M. Chartier et R. Felder ont participé, les 3, 4 et 5 mars 1981, aux journées de métrologie dimensionnelle, organisées par le BNM à Paris, et aux visites du LNE, de l'INM et de l'ETCA.

A. Sakuma s'est rendu :

- du 27 au 30 octobre 1980 à l'IMGC, Turin, et à l'Université de Trieste en vue d'échanger des informations sur la gravimétrie et la mesure de  $g$ ;
- du 16 février au 5 mars 1981 à l'Air Force Geophysical Laboratory (Mass.), au JILA (Boulder), au GSI, à l'ETL et au NRLM (Tsukuba), à l'ILO (Mizusawa) et aux Éts Nikon (Tokyo);
- du 10 au 12 mars 1981 à Luxembourg et au Centre International des Marées Terrestres, Bruxelles, pour des entretiens techniques sur la marée

gravimétrique. Il a présenté un exposé sur la gravimétrie à la réunion des Journées Géodynamiques Européennes, Luxembourg, le 11 mars 1981.

J. W. Müller, sur invitation du BCMN, a présenté le 25 novembre 1980<sup>++</sup> à Geel (Belgique) une conférence intitulée « Statistics of nuclear decay ». Le 29 janvier 1981<sup>++</sup>, il a fait un exposé à l'Institut d'électrochimie et radiochimie de l'EPFL, à Lausanne (Suisse) sur la « Déformation de la loi de Poisson pour une source radioactive décroissante ».

Le 22 juillet 1981<sup>++</sup>, il est allé de nouveau à l'EPFL pour faire partie du jury pour l'examen oral d'une thèse de doctorat portant sur des « Effets d'empilement d'impulsions dans les mesures de radioactivité par coïncidences ».

J. Bonhore a participé, du 25 au 29 mai 1981, au Symposium on Light and Radiation Measurement 81, ainsi qu'aux réunions du TC-1.2 (Photométrie et Radiométrie) et du TC-2.2 (Détecteurs) de la Commission Internationale de l'Éclairage, organisés à Hajduszoboszlo (Hongrie).

Accompagné de R. Pello, il s'est rendu au Centre d'Essais en Vol de Brétigny (France), du 11 au 22 juin 1981, pour effectuer une comparaison de manobaromètres interférentiels.

R. P. Hudson s'est rendu :

— à Amsterdam, du 13 au 17 octobre 1980, pour participer à la « Second International Conference of Science Editors »;

— à Heidelberg, le 2 avril 1981, pour discuter des affaires de *Metrologia* avec les éditeurs, Springer-Verlag, et pour visiter leur imprimerie (à Wiesbaden);

— à Karlsruhe, le 3 avril 1981, pour participer à une réunion de la Commission A1/2 de l'Institut International du Froid;

— à Los Angeles, du 19 au 26 août 1981, pour participer à la 16th International Conference on Low Temperature Physics et au 11th Fritz London Memorial Award Committee.

V. D. Huynh s'est rendu, du 31 mai au 6 juin 1981, à Munich pour assister au « Fourth Symposium on Neutron Dosimetry ».

J.-M. Chartier a accompagné T. J. Quinn à l'IMGC (Turin)<sup>++</sup> les 25 et 26 novembre 1980; ils ont participé à une réunion de travail organisée pour définir une nouvelle technique très précise de mesure de déplacements à l'aide de lasers, nécessaire pour la détermination de la maille réticulaire du silicium.

Accompagné de M. Gläser, il s'est rendu au NPL (Teddington) les 23 et 24 février 1981; ils ont rapporté au NPL quatre cuves à iode qui avaient été contrôlées au BIPM et laissé quatre autres cuves appartenant au BIPM; ils ont discuté avec W. R. C. Rowley des résultats obtenus avec ces cuves au BIPM et ont visité diverses sections.

M. Gläser s'est rendu à la PTB (Braunschweig) du 1<sup>er</sup> au 3 avril 1981 ; il s'est entretenu avec J. Helmcke sur des expériences utilisant les franges optiques de Ramsey et sur la stabilisation des lasers à He-Ne à  $\lambda = 612$  nm, à cuve d'absorption externe ; il a aussi évoqué, avec F. Spieweck, certains problèmes concernant les lasers à argon asservis sur l'iode.

Du 6 au 10 avril 1981, il a participé à l'« European Conference on Atomic Physics », à Heidelberg (Rép. Féd. d'Allemagne).

Avec R. Felder, il a assisté, du 26 juillet au 7 août 1981, à un cours : « Advances in laser spectroscopy » à San Miniato (Italie).

R. Felder a suivi un cours sur les lasers les 25, 26 et 27 mai 1981 à l'IUT d'Orsay.

J. Azoubib s'est rendu à la station de télécommunication de Pleumeur-Bodou (France) <sup>++</sup> les 4 et 5 février 1981 pour effectuer une comparaison de temps par transport d'horloge.

R. Pello s'est rendu, le 16 et le 17 octobre 1980, à Bruxelles pour visiter le Service de la Métrologie et à Delft pour visiter le Van Swinden Laboratorium.

Le 9 juin 1981, à Wembley (Grande-Bretagne), il s'est entretenu avec divers exposants de l'exposition Tempcon/Transducer 81.

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

- par J. W. Müller, le 18 février 1981 : « Comment exprimer l'incertitude d'un résultat de mesure ? » ;
- par T. J. Quinn, le 18 mars 1981 : Sur la mesure de la constante de Stefan-Boltzmann ;
- par G. Girard, le 13 mai 1981 : Sur l'influence des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau ;
- par A. Sakuma, le 17 juin 1981 : Sur la mesure de  $g$  ;
- par J. Bonhoure, J. Hostache et P. Carré, le 1<sup>er</sup> juillet 1981 : « Automatisation des mesures pyrométriques et de leur traitement » ;
- par T. Witt, le 16 septembre 1981 : Sur l'effet Hall quantifié (effet von Klitzing).

### Visites et stages au BIPM

Plusieurs visites ont été organisées pour des experts en métrologie ou en contrôle de la qualité (six vérificateurs des poids et mesures du canton de Vaud, Suisse, le 3 octobre 1980 ; quatre personnalités vietnamiennes, le 17 octobre 1980 ; trois spécialistes soviétiques, le 11 juin 1981), pour des étudiants (École Supérieure de Métrologie, Paris, le 16 juin 1980) ou à l'occasion de congrès (environ dix participants à la réunion sur les grandeurs et les unités en médecine, le 14 novembre 1980).

Mlle M.-T. Niatel et Mme M. Boutillon (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Paris) et Mme A.-M. Perroche (Service Central

de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Paris) poursuivent leur participation au travail de la section des rayonnements ionisants (rayons X et  $\gamma$ , électrons).

Du 18 novembre au 18 décembre 1980, MM. V. P. Chigorine et O. M. Pavlov, de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, ont installé au BIPM le pont de comparaison pour résistances de valeurs élevées et le potentiomètre construits par leur laboratoire pour le BIPM.

Mlle B. Kalinowska, professeur-adjoint à l'École Polytechnique de Varsovie, a effectué un stage du 20 février au 17 juin 1981 à la section des longueurs (mesures d'étalons à traits et de fils géodésiques, participation à des comparaisons de lasers) et à la section de gravimétrie.

Mr K. R. Ennow, National Institute of Radiation Hygiene (Danemark), est venu du 29 septembre au 3 octobre 1980 pour participer à l'étalonnage de trois chambres d'ionisation de son laboratoire (rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ ).

Mr A. Tejera, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Mexico, est venu au laboratoire de mesure des radionucléides, du 29 septembre au 3 octobre 1980, pour s'informer sur les progrès récents et les comparaisons futures.

Mr K. Chandra, Directeur-Adjoint du National Physical Laboratory of India, a fait une visite générale du BIPM le 24 octobre 1980.

MM. S. Wagner et H. Reich (PTB), R. Loevinger (NBS) et G. H. Hofmeister (RIV) sont venus, le 31 octobre 1980, discuter du choix de la grandeur destinée à remplacer l'exposition pour l'étalonnage des chambres d'ionisation.

MM. J. J. Broerse et J. Zoetelief (Radiobiological Institute TNO, Rijswijk) et B. J. Mijnheer (Amsterdam) sont venus le 31 octobre 1980 discuter de la détermination de la dose absorbée et du kerma dans un champ de neutrons. Ils ont également visité le laboratoire de mesures neutroniques.

En novembre 1980, Mme P. Ilie, de l'Institut National de Métrologie de la Roumanie, a fait un stage de quelques jours dans la section d'électricité. Elle s'est particulièrement intéressée à l'utilisation de l'effet Josephson pour constituer un étalon de tension et à la construction d'enceintes thermorégulées pour la conservation des piles.

Mr A. Leitner, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Autriche), a participé, du 3 au 7 novembre 1980, à la comparaison de l'étalon d'exposition de son laboratoire avec celui du BIPM (rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ ).

Mr J.-S. Jun (Corée) a visité le laboratoire de mesure des radionucléides, le 4 novembre 1980, pour discuter des problèmes concernant l'envoi de sources et la participation aux comparaisons; il a également visité le laboratoire de mesures neutroniques.

Mr G. Gillies, Université de Virginie, a séjourné quelques jours au BIPM et visité diverses sections. Le 19 novembre 1980, il a présenté un exposé intitulé: « An experimental search for spontaneous matter creation ».

Dans le cadre de la comparaison de dosimètres chimiques pour la mesure de la dose absorbée dans l'eau, MM. K. A. Johansson (Gothenburg, Suède) et M. Schneider (PTB) sont venus, respectivement les 24 et 25 novembre 1980, et du 4 au 6 février 1981, apporter leurs dosimètres à irradier. Mr J. H. Barrett (NPL) est venu les 11 et 12 mai 1981 discuter des résultats de cette comparaison.

Mr C. Ballaux, du Centre d'Études Nucléaires (Mol, Belgique), a visité, du 16 au 18 février 1981, les laboratoires de la section des rayonnements ionisants.

Mr P. Brun (SCPRI) est venu, le 17 février 1981, utiliser le faisceau étalonné de neutrons de 14,68 MeV du BIPM pour irradier des échantillons de soufre.

Profitant de son passage au BIPM à l'occasion du transport d'étalons électriques, les 11 et 12 mars 1981, Mme Nadia Nassif, du National Institute for Standards d'Égypte, a discuté des problèmes de réalisation, de conservation et de mesure des étalons de résistance et de force électromotrice.

Mr Archbold (NPL), les 16 et 17 mars 1981, a apporté deux ébauches d'étalons de masse en vue de leur polissage et ajustage par le BIPM.

Mr J. Cisak, Institut de Géodésie et Cartographie, Varsovie, a apporté le 2 mai 1981 la règle N° 4795 qu'il a reprise le 15 mai. Il a assisté à quelques mesures de cette règle et, avec Mme M. Cisak, du même Institut, il a visité la plupart de nos sections.

Mr C. Pickup, du CSIRO (Division of Applied Physics) d'Australie, a visité la section d'électricité, le 7 mai 1981, et s'est spécialement intéressé aux problèmes de régulation de la température.

Mr F. Hengstberger (NPRL, Pretoria) a effectué la mise en service du radiomètre absolu offert par son laboratoire, les 11 et 12 mai 1981.

Mr Bölöni, Office National des Mesures, Budapest, a apporté, le 15 mai 1981, la règle N° 0114-77 et s'est intéressé au laser asservi sur l'iode mis au point au BIPM et construit par les Éts Jaeger.

Mr P. B. Coates (NPL, Teddington) a séjourné quelques jours au BIPM et présenté, le 17 juin 1981, un exposé intitulé : « An introduction to experimental control with the IEC bus ».

Mr F. Spieweck (PTB) a apporté au BIPM un laser à argon ionisé asservi sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe ; il a assuré la mise en service de ce laser du 7 au 9 septembre 1981.

Nous maintenons des relations régulières avec Mr P. Cérez et Mme Man-Pichot (LHA, Orsay), MM. P. Bouchareine (INM, Paris), A. Michel (ETCA, Paris), P. Juncar (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay), pour ce qui concerne nos études sur les lasers, et avec MM. Dutitre, Gain et Colas (Éts Jaeger, Levallois), principalement au sujet du gravimètre absolu transportable en cours de mise au point.

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

— Mr Toffin (LNE, Paris), le 2 octobre 1980 (longueurs) ;

- MM. S. Sartori (IMGC, Turin) et Koch (Office Fédéral de Métrologie, Berne), le 22 octobre 1980 (lasers);
- MM. Lake (NPRL, Pretoria) et William (NPL, Teddington), le 24 octobre 1980 (lasers);
- Mr V. E. Lewis (NPL, Teddington), le 29 octobre 1980 (mesures neutroniques et discussion sur des problèmes de mesures et de comparaisons dans ce domaine);
- MM. A. Fukuda (ETL, Tokyo) et S. Harasawa (Rikkio University Institute for Atomic Energy, Yokosuka), le 30 octobre 1980 (mesures neutroniques);
- Mr C. Deckers (Service de Métrologie Belge), le 9 décembre 1980 (longueurs, interférométrie, masses);
- Mme E. Moldoveanu (Institut de Métrologie, Bucarest), le 21 novembre 1980 (masses, masse volumique de l'air humide);
- Mr le Prof. Rich (Université du Michigan), le 25 février 1981 (électricité);
- Mr I. W. Goodier (BCR, Bruxelles), le 26 février 1981 (discussion avec J. W. Müller de l'analyse d'une comparaison);
- Mr Kovack (Hongrie), le 6 mars 1981 (longueurs, interférométrie);
- MM. Kochsiek et Balhorn (PTB), le 26 mars 1981 (échange de vues sur les mesures de masse; mesure du volume d'un cube en « Zerodur » et d'un cylindre en silicium);
- Mr F. Bayer-Helms (PTB, Braunschweig), le 27 avril 1981 (lasers);
- Mr P. Riéty et trois membres de l'INM (Paris), le 29 avril 1981 (déterminations de volumes par la méthode hydrostatique);
- Mr Pekka Karp (Finlande), le 18 mai 1981 (longueurs, lasers, masses, échange de vues sur l'installation d'un laboratoire de métrologie);
- Mr T. E. Burlin (Polytechnic of Central London), le 20 mai 1981 (laboratoire des rayons X et  $\gamma$ , mesure de dose absorbée);
- Mr N. S. Chung (Korea Standards Research Institute), le 25 mai 1981 (longueurs);
- MM. J. Lowke et G. Sloggett (Division of Applied Physics, CSIRO, Australie), le 7 juillet 1981 (discussions sur les piles étalons et les enceintes thermorégulées, visite d'ensemble du BIPM);
- Mr W. H. Steel (CSIRO, Australie), le 17 septembre 1981 (lasers).

## V. — COMPTES

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le « Rapport Annuel sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures » relatif à l'exercice 1980.

### Compte I. — Fonds ordinaires

#### RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1980 .....		7 857 492,58
Recettes budgétaires .....	8 468 714,50	} 8 627 614,50
Prélèvement sur le compte		
« Remboursement aux États » .....	158 900,00	
Total .....		<u>16 485 107,08</u>

#### DÉPENSES

		francs-or
Dépenses budgétaires .....	8 168 375,11	} 8 665 605,90
Différences de change .....	497 230,79	
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1980 .....		<u>7 819 501,18</u>
Total .....		<u>16 485 107,08</u>

#### DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :

		francs-or
au titre de l'exercice 1980 .....	6 908 694	} 7 446 500,00
au titre des exercices antérieurs .....	320 449	
au titre de l'exercice 1981 .....	217 357	
Intérêts des fonds .....		698 984,65
Taxes de vérification .....		19 448,87
Remboursement des taxes sur les achats .....		250 527,29
Recettes diverses .....		53 253,69
Total .....		<u>8 468 714,50</u>

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements .....	3 721 652,02	3 800 000	78 347,98	—
2. Allocations familiales .....	236 599,21	255 000	18 400,79	—
3. Sécurité Sociale .....	261 720,45	250 000	—	11 720,45
4. Assurance-accidents .....	36 929,88	40 000	3 070,12	—
5. Caisse de Retraites (*) .....	700 000,00	700 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier .....	34 998,55	50 000	15 001,45	—
2. Laboratoires et Ateliers .....	630 282,49	670 000	39 717,51	—
3. Chauffage, eau, énergie électrique ..	184 609,89	180 000	—	4 609,89
4. Assurances .....	19 837,69	25 000	5 162,31	—
5. Impressions et publications .....	83 062,61	75 000	—	8 062,61
6. Frais de bureau .....	102 036,59	110 000	7 963,41	—
7. Voyages et transports d'appareils ..	50 756,33	160 000	109 243,67	—
8. Bureau du Comité .....	13 333,34	20 000	6 666,66	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires .....	965 682,26	900 000	—	65 682,26
2. Atelier de mécanique .....	180 572,70	90 000	—	90 572,70
3. Atelier d'électronique .....	23 300,89	10 000	—	13 300,89
4. Bibliothèque .....	50 402,82	30 000	—	20 402,82
5. Bâtiments (entretien et réparations) (*)	740 785,04	750 000	9 214,96	—
<i>D. Frais divers : (*)</i>				
	131 812,35	250 000	118 187,65	—
<i>E. Utilisation de monnaies non convertibles .....</i>				
	—	50 000	50 000,00	—
<b>Totaux .....</b>	<b>8 168 375,11</b>	<b>8 415 000</b>	<b>460 976,51</b>	<b>214 351,62</b>

(\*) virement au compte II

(\*) dont virement de 300 000 F-O au compte V

(\*) dont virement de 8 000 F-O au compte IV

### Compte II. — Caisse de retraites

#### RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1980 .....	2 079 024,14
Intérêts des fonds .....	201 184,49
Retenues sur les traitements .....	196 776,24
Virement du Compte I .....	700 000,00
Total .....	<u>3 176 984,87</u>

#### DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies .....	577 934,76
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1980 .....	2 599 050,11
Total .....	<u>3 176 984,87</u>

### Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique

Ce compte n'a enregistré en 1980 aucun mouvement en recettes ou dépenses. Comme au 1<sup>er</sup> janvier 1980, il se présente ainsi :

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1980 .....	<u>441 792,00</u>

### Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

#### RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1980 .....	10 046,58 }	73 011,41
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 1980 .....	62 964,83 }	
Créances nouvelles en cours d'année .....		58 968,77
Virement du Compte I .....		8 000,00
Amortissements partiels des prêts :		
Capital .....	60 117,12 }	62 117,38
Intérêts .....	2 000,26 }	
Total .....		<u>202 097,56</u>

#### DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis .....		58 968,77
Créances amorties en cours d'année .....		60 117,12
Créances au 31 décembre 1980 .....	61 816,48 }	83 011,67
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1980 .....	21 195,19 }	
Total .....		<u>202 097,56</u>

### Compte V. — Réserve pour les bâtiments

Ce compte a été créé en 1980, en vue de la réfection et de l'agrandissement du bâtiment dit « Menuiserie », par virement, du Compte I, des excédents du chapitre « Bâtiments » en 1980. Il se présente ainsi :

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1980 .....	<u>300 000,00</u>

**BILAN**

AU 31 DÉCEMBRE 1980

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	7 819 501,18
Compte II « Caisse de retraites » .....	2 599 050,11
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » .....	441 792,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	83 011,67
Compte V « Réserve pour les bâtiments » .....	<u>300 000,00</u>

ACTIF NET ..... 11 243 354,96

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FO = 1,814 52 FF) .....	2 070 475,80
2° En monnaie U.S.A. (1 FO = 0,394 106 \$) .....	4 082 492,24
3° En monnaie suisse (1 FO = 1,334 248 FS) .....	2 334 663,89
4° En monnaie britannique (1 FO = 0,173 406 64 £) .....	117 290,72
5° En monnaie allemande (1 FO = 1,051 881 207 DM) .....	2 544 698,64
6° En monnaie hongroise (1 FO = 9,800 250 Ft) .....	11 069,28
7° En monnaie polonaise (1 FO = 13,005 498 Zl) .....	59 287,30
b. Espèces en caisse .....	16 472,61
c. Créances de la Caisse de prêts sociaux .....	<u>61 816,48</u>
Total .....	11 298 266,96

A déduire :

Provision pour remboursements aux États <sup>(*)</sup> .....	<u>54 912,00</u>
ACTIF NET .....	<u>11 243 354,96</u>

(\*) *Compte « Remboursements aux États ».* — Ce compte, créditeur de 213 812 francs-or au 31 décembre 1979, a été débité de 158 900 francs-or, montant des remboursements effectués en 1980 au titre des avances sur les contributions de l'Uruguay (de 1966 à 1978).



---

RAPPORT  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF  
POUR LA DÉFINITION DE LA SECONDE

(9<sup>e</sup> Session — 1980)

AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par M. GRANVEAUD, Rapporteur

---

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) a tenu sa 9<sup>e</sup> session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, au cours de six séances, les mardi 23, mercredi 24 et jeudi 25 septembre 1980.

Étaient présents :

B. GUINOT, membre du CIPM, président du CCDS.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],  
Berlin (M. KALAU).

Bureau International de l'Heure [BIH], Paris (M. GRANVEAUD).

Bureau des Longitudes, Paris (J. KOVALEVSKY).

Commission Nationale de l'Heure [CNH], Paris (J. RUTMAN).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (C. C. COSTAIN).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Torino  
(S. LESCHIUTTA).

Laboratoire de l'Horloge Atomique [LHA] du CNRS, Université de  
Paris-Sud, Orsay (C. AUDOIN).

Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères [LSRH], Neuchâtel  
(Ch. MENOUD).

National Bureau of Standards [NBS], Boulder (J. A. BARNES,  
D. W. ALLAN).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (J. McA. STEELE).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig  
(G. BECKER, K. DORENWENDT).

Radio Research Laboratories [RRL], Tokyo (M. KOBAYASHI).

Royal Greenwich Observatory [RGO], Hailsham (J. D. H. PILKINGTON).

Union Astronomique Internationale [UAI], (W. MARKOWITZ).

U.S. Naval Observatory [USNO], Washington (G. M. R. WINKLER).

L'un des membres nominativement désignés :

A. ORTE, Directeur de l'Instituto y Observatorio de Marina [OMSF]  
San Fernando, accompagné de J. BENAVENTE (OMSF).

Le Directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités :

MA Feng-Ming, Institut National de Métrologie [NIM], Beijing.

R. KAARLS, Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft.

H. M. SMITH, Président du Comité de Direction du BIH.

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, Directeur honoraire du BIPM ; T. J. QUINN, Sous-Directeur du BIPM ; J. AZOUBIB (BIPM, à la disposition du BIH) ; P. CARRÉ (BIPM).

Excusés :

Comité Consultatif International des Radiocommunications de l'Union Internationale des Télécommunications, Genève ; J. BONANOMI, membre nominativement désigné.

Absents :

Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou ; National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba ; U.S. Coast Guard, Washington.

Après les souhaits de bienvenue de Mr Giacomo, Directeur du BIPM, et de Mr Guinot, Président du CCDS, la séance est ouverte.

Avec l'approbation du Comité Consultatif, le Président confie la tâche de rapporteur à Mr Granveaud.

### 1. Progrès récents et attendus des étalons atomiques de fréquence et des horloges

Mr *Audoin* résume les résultats obtenus depuis 1977 dans divers laboratoires français en ce qui concerne les étalons de fréquence.

Mr *Arditi*, à l'Institut d'Électronique Fondamentale, en collaboration avec J. L. Picqué du Laboratoire Aimé Cotton ont appliqué des méthodes de pompage optique à un appareil à jet de césium ; ils utilisent un laser à l'état solide pour créer une différence de population entre les niveaux de la transition hyperfine de l'état fondamental du césium 133. Le spectre de Ramsey des atomes de césium a été observé avec un excellent rapport signal/bruit. D'autre part, au même Institut on étudie des cavités supraconductrices présentant des coefficients de surtension de  $10^9$  à 1,6 K.

De son côté, le Laboratoire de Chronométrie et de Piézoélectricité de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques a poursuivi l'étude des générateurs à quartz et a obtenu, en collaboration avec le NBS (Boulder), des résultats remarquables : une stabilité de fréquence de  $6 \times 10^{-14}$  sur 128 s a été mesurée.

Le Laboratoire de l'Horloge Atomique (LHA) a continué les études sur les masers à hydrogène, et notamment sur le déplacement de la fréquence de transition hyperfine associé aux collisions avec le revêtement de téflon du ballon de stockage. Une exactitude de  $6 \times 10^{-13}$  a été obtenue pour la fréquence de la transition hyperfine de l'atome d'hydrogène non perturbé ( $1\,420\,405\,751,773 \pm 0,001$  Hz). Des études ont été faites sur le bruit d'amplitude associé au bruit thermique du maser à hydrogène et les conditions permettant d'obtenir la meilleure stabilité de fréquence d'un tel oscillateur ont été établies. Mr *Audoin* précise que le maser à hydrogène du Centre National d'Études des Télécommunications est comparé à des horloges à césium et aux masers du LHA.

Des études sont faites au LHA sur un étalon de fréquence utilisant les ions de l'isotope 199 du mercure stockés dans une trappe radiofréquence cylindrique. Actuellement, une stabilité de fréquence  $\sigma(\tau) = 3,6 \times 10^{-11} \tau^{-1/2}$  a été obtenue pour  $\tau$  compris entre 10 et 3 500 s. D'autre part, le LHA étudie des étalons de fréquence optique. Il a montré l'intérêt d'utiliser la raie R 47 de l'iode pour stabiliser un laser à hélium-néon émettant à 612 nm ; une reproductibilité de  $2 \times 10^{-12}$  a été obtenue. Les résultats préliminaires sur les lasers à molécule diatomique sont intéressants.

Mr *Rutman* indique les résultats obtenus dans la mesure des fréquences de lasers au Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (LPTF) ; la fréquence du laser à hélium-néon asservi sur l'absorption saturée du méthane a été mesurée à  $\pm 1,6 \times 10^{-10}$  près. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus au National Bureau of Standards et au National Physical Laboratory. Des mesures de fréquence de lasers à  $\text{CO}_2$  asservis sur l'absorption saturée de  $\text{OsO}_4$  ont été entreprises pour réaliser de nouveaux étalons de fréquence dans la région de 30 THz.

Mr *Kalau* précise que la construction d'étalons de fréquence à jet de césium, utilisant des aimants hexapolaires, se poursuit dans son laboratoire (ASMW).

Mr *Kobayashi* rapporte les résultats obtenus au National Research Laboratory of Metrology (NRLM) et aux Radio Research Laboratories (RRL). A trois reprises, en 1977 et 1978, l'étalon primaire à césium NRLM-II a été évalué par comparaison avec deux étalons à césium Hewlett-Packard. L'incertitude totale d'un étalonnage réalisé avec cet appareil a été estimée à  $5 \times 10^{-13}$ . Il apparaît qu'une part importante de l'incertitude provient des étalons à césium commerciaux. Le calcul de la fréquence du TAI a été effectué en utilisant les résultats UTC-UTC(RRL) et

UTC – UTC(TAO) publiés dans les Rapports Annuels du BIH. L'intervalle unitaire du TAI a été trouvé trop long de  $2 \text{ à } 3 \times 10^{-13}$  en novembre 1977, février et juillet 1978.

L'effet Majorana dans les étalons atomiques de fréquence a été étudié en détail. Pour un étalon à jet de césium utilisant des aimants hexapolaires, Mr *Kobayashi* indique que l'effet peut être pratiquement annulé. D'autre part, l'effet Majorana a été utilisé dans les masers à hydrogène pour éliminer les atomes qui ne sont pas dans un état intéressant : environ 74 % de ceux-ci ont pu être éliminés. Cette méthode simple de sélection des atomes paraît tout à fait intéressante.

Mr *Becker* rappelle que l'étalon à césium CS1 de la PTB a été mis en service en 1969 et qu'il est resté pratiquement inchangé jusqu'en 1976. Des améliorations ont été apportées depuis à cet appareil : par exemple, la combinaison d'aimants hexapolaires et d'aimants quadripolaires. Quelques caractéristiques de CS1 sont soulignées : la vitesse des atomes de césium a une valeur moyenne de 92 m/s et sa dispersion est faible ; l'inhomogénéité du champ C longitudinal est très petite. Un avantage important est apporté par le petit diamètre (3 mm) du jet de césium. Des guides magnétiques permettent d'éviter les transitions de Majorana ; celles-ci pourraient conduire à des erreurs de fréquence de plusieurs  $10^{-13}$ . L'incertitude totale de CS1, obtenue comme la racine carrée de la somme des carrés des incertitudes (essentiellement de leurs limites supérieures), est de  $11 \times 10^{-15}$  ; la contribution la plus importante à cette valeur vient de l'incertitude du chemin suivi par le jet de césium. Mr *Becker* précise que, chaque semaine, le champ C et d'autres paramètres sont mesurés. Le renversement du jet est effectué toutes les six semaines.

De 1969 à juillet 1978, l'échelle TA(PTB) a été étalonnée environ 4 fois par an à l'aide de CS1. Mais il est apparu que TA(PTB), calculée à partir des données d'horloges commerciales, n'avait pas une stabilité suffisante pour garder en mémoire la fréquence de CS1. Par exemple, TA(PTB) présente des variations saisonnières qui proviennent des horloges commerciales. On peut se demander s'il est impossible que CS1 présente des variations saisonnières. A la connaissance de Mr *Becker*, la seule cause physique de telles variations pourrait être le changement de différence de phase du résonateur. Mais les renversements fréquents du jet de césium éliminent cette cause. La PTB a donc décidé d'utiliser CS1 en horloge ; depuis juillet 1978, CS1 est une horloge primaire comme celle du NRC.

Mr *Becker* termine sa présentation en posant la question du rôle des horloges primaires dans le calcul du TAI. Il lui paraît que celles-ci devraient jouer un rôle essentiel, du point de vue de l'exactitude et de la stabilité, ce qui n'est pas le cas actuellement car les horloges primaires reçoivent un poids maximal de 100 comme les horloges commerciales. Mr *Becker* signale que la PTB a une horloge primaire en construction ; environ 30 % du travail est fait.

Diverses questions sont posées à Mr *Becker* concernant les effets

possibles de l'environnement sur CS1. Mr *Winkler* remarque qu'un appareil aussi important peut être affecté par des gradients de température. Mr *Audoin* signale des décalages possibles de fréquence qui pourraient être dus à l'intégrateur. Enfin, le *Président* s'enquiert du contrôle de l'humidité qui pourrait avoir des effets importants sur l'électronique de CS1.

Mr *Barnes* présente les travaux du NBS. Le but de ces études est d'améliorer les connaissances fondamentales sur les étalons de fréquence et les horloges atomiques.

Les transitions de Majorana entre les niveaux de structure hyperfine et la distribution de phase dans la cavité sont étudiées dans les étalons à césium au moyen de la sélection optique d'états et de l'excitation hyperfréquence à deux fréquences et à deux cavités. Une étude importante pour les prochaines 5 à 10 années concerne les ions refroidis et stockés. Les premiers résultats obtenus au NBS indiquent que les ions peuvent être refroidis à moins de 1 K, ce qui réduit considérablement les effets Doppler du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> ordre. Des exactitudes de  $10^{-15}$  sont envisagées.

Des mesures récentes sur un maser à hydrogène passif ont fourni des résultats très prometteurs : une instabilité de  $1 \times 10^{-14}$  (bruit de scintillation) a été obtenue pour des durées d'échantillonnage de 1 à 27 jours. Plusieurs autres masers passifs vont être étudiés. Il est prévu de tenir compte des données de ces masers dans l'établissement de l'échelle UTC(NBS) et d'envoyer ces données au BIH.

Il apparaît important au NBS de développer une échelle de temps stable ; l'utilisation d'horloges très stables comme les masers à hydrogène passifs, de techniques nouvelles pour comparer les horloges et d'algorithmes de calcul fondés sur la théorie de Kalman devrait permettre d'atteindre le but recherché. Enfin, Mr *Barnes* indique que l'étalon primaire NBS-6 est évalué environ une fois par an. Une discussion s'ensuit concernant les étalons primaires de fréquence et les horloges primaires. Mr *Barnes* expose trois arguments contre l'utilisation en horloge d'un étalon primaire : 1) il y a incompatibilité entre les deux fonctionnements, l'évaluation d'un étalon amenant à interrompre la marche de l'appareil ; 2) les échelles fondées sur les horloges commerciales conviennent aux utilisateurs qui disposent eux-mêmes du même type d'horloge et un étalonnage par an du TAI satisfait la demande ; 3) enfin, point très important, l'utilisation d'un étalon primaire en horloge mobilise d'importantes ressources qui sont essentielles pour la recherche. On estime au NBS que les investissements dans la recherche (dans le domaine temps-fréquence) sont trop faibles, ce qui est dangereux à long terme. Mr *Costain* réplique que l'utilisation de l'étalon Cs V en horloge est extrêmement simple : cela représente 10 minutes de travail par jour, plus des mesures du champ C toutes les deux semaines et une évaluation complète une fois par an. Mr *Becker* ajoute qu'aucun coût additionnel n'est à prévoir lors de l'utilisation d'un étalon primaire en horloge.

Mr *Costain* indique qu'au NRC l'horloge Cs V continue à fonctionner de façon satisfaisante depuis 1975. Une évaluation complète de cette

horloge a eu lieu en septembre 1979 et aucun changement significatif de fréquence n'a été observé dans les limites d'incertitude de  $\pm 5 \times 10^{-14}$ . Une protection thermique a été disposée autour du tube en janvier 1980 mais elle ne semble pas avoir amélioré sa stabilité thermique. Les étalons CS1 de la PTB et Cs V du NRC montrent un accord remarquable depuis 3 ans (environ  $2 \times 10^{-14}$ ). Mr *Costain* pense que l'actuelle limitation des comparaisons de temps n'existera plus dans quelques années.

A la fin de 1979, les trois horloges primaires Cs VI A, B et C ont été évaluées et elles ont commencé à fonctionner en décembre 1979. La comparaison de ces appareils avec Cs V a permis de déceler certains défauts, notamment dans la partie électronique, qui affectent leur stabilité et leur exactitude. Il apparaît que les performances de ces trois horloges ne sont pas encore acceptables. Un travail important reste à accomplir pour qu'elles donnent satisfaction.

Mr *Steele* donne quelques indications sur la mise au point de l'étalon primaire NPL III. Un stagiaire chinois a activement travaillé à cette étude mais il existe toujours des problèmes de financement et de main-d'œuvre. D'autre part, des difficultés techniques, liées par exemple aux transitions de Majorana, subsistent. L'étalon a été redessiné selon un projet d'Holloway en utilisant des aimants hexapolaires.

Mr *Leschiutta* précise qu'aucun travail n'est fait dans son laboratoire (IEN) en ce qui concerne le césium. Par contre, on y poursuit des études sur des étalons à jet de magnésium et sur la synthèse de fréquence.

Mr *Menoud* signale le développement de masers à hydrogène passifs chez Oscilloquartz, Suisse.

Après ce tour de table, le *Président* demande à Mr *Winkler* de parler des étalons à césium commerciaux. Mr *Winkler* rappelle qu'actuellement, aux États-Unis, deux sociétés industrielles fabriquent des étalons à césium : Hewlett-Packard (HP) et Frequency and Time Systems (FTS). Les satellites du Global Positioning System (GPS) sont équipés d'étalons FTS. Il y a eu quelques problèmes liés au champ C, mais, en général, ces étalons donnent satisfaction. De son côté, HP a développé en 1960, en vue d'équiper les avions d'un système anticollision, un petit étalon à césium équipé d'un tube de 22 centimètres. Cet appareil a fait preuve d'une excellente stabilité à court terme ; par contre, on a constaté une mauvaise stabilité à long terme et une dérive de fréquence commune à plusieurs exemplaires. De manière générale, la fiabilité de ce petit étalon à césium ne paraît pas satisfaisante.

En ce qui concerne les masers à hydrogène, Mr *Winkler* précise que le Jet Propulsion Laboratory en fait fonctionner trois ; d'autre part, l'Applied Physics Laboratory construit des masers dessinés par la NASA. Mr *Costain* ajoute qu'en Australie le National Measurement Laboratory a un maser en marche depuis 10 ans avec une dérive de fréquence de  $4 \times 10^{-13}$ /an.

Un échange d'informations pratiques suit cet exposé ; elles concernent l'alimentation en courant des horloges (batterie ou secteur stabilisé),

l'environnement (il vaut mieux placer les horloges dans un local dont la température est naturellement stable plutôt que d'utiliser un conditionnement d'air), les dérives de fréquence des étalons à césium. Il apparaît nécessaire d'ajuster les paramètres d'un nouvel étalon commercial à césium — et notamment le champ C — après une ou deux semaines. La vérification régulière du champ C est importante mais elle demande une main-d'œuvre qualifiée. Diverses expériences effectuées à l'USNO ont montré : 1) que certaines horloges commerciales à césium ont un palier de scintillation de  $2 \text{ à } 4 \times 10^{-14}$ ; 2) que leur sensibilité thermique autour de la température ambiante peut varier de  $3 \text{ à } 15 \times 10^{-14}/^{\circ}\text{C}$  et qu'elle est positive ou négative; 3) que les gradients de température influencent de façon importante la fréquence de l'horloge. Mr *Rutman* relève que les étalons à césium de laboratoire se groupent en deux classes selon leur exactitude : d'une part trois appareils réalisant la seconde avec une inexactitude inférieure à  $10^{-13}$  et d'autre part plusieurs étalons dont l'inexactitude est nettement supérieure à  $10^{-13}$ . Une discussion s'ensuit sur les causes possibles de cet état de fait : un seul nombre ne suffit pas à qualifier un appareil ; d'autre part, l'incertitude attachée à un étalonnage ne tient compte que des perturbations connues et il existe encore certaines obscurités dans le fonctionnement des étalons à césium. Plusieurs participants soulignent l'importance d'avoir des étalons de plusieurs types, dans divers laboratoires, et de les comparer. Actuellement, l'accord entre les étalons à césium de laboratoire équipés d'aimants dipolaires (NBS, NRC) et ceux équipés d'aimants hexapolaires (PTB) donne confiance dans les résultats obtenus.

## 2. Progrès récents et attendus des méthodes de comparaison de temps

Un document très complet sur les comparaisons de temps par satellite a été préparé par Mr *Beehler* du NBS. Il commente les projets examinés par les membres du Groupe de travail 7/4 du CCIR. Par suite d'un malentendu, cette contribution a été distribuée tardivement et n'était pas disponible lors de la discussion du point 2. Elle a été examinée ultérieurement.

Le système LORAN-C reste actuellement très important pour les comparaisons de temps. Mr *Winkler* précise qu'en octobre 1979 et mars 1980, il y a eu restructuration des chaînes LORAN-C qui intéressent l'Amérique du Nord. Des transports d'horloge sont effectués pour contrôler la coordination des diverses chaînes. Néanmoins, les changements peuvent entraîner des discontinuités de  $0,5 \mu\text{s}$ . De façon générale, les garde-côtes américains qui ont la charge du LORAN-C procèdent par petits ajustements et ceux-ci sont notifiés au BIH. Mr *Winkler* pense que l'utilisation du LORAN-C restera encore durant quelque temps une méthode intéressante, notamment par sa simplicité d'utilisation, pour la comparaison des horloges. La réception par

plusieurs stations européennes d'une émission commune de LORAN-C conduit à des incertitudes de 50 à 80 ns ; la comparaison des échelles de temps du NRC et de la PTB par le LORAN-C est souvent excellente, l'incertitude étant inférieure à 100 ns. En cas de doute sur la qualité des liaisons par le LORAN-C, il serait intéressant d'utiliser les temps de réception des laboratoires qui reçoivent deux émissions (par exemple, le VSL reçoit la chaîne norvégienne et la chaîne atlantique nord). La possibilité d'étalonner les récepteurs de LORAN-C est évoquée ; elle nécessite l'achat d'un générateur étalonné de signaux. L'influence de la température est signalée par Mr Costain ; des perturbations de 0,6  $\mu$ s dans la réception de l'émission de Nantucket ont été observées au NRC. Enfin, Mr Winkler signale la sortie d'un nouveau récepteur de LORAN-C chez Austron ; ce récepteur peut être couplé avec un ordinateur.

L'utilisation du Global Positioning System (GPS) pour les comparaisons de temps est discutée ensuite. Le *Président* rappelle qu'on peut utiliser le GPS soit en utilisation normale, soit en mode différentiel. Il demande à Mr Winkler de faire part des essais effectués à l'USNO. Un récepteur prototype de la Société Stanford a été utilisé pendant des durées variables allant jusqu'à 5 semaines. Avec les satellites équipés d'étalons à césium ou à rubidium, l'USNO a obtenu une précision de 10 ns (d'un jour à l'autre) en observant parfois une dérive. Pour l'inexactitude, il est difficile de se prononcer : elle est certainement inférieure à 100 ns. En conclusion, Mr Winkler trouve le récepteur satisfaisant, excepté son prix ; il pense qu'un prix de 25 000 dollars US, c'est-à-dire celui d'une horloge à césium, serait acceptable et qu'un tel prix pourrait être obtenu si une centaine d'unités étaient commandées. Une discussion sur le GPS s'ensuit. Il apparaît que les réceptions des émissions de plusieurs satellites GPS par un laboratoire devraient permettre une amélioration des performances. Mr Allan signale le développement par le NBS d'un récepteur GPS ; celui-ci est destiné à la comparaison d'horloges situées dans des laboratoires qui voient le même satellite. L'inexactitude attendue est de 10 ns. Le prix de base d'un récepteur — qui ne prend pas en compte les essais, la documentation et le bénéfice du fabricant — serait de l'ordre de 6 000 dollars US. Le *Président* indique que l'utilisation des pseudo-distances mesurées simultanément par des stations assez proches permet de calculer un arc d'orbite avec une précision suffisante pour obtenir une bonne exactitude des comparaisons d'horloges. Des simulations faites au BIH conduisent à des incertitudes de l'ordre de 10 ns pour des stations distantes de 1 000 km.

Mr Costain parle des résultats obtenus avec les satellites Hermès et Symphonie. Pendant un an, de juillet 1978 à juillet 1979, Hermès a permis de comparer les horloges du NRC, du NBS et de l'USNO avec une incertitude de 1,8 ns sur une durée de mesure de 15 minutes ; les fréquences des étalons du NRC et du NBS ont pu être comparées à  $2 \text{ à } 3 \times 10^{-14}$  près. Depuis juillet 1978, le NRC et l'Observatoire de Paris (LPTF) font des comparaisons de temps par le satellite Symphonie avec une précision de

l'ordre d'une nanoseconde pour une durée de mesure d'une dizaine de minutes. Depuis février 1980, la PTB s'est jointe à l'expérience. Les principales incertitudes dans les comparaisons des échelles de temps des laboratoires viennent des liaisons entre les stations de télécommunications spatiales et les laboratoires. L'expérience Symphonie est jugée utile et elle sera continuée en 1981. La participation des États-Unis ne semble guère possible car les dépenses correspondantes n'ont pas été prévues. Quelques précisions sont apportées par les autres participants à l'expérience Symphonie. Mr *Becker* indique que la somme des différences de temps entre les horloges des stations de télécommunication est voisine de 0 avec un écart-type de 10 ns; cette valeur de 10 ns lui semble caractéristique de l'instabilité des liaisons par Symphonie. Les mesures des retards des équipements sont parfois difficiles à effectuer; l'inexactitude des comparaisons de temps par Symphonie est estimée à environ 50 ns.

Diverses autres possibilités de comparaison de temps par satellite sont indiquées : OTS 2, satellite TV, satellite de télécommunication (station SATCOM), INTELSAT, COMSAT. Mr *Costain* présente un projet plus avancé qui utilise les satellites commerciaux Telesat dans la bande 4 à 6 GHz. Une expérience en cours utilise des stations ayant une puissance de 1 W et des antennes de 3 mètres de diamètre. Dans une première étape, il est prévu d'effectuer les liaisons NRC-NBS, NRC-USNO et de les rendre complètement automatiques. Puis des liaisons NRC-Europe seront envisagées. Le coût d'une station devrait être de l'ordre de 25 000 dollars US.

Mr *Leschiutta* présente les grandes lignes du projet LASSO (Laser Synchronization from Stationary Orbit). La caractéristique essentielle de ce projet est que les dates d'arrivée des impulsions laser qui portent l'information de temps seront enregistrées à bord du satellite. D'autre part, la présence de rétro réflecteurs sur le satellite permettra de connaître les temps de trajet des impulsions. Une inexactitude d'une nanoseconde est attendue. Le satellite SIRIO 2 sera utilisé en 1981 pour cette expérience. Mais il est prévu de constituer un équipement LASSO qui pourrait aisément être placé sur d'autres satellites. Les scientifiques américains proposent une expérience semblable à LASSO avec la navette spatiale; ils envisagent en outre de comparer les résultats de transferts de temps par des techniques laser et par des techniques hyperfréquence.

Une autre technique très prometteuse de comparaison de temps est constituée par l'interférométrie à très longue base. Mr *Kaaris* donne quelques précisions sur l'expérience prévue pour début octobre entre son laboratoire (VSL) et l'USNO.

Le *Président* conclut ce point de l'ordre du jour en indiquant que, lors de sa prochaine session, le CCDS aura sans doute à sa disposition les résultats des comparaisons par GPS et ceux de comparaisons très exactes.

### 3. Présentation du rapport du BIH sur l'établissement du TAI

Mr *Granveaud* présente le rapport du BIH. Il rappelle brièvement les changements intervenus dans le calcul du TAI. Depuis 1977, le TAI est une échelle de temps obtenue en trois étapes. En premier lieu, une échelle libre, l'EAL, est calculée à partir des données des horloges; elle est stable à moyen terme (2 mois à 1 an) grâce à l'utilisation de l'algorithme ALGOS. Ensuite, les étalons primaires à césium servent à calculer la meilleure estimation de la réalisation de la seconde. Cette estimation est comparée à l'intervalle unitaire de l'EAL; du résultat de la comparaison, on déduit une correction qui est appliquée à l'EAL, donnant ainsi le TAI.

Les résultats d'étalonnage de l'EAL par les étalons primaires CS1 de la PTB, Cs V du NRC et NBS-6 du NBS montrent un effet saisonnier important : la fréquence de l'EAL est maximale en hiver et minimale en été; l'amplitude totale de ces variations est environ  $1 \times 10^{-13}$ . La continuation de la dérive de l'EAL apparaît moins clairement. Afin de comprendre la cause des variations systématiques de l'EAL et du TAI, le BIH a enquêté sur l'environnement des horloges participant au calcul du TAI. Il apparaît que pour environ 70 % des horloges la température est régulée à  $\pm 1$  °C ou mieux; l'humidité n'est généralement pas régulée.

Le problème de la correction de fréquence de l'EAL a fait l'objet de la Recommandation S 1 (1977) du CCDS; il a été discuté au cours de trois réunions de travail en 1978 et 1979. En janvier 1977, une correction de  $- 10 \times 10^{-13}$  a été appliquée à la fréquence de l'EAL. Des ajustements de  $+ 0,2 \times 10^{-13}$  ont ensuite été apportés : 4 fois en 1977, 1 fois à la fin de 1978 et 3 fois en 1979 si bien que, au début de 1980, la correction appliquée à la fréquence de l'EAL est de  $- 8,4 \times 10^{-13}$ . Jusqu'en 1980, la fréquence du TAI était toujours inférieure à l'estimation de la fréquence du césium; au début de 1980, elle est devenue légèrement supérieure. De 1977 à 1980, la fréquence du TAI a été maintenue égale à l'estimation de la fréquence du césium à  $1 \times 10^{-13}$  près.

Mr *Granveaud* souligne que les valeurs UTC – UTC(i) publiées dans le Rapport Annuel pour 1979 ont été obtenues en tenant compte des résultats des comparaisons de temps entre NRC et OP par le satellite Symphonie. Les différences entre ces valeurs et celles publiées dans les circulaires D sont, généralement inférieures à 100 ns. Le BIH continue en 1980 à utiliser les résultats obtenus par Symphonie. La question est posée d'une révision des valeurs UTC – UTC(i) publiées par le BIH, en intégrant les ajustements d'origine faits le 2 janvier 1974 et le 1<sup>er</sup> janvier 1977. Au cours de la discussion, l'intérêt de ce calcul n'est pas apparu clairement.

La présentation du rapport du BIH donne lieu à des considérations générales : le nombre de laboratoires dont les UTC sont régulièrement publiés est actuellement de 28; environ 100 horloges, dont 5 horloges primaires, participent au calcul du TAI. Mais il existe toujours plusieurs

laboratoires importants (en Australie, Chine, Japon, Union Soviétique) dont les horloges ne peuvent pas participer au calcul du TAI faute de liaison horaire satisfaisante.

En conclusion à cette discussion, le CCDS se met d'accord sur la déclaration suivante relative au travail du Bureau International de l'Heure.

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

*considérant*

- que le BIH détermine l'Échelle Internationale de référence de temps, TAI, avec l'aide du Comité International des Poids et Mesures,
- que le TAI satisfait les besoins des utilisateurs des mesures de temps dans les applications qui requièrent la plus haute précision,
- que le BIH continue à étudier les moyens d'améliorer le TAI,
- que la qualité de ces études et des résultats publiés est du plus haut niveau scientifique et conforme aux possibilités actuelles de la technique,
- que l'on s'attend à ce que des applications nouvelles mettant en jeu des mesures de temps très précises se développent dans l'avenir,

*souhaite* exprimer sa reconnaissance et sa haute estime pour l'excellent travail du BIH et invite le Directeur du BIH à poursuivre ce travail en continuant à respecter les principes qui se sont montrés jusqu'ici remarquablement efficaces.

#### 4. Présentation du rapport du Groupe de travail du CCDS sur le pilotage du TAI

Mr *Smith*, Président du Groupe de travail sur le pilotage du TAI, expose les conclusions des trois réunions qui ont eu lieu, l'une à Genève (janvier 1978), l'autre à Helsinki (août 1978) et la troisième à Montréal (août 1979). Les modifications de  $+ 0,2 \times 10^{-13}$  apportées à la correction de fréquence de l'EAL sont satisfaisantes car elles sont du même ordre de grandeur que les changements de fréquence observés du TAI. Le premier ajustement de  $+ 0,2 \times 10^{-13}$  a eu lieu au début d'avril 1977; trois autres ont suivi en 1977, chacun étant séparé du précédent par un intervalle de deux mois. Il est apparu, dès 1978, que la décision de modifier la correction appliquée à l'EAL devait faire appel, pour une large part, au jugement du personnel du BIH qui est à même d'évaluer la situation. Les variations saisonnières de l'EAL posent un problème délicat. Faut-il les corriger ?

Les membres du Groupe de travail ont estimé qu'il fallait, en premier lieu, chercher l'explication de ces variations. L'intérêt des horloges primaires a été souligné; le problème de leur poids dans le calcul de l'EAL a été discuté. Serait-il raisonnable de calculer un TAI fondé uniquement sur

deux horloges primaires ? Il apparaît que chaque UTC d'un laboratoire est un point d'accès au TAI et que, de plus, la participation au calcul du TAI est extrêmement importante (diplomatiquement, scientifiquement, financièrement,...) pour de nombreux petits laboratoires. Le Groupe de travail recommande une sélection plus sévère des horloges et il insiste sur le besoin urgent de disposer d'étalons primaires de fréquence plus nombreux.

### 5. Algorithmes de calcul des échelles de temps atomique

Plusieurs études faites par l'équipe du BIH sont présentées. Tout d'abord, Mr *Granveaud* traite du rôle des introductions et des retraits d'horloges dans l'instabilité d'une échelle de temps. Des échelles de temps ont été calculées à partir des données simulées de 15 horloges. En utilisant la même prédiction que dans le calcul du TAI – c'est-à-dire en supposant que la fréquence d'une horloge par rapport à l'EAL est la même dans le calcul futur que dans le calcul passé – on voit qu'une échelle calculée avec les mêmes paramètres que l'EAL et le TAI – c'est-à-dire prédiction de 60 jours et durée de 60 jours pour l'intervalle d'estimation de la fréquence – a une stabilité généralement moins bonne (pour des durées d'échantillonnage jusqu'à deux ans) que celle qui serait obtenue avec une prédiction de 10 jours et une estimation sur 30 jours : l'algorithme apporte son propre bruit qui n'est pas négligeable ; le calcul d'une échelle de temps peut être optimisé ; cette amélioration est liée au choix de la prédiction et des paramètres qui entrent dans le calcul de l'échelle.

Les résultats obtenus sont liés à des hypothèses restrictives : petit nombre d'horloges, pas de dérive de fréquence des horloges,... Ils ne sont donc pas actuellement utilisables pour le calcul du TAI.

Mr *Azoubib* expose les résultats de deux études. En premier lieu, l'algorithme ALGOS qui calcule l'EAL a été modifié de façon que le poids maximal d'une horloge soit de 500 au lieu de 100 dans la version actuelle. On voit qu'environ 10 % des horloges atteignent le poids maximal contre 30 % présentement. Mais la fréquence de l'échelle calculée avec la modification ne diffère pas sensiblement de la fréquence de l'EAL, et les horloges primaires, après 1 an environ, ont des poids inférieurs à 500 : les horloges industrielles imposent leur fréquence moyenne.

Dans une seconde étude, les horloges option 4 de Hewlett-Packard ont constitué un sous-ensemble qui a servi à calculer une échelle, l'EAL 1, avec l'algorithme ALGOS, les autres horloges (HP normales et Oscilloquartz) donnant l'EAL 2. Les fréquences moyennes de ces deux échelles par rapport à CS1 et Cs V présentent toutes les deux la même dérive et des variations saisonnières ; toutefois, l'amplitude de la variation saisonnière de l'EAL 1 est plus forte. D'après Mr Becker, il serait intéressant de voir si la différence d'amplitude est significative et d'éliminer de l'EAL 2 les horloges

Oscilloquartz qui ont souvent de fortes dérives. Est-ce que toutes les horloges option 4 présentent de fortes dérives ? Il semble que de nombreuses causes peuvent provoquer des dérives positives ou négatives. En résumé, on ne peut pas attribuer l'origine des termes systématiques de l'EAL aux seules horloges HP option 4.

Certaines échelles atomiques locales présentent aussi des variations saisonnières. Mr *Granveaud* montre qu'à partir des données des horloges d'un même laboratoire, on peut obtenir des échelles de temps présentant des variations systématiques différentes, suivant l'algorithme utilisé. Une discussion s'ensuit sur les algorithmes de calcul des échelles de temps. Il apparaît intéressant d'avoir une échelle de temps améliorée obtenue avec retard. Plusieurs participants souhaitent que l'étude des algorithmes propres aux échelles de temps soit développée. Le *Président* propose qu'une Recommandation soit faite dans ce sens et demande qu'un texte soit rédigé.

D'autre part, le rythme actuel des publications du BIH est jugé satisfaisant par les membres du CCDS, à savoir que les UTC–UTC (laboratoire) et TAI–TA (laboratoire) du mois  $m$  sont publiés à la fin du mois  $m + 1$  dans les circulaires D. Les participants sont d'accord pour que le BIH diffère la publication de résultats qui lui paraissent douteux.

## 6. Discussion sur l'établissement du TAI

Le *Président* ouvre la discussion en rappelant les critères de qualité du TAI, stabilité à long terme et exactitude, et en soulignant l'importance de son accessibilité. Le problème du calcul du TAI se pose dans les termes extrêmes suivants : est-il préférable de continuer à utiliser les données d'une centaine d'horloges commerciales ou bien vaut-il mieux fonder le TAI sur deux (ou même une) superhorloges ? Les responsables des laboratoires expriment leur point de vue. On souligne qu'environ 200 horloges dans le monde suivent le système UTC et que le BIH a la responsabilité : 1) de calculer et de publier régulièrement le TAI (et UTC); 2) d'étudier les améliorations possibles du TAI. Plusieurs participants expriment l'avis que le moment n'est pas venu de changer radicalement le calcul du TAI. En premier lieu, les comparaisons de temps entre laboratoires doivent être améliorées ; ensuite, les fréquences des deux horloges primaires du NRC et de la PTB diffèrent parfois de plusieurs  $10^{-14}$  ; enfin il faut comprendre les causes des variations systématiques de l'EAL. Mais, d'un autre côté, la qualité des horloges primaires est reconnue et il est important de soutenir le développement de tels appareils ; si on les considère comme des étalons de fréquence, un seul étalonnage par an de la fréquence du TAI paraît suffisant ; mais, si on les considère comme des horloges stables, elles doivent recevoir un poids important dans le calcul de l'EAL. Un compromis s'établit sur les points suivants : 1) le nombre de laboratoires contribuant au calcul du TAI peut augmenter mais les horloges doivent être soigneusement sélectionnées pour

constituer un ensemble relativement homogène; 2) des essais doivent être entrepris en calculant de nouvelles échelles de temps de telle façon que le rôle des horloges primaires soit en rapport avec leurs qualités.

Pratiquement, les décisions suivantes ont été prises :

– Le CCDS donne au BIH le pouvoir de choisir les horloges dont les qualités de fonctionnement sont les meilleures.

– Suivant la proposition du Président, une Recommandation pour l'étude de nouveaux algorithmes d'échelles de temps est élaborée; son but est l'utilisation optimale des données des horloges et particulièrement des horloges primaires (*voir* Recommandation S 1 (1980), p. S 18).

– Une autre Recommandation est discutée pour soutenir le développement et la mise en œuvre de nouveaux étalons de fréquence (à césium ou autres). Depuis de nombreuses années, le nombre d'étalons primaires de fréquence – à savoir trois – n'a pas varié; d'autre part, le fonctionnement en horloge de deux de ces appareils a créé deux classes sans parler de la disparité entre les incertitudes annoncées des étalonnages. Il apparaît donc important aux participants à cette session du CCDS que de nouveaux étalons primaires soient développés et aussi que d'autres étalons soient étudiés (*voir* Recommandation S 2 (1980), p. S 18).

D'autre part, l'élargissement de la tâche du Groupe de travail créé par la Recommandation S 1 (1977) a été discuté; en effet, le pilotage du TAI est lié aux problèmes plus généraux de son élaboration : variations systématiques, stabilité,... Il a été décidé de maintenir le Groupe de travail avec la définition actuelle de ses tâches, sans restreindre toutefois son rôle au problème strict du pilotage.

Enfin, il est admis par les participants que les résultats publiés dans les circulaires D mensuelles sont provisoires, ceux des Rapports Annuels étant définitifs. Les corrections apportées aux résultats des circulaires doivent être inférieures à 500 ns et ne pas introduire de terme systématique.

## 7. Définition du TAI

Dans la Recommandation S 2 (1970) de la 5<sup>e</sup> session du CCDS, la définition suivante du TAI est donnée :

« Le Temps Atomique International est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau International de l'Heure sur la base des indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements conformément à la définition de la seconde, unité de temps du Système International d'Unités ».

Il apparaît que le TAI peut être considéré de diverses façons. Le *Président* pose une série de questions : Est-ce que le TAI doit être un temps coordonné ? Dans quel système de référence ? Avec quelle théorie ?

Mr *Becker* rappelle qu'il a mentionné ce problème au Groupe d'études 7 du CCIR (Genève, juin 1980), lorsqu'il en était le Rapporteur principal.

Mr *Steele* indique que le Groupe d'études 7 du CCIR, dont il est actuellement le Rapporteur principal, n'a pas apporté de solution à ce problème. D'autres organismes scientifiques, tel l'UAI, ont besoin d'une définition du TAI. Il est clair pour tous les participants que c'est la tâche du CCDS de donner une définition. Mais faut-il préciser une théorie relativiste particulière ? Mr *Kovalevsky* indique que les difficultés commencent à  $10^{-16}$ ; mais, jusqu'à  $10^{-15}$ , les approximations du premier ordre, communes à toutes les théories relativistes, sont valables.

Une discussion s'engage entre les participants. Les uns pensent que l'actuelle définition du TAI est satisfaisante et qu'il suffit d'établir un formulaire utilisable pour les comparaisons de temps. Les autres affirment qu'il faut, en premier lieu, préciser le système de référence et ensuite donner un formulaire. Le *Président* charge un groupe composé de MM. Allan, Becker, Giacomo, Kovalesky et Winkler d'une double tâche : trouver une définition générale acceptable du TAI et rédiger un formulaire donnant les corrections relativistes à apporter aux résultats des comparaisons de temps. Le texte de la déclaration suivante, préparé par ce groupe, est discuté et adopté.

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,  
*considérant*

— que la 14<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures a décidé d'établir une échelle de référence internationale de temps, le TAI,

— que le CIPM, à sa 59<sup>e</sup> session, a adopté la définition correspondante,

— que le BIH est chargé de la détermination du TAI suivant les directives du CCDS (« Mise en pratique du Temps Atomique International », CCDS, 5<sup>e</sup> session, 1970, p. S 22),

— que l'utilisation du TAI nécessite l'application de transformations, généralement appelées corrections relativistes, pour la mesure des différences de temps entre des horloges éloignées,

— que ces corrections nécessitent l'adoption d'un modèle clairement défini,

*déclare*

que le TAI est une échelle de temps coordonnée définie dans un repère de référence géocentrique avec comme unité d'échelle la seconde du SI telle qu'elle est réalisée sur le géoïde en rotation et

que, par conséquent, il peut être étendu dans l'état actuel du savoir-faire et avec une exactitude suffisante à un point quelconque, fixe ou mobile, au voisinage du géoïde en appliquant les corrections du premier ordre de la relativité générale, c'est-à-dire les corrections pour les différences de potentiel de la pesanteur et les différences de vitesse ainsi que pour la rotation de la Terre (*voir* Note ci-après).

Note\*

Les formules suivantes permettent d'estimer les effets relativistes à prendre en compte lors de transfert de temps par transport d'horloge ou à l'aide de signaux électromagnétiques.

a) Quand on transfère le temps d'un point à un autre à l'aide d'un transport d'horloge, le temps coordonnée accumulé pendant le transport est :

$$\Delta t = \frac{2\omega}{c^2} A_E + \int_{\text{trajectoire}} \left[ 1 - \frac{\Delta U(\vec{r})}{c^2} + \frac{v^2}{2c^2} \right] ds$$

où  $\vec{r}$  est un vecteur dont l'origine est au centre de la Terre et l'extrémité est l'horloge,  $ds$  est l'élément de temps propre donné par l'horloge,  $\Delta U(\vec{r})$  est la différence de potentiel de la pesanteur entre le lieu où se trouve l'horloge et le géoïde (elle est positive au-dessus du géoïde),  $c$  est la vitesse de la lumière,  $v$  est la vitesse de l'horloge par rapport à la Terre,  $\omega$  est la vitesse angulaire de rotation de la Terre.  $A_E$  est la projection équatoriale de l'aire balayée par  $\vec{r}$  dans un système de coordonnées lié à la Terre ; lors de son calcul, l'élément d'aire sera considéré comme positif lorsque la projection de  $\vec{r}$  tourne vers l'Est ;

$$A_E = \frac{1}{2} \int_{\text{trajectoire}} r \cdot v_E \cdot \cos \varphi \cdot ds$$

$r$  étant le module de  $\vec{r}$ ,  $v_E$  la composante vers l'Est de  $v$  et  $\varphi$  la latitude géocentrique.

La formule précédente permet d'estimer les effets relativistes sur la marche de l'horloge pendant son transport avec une incertitude relative inférieure à  $1 \times 10^{-14}$ .

Si la hauteur de l'horloge au-dessus du sol ne dépasse pas 24 km, on pourra prendre  $\Delta U(\vec{r}) = g_n h$  où  $h$  est l'altitude de l'horloge au-dessus du géoïde et  $g_n$  est l'accélération due à la pesanteur normale.

b) Quand on transfère le temps d'un point T (émetteur) à un point R (récepteur) à l'aide d'un signal électromagnétique, le temps coordonnée qui s'est écoulé entre l'émission et la réception est :

$$\Delta t = \frac{2\omega}{c^2} A_E + \frac{1}{c} \int_{\text{trajet}} d\sigma$$

où  $d\sigma$  est l'élément de longueur propre pour le trajet suivi par le signal et les autres notations sont les mêmes que dans le premier cas, à l'exception

---

\* La mise au point définitive de cette Note a été poursuivie par correspondance, après la clôture de la session.

de  $A_E$  qui est, en pratique, la projection équatoriale du triangle dont les sommets sont le centre de la Terre, le point T et le point R. L'aire  $A_E$  est positive si la projection équatoriale de  $\overrightarrow{TR}$  a une composante dirigée vers l'Est.

Dans les expériences les plus précises, le terme provenant de  $d\sigma$  est ordinairement éliminé par une méthode d'aller et retour. Dans ces conditions, la formule précédente peut conduire à des incertitudes inférieures à 1 ns, même lors de liaisons au moyen d'un satellite artificiel.

#### Valeurs numériques

$$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$2\omega/c^2 = 1,623 \times 10^{-21} \text{ s/m}^2$$

$$g_n = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

### 8. Fonctionnement du temps universel coordonné

Le *Président* rappelle que la différence UT1 – UTC doit rester inférieure à 0,9 s et que cette règle est respectée au moyen de l'introduction de secondes intercalaires, habituellement le 31 décembre. Mais, cette année, la vitesse de rotation de la Terre a augmenté et il apparaît risqué d'introduire une seconde intercalaire le 31 décembre 1980. La décision sera prise prochainement \*\*.

L'intérêt de la seconde intercalaire est discuté. Mr *Winkler* rappelle qu'il y a 40 000 utilisateurs des *Éphémérides Nautiques*, c'est-à-dire utilisateurs potentiels de UT1, et qu'on ne devrait pas changer le système actuel du UTC.

### 9. Questions diverses

Trois réunions inhabituelles concernant le temps et les fréquences sont signalées :

- le « Symposium on Time and Frequency » à New Delhi, en février 1981 ;
- le 3<sup>e</sup> « Frequency Standards and Metrology Symposium » à Aussois, en octobre 1981 ;
- le 2<sup>e</sup> « Algorithm Symposium » à Boulder, en juin 1982.

\*  
\* \*

Mr *Terrien* remercie le *Président* pour la très haute tenue de la réunion. Le *Président* remercie le BIPM et les participants à cette 9<sup>e</sup> session du

---

\*\* Une note du BIH du 2 octobre 1980 aux autorités responsables de la mesure et de la diffusion de l'heure indique qu'il n'y aura pas de seconde intercalaire à la fin de décembre 1980.

CCDS. Il adresse au nom des membres du CCDS ses plus vifs remerciements à Mr Beehler pour l'excellente contribution que celui-ci a envoyée.

Octobre 1980

**Recommandations  
du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde  
présentées  
au Comité International des Poids et Mesures**

Algorithmes pour le calcul des échelles de temps

RECOMMANDATION S 1 (1980)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

*considérant*

- que le TAI devrait être aussi stable et aussi exact que possible,
- que les nombreuses horloges et les étalons de fréquence dont on dispose sont de stabilité et d'exactitude diverses,
- que l'imprécision des comparaisons de temps usuelles peut limiter la qualité des échelles de temps calculées,
- qu'on dispose seulement d'un très petit nombre d'étalons primaires pour assurer la stabilité à long terme du TAI et sa conformité à la définition de la seconde du SI et
- que l'algorithme utilisé peut influencer de façon significative la qualité de l'échelle de temps qui en résulte,

*recommande* que l'on entreprenne activement l'étude et la mise au point d'algorithmes qui permettent l'utilisation optimale des données disponibles pour le calcul des échelles de temps.

Mise au point de nouveaux étalons de fréquence

RECOMMANDATION S 2 (1980)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

*rappelant* la Recommandation S 4 (1974) du CCDS, relative aux étalons primaires de fréquence à césium,

*prenant acte* de la Recommandation A-2 de l'URSI, août 1978, relative aux étalons primaires de fréquence à césium,

*considérant*

- qu'il y a un besoin croissant d'une meilleure stabilité du TAI et d'une meilleure exactitude de son intervalle unitaire,
- que les étalons primaires de fréquence à césium constituent le moyen d'assurer l'exactitude de l'intervalle unitaire du TAI,

— que, bien que de nombreux laboratoires contribuent à la formation du TAI, il n'existe encore aujourd'hui que trois laboratoires fournissant les données nécessaires pour assurer l'exactitude de l'intervalle unitaire du TAI,

— que les étalons primaires à césium utilisés comme horloges peuvent produire des échelles de temps stables et exactes,

— que des étalons de fréquence autres que l'étalon à jet de césium se révèlent prometteurs,

— que les recherches en cours dans le domaine des étalons primaires de fréquence sont insuffisantes,

*recommande*

— que davantage de laboratoires poursuivent le développement et la mise en œuvre d'étalons primaires de fréquence à césium, aussi bien de conception traditionnelle que de conception nouvelle,

— que des laboratoires entreprennent des recherches et des développements relatifs à de nouveaux étalons de fréquence.

---



---

RAPPORT  
DU  
GROUPE DE TRAVAIL  
SUR L'EXPRESSION DES INCERTITUDES  
(1<sup>re</sup> réunion – 1980)

AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par R. KAARLS, Rapporteur \*

*Résumé.* — Des experts de onze laboratoires nationaux se sont réunis au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, du 21 au 23 octobre 1980. Ce Groupe de travail sur l'expression des incertitudes a discuté les propositions récemment faites pour parvenir à une façon uniforme et largement acceptable d'exprimer les incertitudes liées aux résultats expérimentaux. La nouvelle approche délaisse la distinction habituelle entre incertitudes « aléatoires » et « systématiques » ; elle recommande plutôt l'estimation directe de grandeurs qui puissent être considérées comme des approximations valables des variances et covariances ; c'est ce dont on a besoin dans la loi générale de la « propagation des erreurs ». L'accord très général auquel la réunion est parvenue est exprimé de façon formelle sous la forme d'une Recommandation, en cinq points, qui sera soumise à l'approbation du Comité International des Poids et Mesures.

Un Groupe de travail s'est réuni au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, du 21 au 23 octobre 1980, afin de discuter l'évaluation des incertitudes des résultats expérimentaux et de tenter de parvenir à un accord sur des recommandations pratiques.

Étaient présents :

Les délégués des laboratoires suivants :

Bureau National de Métrologie [BNM] : Institut National de Métrologie [INM] du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France (P. RIÉTY).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing, Rép. Pop. de Chine (Y. JIANG).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin, Italie, (S. SARTORI).

National Bureau of Standards [NBS], Washington, États-Unis d'Amérique (R. COLLÉ).

National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni (A. WILLIAMS).

---

\* Original en langue anglaise.

National Physical Laboratory of India [NPLI], New Delhi, Inde (K. CHANDRA).

National Physical Research Laboratory [NPRL], Pretoria, Afrique du Sud (R. LAKE).

Office Fédéral de Métrologie [OFM], Berne, Suisse (P. KOCH).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig, République Fédérale d'Allemagne (F. MELCHERT).

Statens Provningsanstalt [SP], Borås, Suède (O. MATHIESEN).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft, Pays-Bas (R. KAARLS).

Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures (P. GIACOMO).

Assistaient également à la réunion : T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM, A. ALLISY, P. CARRÉ et J. W. MÜLLER (BIPM).

P. Giacomo a présidé la réunion et R. Kaarls a été nommé rapporteur.

## 1. Introduction

Le Président souhaite la bienvenue à tous les participants et forme des vœux pour le succès de la réunion. Il expose ensuite les raisons pour lesquelles le BIPM a été amené à s'occuper de l'expression des incertitudes \* des résultats expérimentaux. En août 1977, E. Ambler (NBS), membre du Comité International des Poids et Mesures (CIPM), attirait l'attention du CIPM sur le problème posé par la façon dont il convenait d'exprimer l'incertitude liée au résultat d'une mesure. Il apparaissait que le BIPM était bien placé pour traiter une telle question que l'on savait être complexe mais d'une grande importance pratique. En fait, le problème n'est pas nouveau et il s'est posé à plusieurs reprises dans les travaux du BIPM, en particulier au cours de discussions au sein de plusieurs Comités Consultatifs. En conséquence, le CIPM confia au BIPM le soin d'étudier dans le détail les problèmes posés.

Le manque d'uniformité dans la présentation des incertitudes est effectivement devenu un problème sérieux. En particulier, l'analyse des comparaisons internationales s'est révélée quelquefois quasiment impossible, faute de pouvoir attribuer une signification définie à la précision annoncée. Cette difficulté est bien connue de quiconque s'occupe de l'analyse de résultats expérimentaux de provenances diverses. On a aussi impérativement besoin d'un concept général sur lequel on puisse fonder les calculs, par exemple pour évaluer les limites d'incertitude ou les tolérances en métrologie légale et industrielle. La situation est devenue de plus en plus complexe au cours des dernières années du fait que différents organismes

---

\* On utilise ici le mot « incertitude » dans son sens général qui peut différer du sens restreint qui lui est parfois attribué par convention. « Incertitude » paraît être nettement préférable à « erreur » ; quelques raisons en sont données dans la réponse du NPL à l'enquête du BIPM (voir [1]).

ont fait des recommandations contradictoires. Il paraît urgent, en conséquence, que le BIPM tente d'arriver à des recommandations acceptables par tous avant que la situation ne devienne inextricable.

## 2. L'enquête du BIPM sur l'expression des incertitudes

Afin de bien connaître les différentes positions prises par les laboratoires nationaux dans ce domaine, le BIPM a décidé de préparer un questionnaire couvrant les principaux problèmes soulevés. La façon dont certaines questions fondamentales étaient posées était probablement nouvelle et inattendue pour quelques-unes des personnes qui reçurent le questionnaire ; on pouvait donc s'attendre à ce que l'enquête suscite des discussions fructueuses au sein des différents organismes scientifiques. On considérait de toute façon qu'il était nécessaire de clarifier ainsi les problèmes fondamentaux avant d'atteindre un accord éventuel à l'échelle internationale.

L'enquête a été adressée à 32 laboratoires nationaux dont on savait qu'ils avaient un intérêt particulier pour le sujet. Le questionnaire a été aussi communiqué pour information à cinq organisations internationales. Le Président rappelle que J. W. Müller a joué un rôle essentiel dans l'établissement du questionnaire et dans l'analyse des réponses ; il le remercie pour sa contribution. A la fin de 1978, 21 laboratoires avaient envoyé leurs réponses. Une autre réponse partielle est parvenue quelques semaines avant la réunion [10].

J. W. Müller donne un bref résumé du résultat de l'enquête. Il rappelle que l'un des buts principaux consistait à sélectionner les sujets de discussion pour un Groupe de travail.

Parmi les questions d'introduction, on demandait si une incertitude aléatoire devait être exprimée par un écart-type ou en faisant appel à des limites de confiance. La majorité des réponses était nettement favorable à la première proposition, à la condition que le nombre de degrés de liberté soit ajouté. Le passage à l'intervalle de confiance correspondant repose sur le choix d'un niveau arbitraire de probabilité et dans la pratique suppose l'existence d'une population normale sous-jacente. Il est par conséquent préférable d'utiliser le concept d'écart-type qui ne dépend pas de ces hypothèses supplémentaires.

Les questions suivantes concernaient la nécessité de distinguer plusieurs types d'incertitudes et la meilleure façon de les caractériser. Elles étaient plus difficiles. En conséquence, les réponses à ces questions présentaient une large dispersion. En ce qui concerne les incertitudes « systématiques », le choix entre les limites maximales, les intervalles de confiance ou les écarts-types suscitait beaucoup d'hésitation. La plupart des laboratoires participants considéraient comme important d'arriver à une règle convenue au niveau international pour combiner les incertitudes dites « aléatoires » et « systématiques » en une incertitude « globale » unique. Généralement parlant, en analysant les réponses aux différentes questions, on pouvait

avoir l'impression qu'il existait sans doute quelque chose comme une « majorité silencieuse » qui attendait une directive claire sur ces sujets tant controversés concernant les incertitudes expérimentales. Le Rapport BIPM-80/3 comporte un résumé de toutes les réponses ainsi que les réponses complètes données par le NBS, le BNM, la PTB et le NPL. Pour plus de détails, voir ce document [1].

Le Président fait remarquer que le but principal de la réunion est d'arriver à déterminer quelques règles claires et simples à utiliser pour exprimer les incertitudes. Ces règles doivent être fondées sur des arguments convaincants ; elles doivent pouvoir être utilisées de façon générale et acceptées par une grande majorité d'utilisateurs. Les règles arbitraires, si celles-ci sont vraiment nécessaires, doivent être réduites au strict minimum. Il serait aussi hautement souhaitable de trouver des prescriptions qui puissent être utilisées à tous les niveaux de métrologie. Ceci peut s'avérer difficile car les besoins effectifs sont très différents. En revanche, on peut considérer que dans la plupart des cas les principes fondamentaux d'évaluation des incertitudes sont essentiellement les mêmes. Il convient, par conséquent, que les discussions tentent de mettre en lumière les caractéristiques communes et ne se perdent pas dans les détails, bien que ceux-ci puissent aussi avoir une grande importance pratique.

Il est évident que toute tentative pour décrire une série de mesures avec peu de paramètres implique nécessairement une perte d'information. Si l'on trouve cela inacceptable, on doit conserver la série complète des données, mais, dans la plupart des cas, cela n'est ni possible ni souhaitable. Les statistiques conduisent à une solution possible : l'emploi des moments, en particulier des moments d'ordre inférieur. D'où l'habitude bien connue qui consiste à caractériser une série de données au moyen de grandeurs telles que les valeurs moyennes, les variances et les covariances. La question se pose de savoir si cette approche mathématique constitue un modèle utile pour des situations ordinaires.

### 3. Détermination des incertitudes au moyen de méthodes statistiques

Dans le cas des incertitudes aléatoires que l'on peut évaluer au moyen de séries de mesures répétées, le Groupe de travail pense à l'unanimité qu'on doit les exprimer à l'aide des variances estimées ( $s_i^2$ ) ou sous la forme d'« écarts-types » ( $s_i$ ), en ajoutant toujours le nombre correspondant de degrés de liberté  $\nu_i$ . Si l'on pense que les mesures sont liées, on devra également déterminer et indiquer les covariances correspondantes, lorsque l'importance du problème justifie le travail supplémentaire.

Il s'ensuit une discussion sur le rôle des intervalles de confiance et leur relation avec les écarts-types. L'un des participants pense que, pour le niveau d'exactitude le plus élevé, il n'est pas vraiment nécessaire de préciser le niveau de confiance. Pour une fonction de distribution connue il est toujours possible de déterminer l'intervalle correspondant. Si l'on peut considérer la population comme normale, comme on le suppose

fréquemment, la correspondance est bien connue et la mentionner ne donne aucune information nouvelle. Toutefois, une indication de ce type peut être nécessaire dans des cas où, par exemple, l'incertitude mesurée doit être comparée à une limite de tolérance imposée par la loi, à des tolérances d'essai déterminées d'avance ou à des spécifications industrielles.

F. Melchert fait remarquer que le projet de la nouvelle norme allemande DIN 1319, 3<sup>e</sup> partie, est fondée sur l'utilisation du tableau de Student et présuppose, par conséquent, que l'on peut appliquer très généralement la loi de distribution gaussienne. Même si l'on peut critiquer ce projet d'un point de vue strictement scientifique, il constitue pourtant un guide utile dans le domaine de la métrologie légale.

En conclusion, le Groupe de travail recommande d'exprimer ce type de composante de l'incertitude par un écart-type, estimé au moyen du  $s_i$  de l'échantillon, et en précisant le nombre correspondant de degrés de liberté  $\nu_i$ .

On discutera brièvement au point 5 la nécessité éventuelle d'associer l'expression de l'incertitude à un niveau de confiance donné, comme c'est souvent le cas en métrologie pratique ou légale, ainsi que les moyens possibles de le faire.

#### **4. Incertitudes que l'on ne peut pas déterminer par des méthodes statistiques**

Lorsqu'on peut évaluer des incertitudes expérimentales en partant d'une série de mesures, comme on l'a vu au point précédent, il ne se pose aucun problème sérieux car on peut utiliser des méthodes bien établies pour les déterminer. Toutefois, il existe de nombreux cas importants où cela n'est pas possible. Ceci nous conduit, comme l'a suggéré par exemple R. Collé, à faire la distinction entre les deux grandes catégories suivantes de composantes de l'incertitude :

— groupe A : l'évaluation peut être fondée sur des méthodes statistiques (objectives);

— groupe B : l'estimation doit faire appel à d'« autres méthodes »; ceci implique inévitablement quelque élément d'appréciation subjective.

La distinction traditionnelle entre incertitudes (ou « erreurs », comme on les appelait souvent naguère) « aléatoires » et « systématiques » est volontairement évitée ici, essentiellement parce que les contributions « systématiques » ont dans le passé été définies de façons très diverses (et souvent incompatibles). Le Groupe de travail recommande de ne pas utiliser ce terme car sa signification est souvent ambiguë, inconsistante et mal interprétée. Si le « groupe A » correspond sans doute dans la plupart des cas à ce que l'on qualifiait auparavant d'« aléatoire », le « groupe B » peut être très différent de ce que l'on entendait généralement par « systématique ». Afin de clarifier la différence d'approche, on pourrait peut-être dire que, tandis que la classification traditionnelle était fondée sur l'effet qu'une composante donnée de l'incertitude a sur le résultat final, les nouveaux groupes sont fondés sur la façon dont on peut obtenir l'incertitude. Comme l'utilisation que l'on peut faire d'un résultat

expérimental est variée, il peut arriver (et en fait il arrive) qu'une incertitude, que l'on avait pensée à l'origine aléatoire, devienne systématique, ou vice-versa, et il en résulte pas mal de difficultés dans la pratique. De tels changements non seulement entraînent des problèmes pour établir une classification non ambiguë, mais encore empêchent de déterminer une incertitude « globale » ou « finale » lorsqu'il faut tenir compte de contributions des deux types pour un résultat donné et lorsqu'on considère que les deux types relèvent d'un traitement mathématique différent. A. Williams rend compte de sérieuses difficultés rencontrées en essayant de suivre une méthode logique pour combiner les incertitudes « aléatoires » et « systématiques » lorsque les composantes « systématiques » avaient été déterminées d'une façon différente de celle utilisée pour les composantes « aléatoires ». La nouvelle classification est indépendante de l'utilisation ultérieure des résultats.

Après discussion, le Groupe de travail arrive à la conclusion que la meilleure façon de tenir compte de notre connaissance imparfaite de la valeur numérique à attribuer à une composante dite « systématique » consiste à traiter celle-ci selon un modèle probabilistique. Si nous disposions de suffisamment de temps (ou d'argent) et d'autres méthodes (ou d'équipements différents), notre connaissance pourrait être améliorée et la dispersion utilisée dans le modèle serait, en général, réduite.

Au cours de la discussion, on a bien précisé qu'en aucun cas le concept d'incertitude d'une mesure (quel que soit le groupe auquel elle appartient) ne doit être confondu avec celui de correction ; on a supposé au long des discussions qu'il avait déjà été tenu compte de toutes les corrections connues dans toute la mesure où l'expérimentateur le pouvait. Toutefois, il se peut que ces corrections ne soient pas suffisamment bien connues. Dans ce cas il convient de considérer les incertitudes supplémentaires qui en résultent. On suppose qu'elles ont un caractère aléatoire et elles peuvent appartenir au groupe A ou B.

En général, on connaîtra mieux les incertitudes du groupe A que celles du groupe B, mais il se peut que ce ne soit pas le cas. De même, dans la plupart des cas, celles du groupe A ne dépendront en rien de la personne qui analysera les résultats, mais là aussi l'objectivité ne sera pas absolue car on disposera parfois de plusieurs méthodes statistiques possibles pour analyser les résultats et le choix de la méthode sera évidemment subjectif. Il s'ensuit que la distinction entre les groupes A et B n'est pas nécessairement nette et il se peut qu'il y ait des cas où l'on hésite sur la classification. Nous verrons plus loin que cela n'a pas de conséquence véritable. En fait, on peut considérer que la distinction entre les deux groupes A et B est de nature pratique plutôt que « fondamentale ». Elle doit aider la personne qui analyse les résultats à être consciente des différents problèmes auxquels elle est confrontée dans le choix d'une valeur numérique qui caractérise l'incertitude. Cette subdivision peut aussi comporter une certaine justification pédagogique.

Le Président se demande s'il serait possible de caractériser les

composantes des groupes A et B de façon analogue. La situation semble être la suivante : alors que l'on peut à juste titre considérer les incertitudes du groupe A, qui seront ci-après désignées par  $s_i$ , comme des écarts-types estimés, au sens statistique, cela n'est pas vrai pour celles du groupe B, que l'on désignera par le symbole  $u_j$ . Malgré cela, par souci de simplicité, P. Koch suggère d'utiliser sans discrimination le terme « variance » à la fois pour  $s_i^2$  et  $u_j^2$ , ainsi que « écart-type » pour  $s_i$  et  $u_j$ . Toutefois, R. Collé insiste fortement pour que l'on n'appelle pas écarts-types les grandeurs  $u_j$ , car les statisticiens ne sauraient l'accepter. Après discussion, le Groupe de travail accepte entièrement ce point de vue pour éviter toute interférence avec des concepts bien définis. On peut même trouver des objections à l'emploi du verbe « estimer » pour parvenir à une valeur de  $u_j$  et on l'emploie ici seulement par manque d'un terme plus approprié. Des expressions comme « guesstimate » en américain ou « apprécier » en français seraient peut-être plus proches de ce que l'on veut vraiment dire.

A l'évidence, il faut tout d'abord répondre à une question importante : que voulons-nous vraiment exprimer par les grandeurs  $u_j$  ? En effet, il est clair qu'il y a plusieurs possibilités, mais certaines peuvent se révéler plus utiles que d'autres. Il convient de rappeler ici que le même problème s'est posé dans le passé, quand il a fallu caractériser une « incertitude systématique », et que diverses solutions avaient été proposées. Une proposition assez courante consistait à choisir ce que l'on appelait habituellement « limites maximales ». Ces limites étaient supposées comprendre selon toute probabilité la totalité du domaine dans lequel pouvait se trouver la « vraie » valeur (inconnue). Ce choix peut à première vue paraître très attrayant car il est simple à faire. Toutefois, il présente deux inconvénients majeurs : la grandeur est mal définie et il est pratiquement impossible de l'utiliser ultérieurement en liaison avec d'autres incertitudes (quel qu'en soit le type ou le groupe). Effectivement, en général, il n'y a même pas de règle simple pour la propagation des limites quand on additionne deux grandeurs dont on connaît les limites individuelles.

La seule solution viable à ce problème, semble-t-il, consiste à suivre les implications de la loi générale bien connue de « propagation des erreurs ». Les grandeurs essentielles qui figurent dans cette loi sont les variances (et covariances) des variables (mesures) concernées. Ceci indique donc que, si nous cherchons des mesures « utiles » des incertitudes auxquelles on puisse directement appliquer le formalisme habituel, nous devons choisir quelque chose que l'on puisse considérer comme la meilleure approximation disponible des « écarts-types » correspondants.

Après quelques discussions, ce raisonnement a conduit le Groupe de travail à convenir que l'on peut faire comme si les  $u_j^2$  étaient des variances. Ceci a abouti à la déclaration contenue dans le paragraphe 3 de la Recommandation (voir, p. A11). Les participants ont conscience que la mise en pratique de cette phrase quelque peu énigmatique constituera souvent une tâche très difficile. La recommandation se limite par conséquent à indiquer le but à atteindre sans dire de façon explicite comment y parvenir.

C'est évidemment un point crucial dans cette nouvelle approche et l'on peut s'attendre à des difficultés variées dans les situations réelles. Par manque de temps on n'a pas discuté très en détail les suggestions pour surmonter ces difficultés; ce point important devra être repris ultérieurement. Très schématiquement, on peut arriver à des estimations éventuelles de  $u_j$  de diverses façons, par exemple :

- On essaie d'apprécier directement  $u_j$ , par exemple au moyen d'un intervalle qui correspond à un niveau de confiance de 2/3 ou de 70 %.
- On essaie d'apprécier l'intervalle de confiance à un niveau de 50 %, on peut ensuite prendre  $u_j$  comme égal à environ 1,5 fois cet intervalle.
- On part d'un intervalle « sûr » et on essaie de lui associer soit un niveau de confiance (par exemple 95 % ou 99 %), soit directement un certain multiple de l'« écart-type » correspondant.

Dans ces approches il est nécessaire de faire (au moins de façon implicite) quelque supposition quant à la population sous-jacente. On laisse à la préférence personnelle de l'expérimentateur le choix de la supposer, par exemple, gaussienne ou rectangulaire. En règle générale, il faut viser des estimations réalistes des limites des incertitudes qui correspondent à un niveau donné de probabilité; il faut en particulier éviter d'avoir une attitude excessivement « prudente ».

Il est évident que la subdivision donnée ci-dessus des approches possibles pour obtenir  $u_j$  est tout à fait arbitraire. Pour l'essentiel, ces approches sont équivalentes et il n'est pas vraiment nécessaire de les distinguer. Il doit également être clair que dans la plupart des cas la valeur numérique de  $u_j$  ainsi obtenue ne sera pas très précise; quelquefois tout ce que l'on pourra espérer obtenir c'est une estimation de l'ordre de grandeur. Toutefois ceci ne doit pas nous préoccuper outre mesure, car c'est le propre même de l'estimation de quelque chose que nous ne connaissons pas réellement. En particulier, cela ne doit en aucun cas nous empêcher de faire une estimation, mais ce sera une bonne habitude de toujours se rappeler que toute conclusion tirée dans une telle situation ne peut évidemment pas être plus digne de foi que ne le sont les grandeurs sur lesquelles elle se fonde.

## 5. Incertitude composée et incertitude globale

Comme on est d'accord sur le fait que l'on peut traiter les contributions des deux catégories A et B comme si elles étaient de nature aléatoire, le Groupe de travail ne peut voir aucune objection à ce qu'elles soient traitées de la même façon et en particulier à ce qu'elles soient combinées, le cas échéant. Bien qu'on ne perde pas de vue que les termes  $u_j^2$  du groupe B ne sont pas vraiment des variances, l'opinion générale est que le mieux qu'on puisse faire est de leur appliquer, par analogie, la loi générale de la « propagation des erreurs ». En l'absence de corrélations on est par conséquent conduit à une incertitude composée, dont le carré est obtenu en additionnant toutes les contributions dues aux  $s_j^2$  et aux  $u_j^2$ . Pour la raison donnée ci-dessus celui-ci ne doit pas être appelé variance. Le Groupe de

travail espère que ce raisonnement simple pourrait conduire à abandonner la pratique qui consiste à additionner de façon linéaire certaines contributions pour obtenir l'incertitude composée.

Comme à partir de là les composantes d'incertitude appartenant soit au groupe A, soit au groupe B sont traitées sur un pied d'égalité, il est clair que tous les problèmes liés à la nature exacte de cette subdivision sont de moindre importance et en fait n'ont aucune influence sur la valeur numérique de l'incertitude composée.

Plusieurs participants font remarquer qu'il va être difficile de penser qu'une telle incertitude composée pourra être utilisée dans certaines applications pratiques importantes, comme par exemple les certificats. De plus, les prescriptions légales et les spécifications industrielles peuvent être fondées sur un intervalle de confiance donné. Ce problème donne lieu à quelques discussions que l'on peut résumer comme suit. Tandis que pour les contributions du groupe A le lien avec un niveau de confiance repose généralement sur l'hypothèse supplémentaire (rarement vérifiable) qu'on peut les considérer comme un échantillon faisant partie d'une population normale, une telle hypothèse semble être plus difficile à justifier pour le groupe B. On souligne, toutefois, que cette difficulté ne résulte nullement de l'introduction de la nouvelle subdivision, mais seulement qu'elle est maintenant mieux mise en lumière. En fait, il était auparavant possible de recouvrir notre ignorance par un concept flou tel que « limite maximale d'erreur », ou un équivalent, dont la relation à la probabilité était à l'évidence aussi difficile à établir que c'est le cas maintenant. Comme, en l'absence de tout contrôle fiable, il serait naïf de penser que la nature agit simplement en accord avec les désirs humains, le Groupe de travail, pleinement conscient de cet obstacle, préfère adopter une position ouverte. Il peut y avoir des cas — en particulier quand les contributions du groupe B sont de peu d'importance — où la supposition d'appartenance à une population normale constituera une approximation raisonnable. Cela est également vrai lorsqu'on peut invoquer avec confiance le Théorème Central Limite. En général, toutefois, la fonction de distribution sous-jacente n'est pas suffisamment bien connue pour permettre de calculer les intervalles de confiance.

Au vu de cette situation, il semble qu'une position quelque peu différente et, on l'espère, plus réaliste puisse se justifier. Chaque fois que l'on a besoin d'un domaine plus large pour l'incertitude, il est toujours possible d'obtenir une « incertitude globale » en multipliant l'incertitude composée ci-dessus par un certain facteur constant  $k$ . Comme son évaluation exacte est impossible, il ne sert pas à grand-chose de choisir des valeurs « précises »; on pense que, dans la plupart des cas, des valeurs conventionnelles comme  $k = 2$  ou  $k = 3$  suffiront. On peut avoir une idée de la valeur approximative à choisir en supposant, à titre d'exemple, que l'on peut effectivement identifier l'incertitude composée avec l'écart-type d'un échantillon provenant d'une population normale (avec un nombre approprié de degrés de liberté),  $k$  étant alors identique au facteur  $t$  bien

connu. Toutefois, il ne faut pas prendre trop au sérieux une interprétation de ce genre. Vu l'extrême variété des applications éventuelles, le Groupe de travail ne pense pas qu'il lui incombe de fixer une valeur unique recommandée pour le facteur  $k$ . Ceci doit être laissé à l'expérimentateur ou à tout autre organisme concerné (par exemple OIML, ISO, CEI). La seule nécessité stricte est que, si un facteur de ce genre est utilisé, sa valeur numérique soit clairement indiquée.

Pour les applications en métrologie industrielle, il peut être utile de se rappeler que l'incertitude globale, à la condition d'accepter l'hypothèse simplificatrice d'une population sous-jacente normale, correspond de façon approximative à l'intervalle de confiance habituel. Chaque fois que des résultats provisoires ou définitifs vraiment importants sont publiés (par exemple en recherche fondamentale, pour des certificats d'étalonnage, ...), on doit donner une liste complète des composantes de l'incertitude. Il sera quelquefois raisonnable de donner aussi les covariances. Dans d'autres cas, il suffira d'indiquer l'incertitude globale et le facteur  $k$ .

## 6. Remarques finales

Le Président attire l'attention du Groupe de travail sur l'importance qu'il y a de rédiger une recommandation. Celle-ci doit donner, sous une forme condensée, les grandes lignes des principes sur lesquels se fonde la nouvelle méthode que l'on propose pour exprimer les incertitudes.

La Recommandation sera soumise au CIPM lors de sa prochaine réunion en octobre 1981. Le CIPM peut l'accepter, la rejeter ou proposer des modifications. Si elle est approuvée, elle deviendra une recommandation internationale officielle. Elle est donnée à la fin du présent rapport, telle qu'elle a été rédigée par le Groupe de travail.

L'élaboration du projet de recommandation a été l'une des tâches principales de cette réunion. Faute de temps, il n'a pas été possible de discuter à fond tous les sujets proposés. Parmi ceux qui sont revenus à plusieurs reprises, on peut mentionner les problèmes liés au vocabulaire. En conséquence, il faut considérer comme provisoires les nouveaux termes qui figurent dans la Recommandation, en particulier les expressions « incertitude composée » ou « incertitude globale ». La même remarque s'applique aux expressions « catégorie A » et « catégorie B », ainsi qu'aux symboles utilisés pour les incertitudes correspondantes.

Il est bien entendu que la Recommandation proposée ne donne pas toutes les indications nécessaires pour la mise en œuvre des nouvelles directives dans les travaux de laboratoire. A cet effet on envisage de rédiger un « livre de recettes » dans lequel seront traités un certain nombre d'exemples typiques illustrés par des applications numériques. Entre-temps, on invite les laboratoires nationaux à suivre cette Recommandation et à tenir le BIPM informé des résultats. Aucune date n'est fixée pour une éventuelle réunion ultérieure du Groupe de travail.

Mars 1981, révisé en août 1981.

**Recommandation**  
**du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes**  
**présentée**  
**au Comité International des Poids et Mesures**

Expression des incertitudes expérimentales

RECOMMANDATION INC-1 (1980) \*

1. L'incertitude d'un résultat de mesure comprend généralement plusieurs composantes qui peuvent être groupées en deux catégories d'après la méthode utilisée pour estimer leur valeur numérique :

- A. celles qui sont évaluées à l'aide de méthodes statistiques,
- B. celles qui sont évaluées par d'autres moyens.

Il n'y a pas toujours une correspondance simple entre le classement dans les catégories A ou B et le caractère « aléatoire » ou « systématique » utilisé antérieurement pour classer les incertitudes. L'expression « incertitude systématique » est susceptible de conduire à des erreurs d'interprétation ; elle doit être évitée.

Toute description détaillée de l'incertitude devrait comprendre une liste complète de ses composantes et indiquer pour chacune la méthode utilisée pour lui attribuer une valeur numérique.

2. Les composantes de la catégorie A sont caractérisées par les variances estimées  $s_i^2$  (ou les « écarts-types » estimés  $s_i$ ) et les nombres  $\nu_i$  de degrés de liberté. Le cas échéant, les covariances estimées doivent être données.

3. Les composantes de la catégorie B devraient être caractérisées par des termes  $u_j^2$  qui puissent être considérés comme des approximations des variances correspondantes dont on admet l'existence. Les termes  $u_j^2$  peuvent être traités comme des variances et les termes  $u_j$  comme des écarts-types. Le cas échéant, les covariances doivent être traitées de façon analogue.

4. L'incertitude composée devrait être caractérisée par la valeur obtenue en appliquant la méthode usuelle de combinaison des variances. L'incertitude composée ainsi que ses composantes devraient être exprimées sous la forme d'« écarts-types ».

5. Si pour des utilisations particulières on est amené à multiplier par un facteur l'incertitude composée afin d'obtenir une incertitude globale, la valeur numérique de ce facteur doit toujours être donnée.

---

\* A sa 70<sup>e</sup> session (octobre 1981) le CIPM a adopté la Recommandation 1 (CI-1981) reconnaissant « que les propositions du Groupe de travail pourraient constituer la base d'un accord éventuel pour l'expression des incertitudes » et recommandant que ces propositions soient mises à l'essai (voir p. 26).

Liste des documents présentés à la réunion

- [1] Report on the BIPM enquiry on error statements, Rapport BIPM-80/3, 50 pages (BIPM, 1980). Une version française est publiée dans *Procès-Verbaux CIPM* **48** (1980), Annexe III, pp. C 1-36.
- [2] Guidelines for estimation and statement of overall uncertainty in measurement results, par le National Physical Laboratory of India et le Standards and Industrial Research Institute of Malaysia, CSC (80) MS-9 (Commonwealth Science Council, Londres, 1980), 13 p.
- [3] Beschreibung des Fehlers eines korrigierten Messergebnisses, par H.-J. v. Martens et E. Pippig, *Feingerätetechnik* **28**, 359-364 (1979).
- [4] On the quantitative characterization of the uncertainty of experimental results in metrology, par S. R. Wagner, *PTB-Mitteilungen* **89**, 83-89 (1979).
- [5] Combination of systematic and random uncertainties, par S. R. Wagner, in *Conference on Precision Electromagnetic Measurements*, Braunschweig (juin 1980), 241-246.
- [6] Some second thoughts on error statements, par J. W. Müller, *Nucl. Instr. and Meth.* **163**, 241-251 (1979).
- [7] Les incertitudes de mesures, par J. W. Müller, in *La Physique*, Encyclopédie Scientifique de l'Univers, Vol. 4 (Gauthier-Villars, Paris, 1981), 11-17.
- [8] Commentaires de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin, Italie, 25 juillet 1980, 14 p.
- [9] Commentaires de l'Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, RDA, 30 juillet 1980, 9 p.
- [10] Expression des incertitudes « systématiques », commentaires de l'Office Fédéral de Métrologie, Berne, Suisse, 23 septembre 1980, 10 p.

Ces documents peuvent être obtenus sur demande adressée au Directeur du BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92310 Sèvres, France.

---

---

RAPPORT DU PRÉSIDENT  
DU COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE  
DES RAYONNEMENTS IONISANTS  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(Septembre 1981)

---

L'utilisation des rayonnements ionisants se répand en médecine pour les diagnostics et les traitements, dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité et dans de nombreux secteurs industriels, en particulier pour des traitements destinés à améliorer les propriétés des matériaux. Il s'ensuit que le nombre et la variété des sources de rayonnements ionisants en usage augmentent.

Le grand public et les gouvernements sont de plus en plus soucieux que ces rayonnements ionisants soient utilisés dans les conditions de sécurité voulues. La multiplication de leurs utilisations a conduit à établir des règlements dont le but est de protéger les citoyens contre d'éventuels risques d'irradiation. La conformité avec ces règlements est assurée par des mesures de rayonnement basées sur une source de référence. Il est essentiel que ces mesures soient correctes si l'on veut contrôler la bonne application des règlements et assurer la sécurité du public. Les laboratoires nationaux doivent fournir des étalons de mesure exacts et cohérents, constituant les références auxquelles peuvent se rapporter les mesures de routine.

Les mesures exactes de rayonnements ionisants continuent donc à prendre de l'importance. Les projets de centrales électriques à réacteur nucléaire requièrent des mesures de neutrons, de rayons X ou  $\gamma$  et d'activité ayant une incertitude inférieure à 1 % environ. On considère généralement comme maximum tolérable une incertitude d'environ 5 % pour déterminer la dose absorbée par une tumeur en radiothérapie du cancer, ce qui suppose une incertitude n'excédant pas 3 % environ pour les mesures physiques et 1 à 2 % pour les étalons nationaux. On peut tolérer des incertitudes un peu plus grandes sur les mesures, effectuées à faibles niveaux de rayonnement, pour la protection des travailleurs et de l'ensemble de la population ainsi que pour la surveillance de l'environnement. C'est le propre des mesures de rayonnements ionisants que d'avoir très directement des répercussions sur la santé et la sécurité des êtres humains. Le rôle central du CIPM et du BIPM dans le système international de mesures pour les rayonnements ionisants est de la plus haute importance.

Le CCEMRI \* comporte trois sections : Sections I, Rayons X et  $\gamma$ , électrons; Section II, Mesure des Radionucléides et Section III, Mesures neutroniques.

Ce rapport suit, dans sa présentation, cette division en trois sections. Pour chaque section on passe successivement en revue :

- A. Les besoins en étalons
- B. Le programme de travail prévu pour la période de 1979 à 1981
- C. Les réalisations (par rapport au programme de 1979-1981)
- D. Les travaux futurs envisagés de 1981 à 1983.

Les activités du BIPM directement liées à celles du CCEMRI sont mentionnées dans la section correspondante du rapport.

### Section I, Rayons X et $\gamma$ , électrons

#### A. Besoins en étalons

Ainsi qu'il a été indiqué dans le rapport de 1979, les besoins, connus et nouveaux, pour la mesure des rayonnements ionisants se situent à trois niveaux très différents de dose absorbée correspondant respectivement à la radioprotection, à la radiothérapie et aux applications industrielles. C'est en radiothérapie que l'on a besoin de l'exactitude la plus grande dans les mesures, et c'est aux besoins dans ce domaine que la Section I a consacré le plus d'attention. Il convient de rappeler ici que l'interaction des rayonnements ionisants et de la matière est extrêmement complexe, et dépend à la fois du matériau et de l'énergie considérés. On doit donc faire appel à des techniques très variées et qui dépendent de la grandeur à mesurer. De plus, l'exactitude atteinte dépend de la détermination des différents facteurs de correction et des incertitudes sur les facteurs de conversion, suivant les grandeurs dont on a besoin.

Ainsi, en 1979, deux problèmes ont été mis en lumière. D'abord, la perte d'exactitude en passant des grandeurs actuellement mesurées au moyen d'étalons primaires (exposition, dose absorbée dans le graphite) à la grandeur employée comme référence dans le traitement des malades (dose absorbée dans l'eau); ensuite, les répercussions que le fait d'introduire l'unité SI pour la grandeur « exposition » a eues sur la façon dont cette grandeur est acceptée dans le milieu des radiologues en général, et le débat qui s'en est suivi sur les mérites d'autres grandeurs \*\*.

---

\* L'annexe C donne la liste des laboratoires et des organismes mentionnés dans le présent rapport.

\*\* En ce qui concerne les grandeurs et les unités en métrologie des rayonnements, il convient d'attirer l'attention sur la publication de nouvelles éditions des deux livres mentionnés dans le Rapport du CCEMRI, 8<sup>e</sup> session (1979), p. R 16 : (1) « Le Système International d'Unités (SI) », OFFILIB, 48, rue Gay-Lussac, F-75240 PARIS Cedex 05, 4<sup>e</sup> édition, 1981, (2) « Radiation Quantities and Units », International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), Report 33, 7910 Woodmont Avenue, Washington DC, USA, 1980.

## B. Programme de travail prévu pour la période de 1979 à 1981

Ayant admis que l'étalonnage en termes de dose absorbée dans l'eau (dans certaines conditions spécifiées) est un besoin essentiel en radiothérapie, on a reconnu la nécessité d'en obtenir la détermination avec une exactitude accrue. A cette fin, la Section I a créé deux Groupes de travail : un Groupe pour étudier le passage de l'exposition (mesurée dans l'air) à la dose absorbée dans l'eau ; l'autre Groupe pour étudier le passage de la dose absorbée dans le graphite (mesurée dans un calorimètre) à la dose absorbée dans l'eau. On a besoin de valeurs numériques affinées pour les facteurs de conversion ; il est nécessaire de se mettre d'accord sur les conditions à spécifier pour effectuer les étalonnages et de les faire connaître.

Un troisième Groupe a été créé pour effectuer une comparaison entre les services de référence qui fonctionnent dans un certain nombre de laboratoires nationaux qui utilisent des dosimètres chimiques à sulfate ferreux (Fricke) pour comparer directement des mesures de dose absorbée dans l'eau.

Ces travaux se sont ajoutés au programme courant de comparaisons d'étalons d'exposition et de dose absorbée. On ne perd pas de vue tous les besoins particuliers en étalons au niveau de la radioprotection et des applications industrielles ; le point de la situation sera fait lors de la prochaine réunion de la Section.

## C. Réalisations pendant la période de 1979 à 1981

Les trois Groupes de travail ont présenté leur rapport à la Section :

### 1. Passage de l'exposition à la dose absorbée (Présidence : NRC)

Le problème a été analysé de manière approfondie, ce qui a fait ressortir la situation de chacune des composantes des facteurs de conversion entrant en jeu dans le passage de l'exposition à la dose absorbée. Des questions importantes subsistent, en particulier l'incertitude relativement grande sur le rapport des coefficients massiques d'absorption de l'énergie selon que l'on travaille dans le domaine des faibles énergies ou dans celui des énergies moyennes. De plus, un facteur de conversion total plus exact ne s'appliquera pas à toutes les chambres d'ionisation secondaires puisque certaines composantes dépendent de la chambre. Il est par conséquent évident qu'il faut faire encore des recherches expérimentales si l'on veut atteindre une meilleure exactitude.

On est parvenu à un accord pour recommander les profondeurs de référence auxquelles doivent être faites les mesures.

### 2. Passage de la dose absorbée dans le graphite à la dose absorbée dans l'eau (Présidence : NBS)

On peut effectuer de différentes manières le passage de la dose absorbée dans un calorimètre en graphite à la dose absorbée dans l'eau ; un certain

nombre de laboratoires nationaux ont donné des indications sur la marche à suivre. Jusqu'ici, les mesures dont il a été question se rapportaient à des faisceaux de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ , mais parmi les méthodes proposées quelques-unes étaient utilisables avec des rayonnements produits à des énergies plus élevées. Une étude de ces méthodes montre que ce passage est maintenant bien compris dans sa totalité, et l'on dispose pour le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$  de toutes les informations nécessaires pour l'effectuer avec une exactitude satisfaisante.

### 3. Comparaison de dosimètres « Fricke » pour la mesure de la dose absorbée (Présidence : NPL)

On a effectué avec succès la comparaison des systèmes de dosimétrie chimique « Fricke » utilisés par un certain nombre de laboratoires nationaux. On a d'abord fait une comparaison des spectrophotomètres. Toutes les ampoules ont été irradiées au BIPM dans le même faisceau de rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ . Certaines ampoules ont été transportées à la main, d'autres envoyées par la poste (comme dans un service de routine); pour tous les laboratoires qui sont parvenus à terminer la comparaison, la dispersion des valeurs moyennes était de l'ordre de 2,5 %. Toutefois, si l'on uniformise les facteurs de correction, on réduit la dispersion à moins de 1 % entre les laboratoires dont les systèmes de mesure sont bien au point.

### 4. Caractérisation des champs de photons

Les discussions sur le choix des grandeurs à utiliser pour caractériser des champs de rayonnements de photons se sont poursuivies au cours de ces deux années, à la suite des problèmes posés par l'utilisation de la grandeur exposition. A ce sujet, la République Fédérale d'Allemagne a fait des propositions sur l'adoption de « kerma-eau dans l'air » (le choix entre le kerma dans l'air et le kerma dans l'eau a été laissé libre dans un projet de norme établi dans ce pays), tandis qu'au Royaume-Uni on préférerait le kerma dans l'air. Un certain nombre de laboratoires nationaux ont pris part aux discussions générales au cours de ces deux années. A l'issue des échanges de vues lors de la réunion de la Section I, une recommandation \* a été faite; elle spécifie que les étalonnages d'instruments effectués dans l'air et en termes d'exposition, peuvent être également exprimés en kerma dans l'air ou en kerma dans l'eau, à la condition d'indiquer les facteurs utilisés pour passer de l'exposition au kerma, ainsi que leurs incertitudes. Cette décision ne remplace pas les recommandations faites lors des précédentes réunions de la Section qui se rapportaient aux résultats exprimés en dose absorbée dans l'eau (dans des conditions spécifiées).

---

\* Voir Recommandation R(I)-1 (1981) ci-après, p. B6. Il s'agit d'une version ayant subi des modifications rédactionnelles proposées par les membres du CCEMRI; elle a été soumise aux membres de la Section I pour approbation.

### 5. Mesures dans les domaines de la radioprotection et des irradiations industrielles

En ce qui concerne les mesures en radioprotection, on a noté que des discussions sur les grandeurs à utiliser sont en cours ailleurs (ICRU); rien n'a donc été fait pour le moment. Pour les mesures dans les utilisations industrielles, on a noté que le programme de comparaisons en cours à l'AIEA comporte des essais d'autres dispositifs de transfert et que trois laboratoires nationaux effectuent des irradiations pour certains de ces essais. Plusieurs laboratoires nationaux assurent maintenant des services dans ce domaine. La Section n'a rien entrepris d'autre pour le moment.

### 6. Comparaisons d'étalons d'exposition et de dose absorbée

Il a été rendu compte de comparaisons d'étalons d'exposition, faites soit au BIPM, soit directement entre laboratoires nationaux, ainsi que d'une comparaison de mesures de dose absorbée pour des rayonnements  $\beta$ , effectuée au cours de cette période.

### D. Travaux futurs envisagés de 1981 à 1983

On continuera à faire des comparaisons d'étalons d'exposition et de dose absorbée pour les mesures en radiothérapie; de plus on a lancé un nouveau programme de comparaisons pour certaines mesures en radioprotection. Ce nouveau programme porte sur les sources faibles de rayonnements gamma, dans le domaine d'énergie de 6 keV à 1,2 MeV, utilisées pour étalonner les instruments de contrôle; pour le réaliser on utilisera des dosimètres thermoluminescents qu'un laboratoire suédois fera circuler. Un certain nombre de laboratoires nationaux ont exprimé leur désir de participer à ce programme.

L'attention des membres a été attirée sur la nécessité d'avoir des données plus exactes dans les domaines suivants :

- facteurs de conversion pour le passage de l'exposition à la dose absorbée,
- facteurs de conversion pour le passage de la dose absorbée dans le graphite à la dose absorbée dans l'eau pour les rayonnements de haute énergie (supérieure à l'énergie  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ ).

Parmi les autres domaines de recherche intéressant directement la Section I, citons :

- la mesure directe de la dose absorbée dans l'eau (avec un calorimètre à eau),
- le point effectif de mesure d'une chambre d'ionisation.

La Section I doit aussi rester attentive à plusieurs autres domaines d'activité :

- l'adoption envisagée des grandeurs kerma dans l'air et kerma dans l'eau pour caractériser les champs de rayonnement de photons dans l'air;

- les grandeurs à utiliser en radioprotection;
- les comparaisons effectuées sous les auspices de l'AIEA dans le domaine des irradiations industrielles.

On a encouragé les membres de la Section à faire circuler entre eux les publications; on a préconisé de faire mieux connaître les travaux de la Section dans les publications spécialisées en radiologie, après avoir fait circuler le rapport de la réunion.

**Recommandation du CCEMRI (Section I)  
présentée  
au Comité International des Poids et Mesures**

Grandeurs de référence pour étalonnages dans l'air

RECOMMANDATION R(I)-1 (1981)

La Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

*rappelant* et confirmant ses Recommandations R(I)-1 (1977) et R(I)-1 (1979), et en particulier

- que l'on doit continuer à conserver et comparer les étalons d'exposition,
- que l'on a le plus grand besoin, pour la radiothérapie, de la dose absorbée dans l'eau,

*recommande*

- que les recherches concernant les déterminations directes de la dose absorbée et les facteurs de conversion permettant de déduire la dose absorbée de l'exposition soient activement poursuivies,
- que, lorsqu'on a besoin de grandeurs physiques caractérisant des champs de photons dans l'air, les étalonnages d'instruments effectués en termes d'exposition puissent aussi être exprimés en kerma dans l'air ou en kerma dans l'eau,
- que les facteurs utilisés pour convertir l'exposition en kerma soient précisés, ainsi que leurs incertitudes.

**Section II, Mesure des radionucléides**

*A. Besoins en étalons*

Au cours des dernières années les besoins en étalons de radioactivité se sont régulièrement accrus. Cela concerne trois domaines principaux d'application — la recherche scientifique et la métrologie appliquée des

radionucléides, la médecine nucléaire (diagnostic et thérapie) et enfin la radioprotection et la gestion des déchets. Comme la réponse des instruments de mesure pour une activité donnée dépend du type et de l'énergie des rayonnements émis, chaque radionucléide requiert son propre étalon et chaque étalonnage ses techniques spéciales.

On a besoin d'étalons de grande exactitude dans le domaine de la recherche scientifique, par exemple pour l'étalonnage des sources de neutrons, la mesure du débit de fluence de neutrons, ou la détermination des sections efficaces d'activation. On a besoin de l'exactitude la plus élevée que l'on puisse obtenir pour étalonner l'efficacité des spectromètres à semiconducteurs utilisés pour mesurer les probabilités d'émissions de rayonnements  $\gamma$  et X; en effet ceci est très important pour déterminer les schémas de désintégration, pour calculer les constantes de débit de kerma et les besoins de protection, et pour analyser quantitativement des sources comportant plusieurs radionucléides (comme dans le cas de l'analyse par activation ou de la détermination non destructive du taux de combustion des combustibles nucléaires).

Les radionucléides utilisés jusqu'ici pour les diagnostics médicaux sont de plus en plus remplacés par des radionucléides de courte durée de vie produits dans un cyclotron, afin de diminuer la dose reçue par les malades. Les fabricants de produits pharmaceutiques radioactifs ont besoin d'étalons de ces nouveaux radionucléides pour étalonner leurs dosimètres.

De plus, la méfiance du public à l'égard de tous les phénomènes liés à la radioactivité a déclenché une avalanche de contrôles et de règlements portant sur la surveillance de l'environnement. Pour les mesures dans ce domaine il est d'importance vitale de disposer d'étalons appropriés et de matériaux de référence certifiés.

## B. Programme de travail prévu pour la période de 1979 à 1981

### 1. *Achèvement des comparaisons commencées pendant la période précédente*

On a achevé la partie expérimentale de la comparaison internationale à grande échelle de  $^{134}\text{Cs}$  et de la comparaison des sources de référence de rayonnement  $\gamma$ . Les rapports définitifs ont été établis. Pour les comparaisons restreintes de  $^{137}\text{Cs}$  et de  $^{55}\text{Fe}$ , à l'époque de la dernière réunion de la Section II, les participants n'avaient pas encore tous communiqué leurs résultats aux laboratoires pilotes. Les rapports ont été préparés dès la réception des résultats des derniers participants.

### 2. *Nouvelles comparaisons internationales*

A la réunion de la Section II, en 1979, il avait été décidé de faire seulement une comparaison restreinte pendant la période de 1979 à 1981 et le Groupe de travail chargé d'étudier les comparaisons futures devait choisir un radionucléide approprié. Parmi une douzaine de candidats éventuels, le choix s'est

porté sur le  $^{133}\text{Ba}$  pour des raisons métrologiques et pratiques. Le  $^{133}\text{Ba}$ , qui se désintègre par capture électronique selon un schéma complexe, est très important pour l'étalonnage de l'efficacité des spectromètres à semiconducteurs ; il est souvent utilisé comme étalon pour remplacer le  $^{131}\text{I}$ , à vie courte, dans des applications ayant trait à la médecine et à l'environnement.

### 3. *Système international de référence pour les émetteurs de rayonnement $\gamma$*

On a encouragé les laboratoires nationaux à utiliser davantage les possibilités de ce système et à y introduire de nouveaux radionucléides.

### 4. *Monographies et bibliographies*

— Préparation et publication des monographies sur l'utilisation des compteurs à scintillateur liquide et sur l'emploi et le fonctionnement des chambres d'ionisation.

— Mise à jour et publication, sous forme de Rapports BIPM avec des résumés appropriés, des bibliographies sur les effets des temps morts, les effets d'empilement et le comptage par corrélation.

## C. *Réalisations pendant la période de 1979 à 1981*

### 1. *Comparaisons internationales*

Le rapport final sur la comparaison internationale de  $^{134}\text{Cs}$  de 1978 a été rédigé (Rapport BIPM-80/2) ; une version abrégée a été préparée pour être publiée dans une revue scientifique.

Le rapport final de la comparaison de sources de référence de rayonnement  $\gamma$  a été préparé et paraîtra sous forme de Rapport BIPM.

On a achevé la comparaison restreinte de  $^{137}\text{Cs}$ . Dix laboratoires y ont pris part ; ils ont communiqué au BIPM 15 résultats indépendants. Comme l'on s'y attendait, les résultats de cette expérience, qui utilisait un indicateur d'efficacité, sont plus dispersés que pour la comparaison de  $^{134}\text{Cs}$ . L'écart-type est de 0,5 %, alors qu'il était de 0,15 % pour la comparaison de  $^{134}\text{Cs}$ . Le rapport de la comparaison de  $^{137}\text{Cs}$  a été rédigé (Rapport BIPM-80/1).

On a achevé la partie expérimentale de la comparaison de  $^{55}\text{Fe}$ , organisée par le NPL au nom du BIPM. Onze laboratoires y ont pris part ; ils ont utilisé des méthodes extrêmement variées pour mesurer l'activité massique,  $N_0$ , de la solution distribuée (16 résultats) et/ou le taux d'émission massique  $N_X$  du rayonnement  $X_K$  (10 résultats). La dispersion totale de  $N_0$  s'est élevée à 4,9 % et celle de  $N_X$  à 7 %. Un rapport préliminaire a été envoyé aux participants. Les résultats feront l'objet d'un Rapport BIPM.

Une comparaison restreinte de  $^{133}\text{Ba}$  a commencé à la fin de 1980 ; six laboratoires y ont pris part. Le matériau radioactif a été aimablement fourni par le LMRI. Ce laboratoire s'est également chargé des contrôles

d'impuretés et de la distribution. Quoique des techniques bien établies pour la préparation des sources et les mesures d'activité aient été employées, on a constaté des écarts anormalement grands dans les résultats finaux. On peut en partie attribuer ces écarts à la proportion relativement élevée de l'activité adsorbée sur les parois des ampoules, phénomène qui a été noté par plusieurs participants. Les résultats communiqués font apparaître une dispersion totale de 2,2 %.

### 2. *Système international de référence pour les émetteurs de rayonnement $\gamma$ (SIR)*

Ce système, fondé sur une chambre d'ionisation à puits à haute pression et une source de référence de radium, est maintenant bien établi. A l'heure actuelle, 18 laboratoires nationaux utilisent la possibilité de comparer leurs résultats à tout moment avec ceux d'autres participants. Chaque année une cinquantaine d'ampoules sont envoyées au BIPM et mesurées dans le cadre de ce système. Jusqu'ici 40 radionucléides émetteurs de rayonnement  $\gamma$  ont été introduits dans le SIR.

### 3. *Méthode d'échantillonnage sélectif*

On a élaboré et mis en œuvre une nouvelle méthode pour mesurer la radioactivité d'une manière absolue. Cette méthode est utilisable avec tous les nucléides que l'on peut mesurer par la méthode traditionnelle des coïncidences, mais elle évite tous les problèmes liés aux coïncidences par une mesure directe des efficacités de comptage des détecteurs bêta ou gamma. Sa principale utilisation se situe donc aux taux élevés de comptage. Comme le critère permettant de déterminer si deux impulsions observées proviennent de la même désintégration est de nature causale et non temporelle, cette méthode peut aussi être utilisée pour des transitions isomères. Une publication décrivant cette nouvelle approche est parue dans *Nuclear Instruments and Methods* **189**, 449-452 (1981).

### 4. *Monographies et Bibliographies*

La monographie sur la réalisation du comptage par scintillateur liquide a été achevée et publiée (Monographie BIPM-3, « The Application of Liquid-Scintillation Counting to Radionuclide Metrology »). Les contributions ont été préparées par un Groupe de travail de la Section II et éditées par W. B. Mann et J. G. V. Taylor, avec des commentaires de J. Steyn sur la dernière version du projet.

Une autre monographie sur l'emploi et le fonctionnement des chambres d'ionisation comme systèmes de référence pour les radionucléides émetteurs de rayonnement  $\gamma$  est en préparation.

On a mis à jour la bibliographie sur les effets de temps morts qui a été publiée pour la première fois en 1975 (Rapport BIPM-75/6); elle contient maintenant plus de 550 titres. La nouvelle bibliographie sur les effets d'empilement comprend environ 170 références. Ces deux listes, présentées

avec une introduction, seront publiées sous forme de Rapports BIPM. En revanche, la bibliographie prévue sur le comptage par corrélation est encore incomplète et sa publication doit être reportée.

#### D. Travaux futurs envisagés de 1981 à 1983

Compte tenu des grands écarts dans les résultats finaux de la dernière comparaison de  $^{133}\text{Ba}$ , attribués en partie à une instabilité chimique de la solution distribuée, on envisage de faire une seconde comparaison restreinte de ce radionucléide vers la fin de 1981. Une nouvelle solution sera distribuée par la PTB aux six mêmes participants ; avant distribution, on effectuera des contrôles d'adsorption sur les parois et de stabilité de la solution.

Une comparaison à grande échelle de  $^{137}\text{Cs}$  est envisagée pour le printemps 1982. Comme le  $^{137}\text{Cs}$  doit être mesuré au moyen de la méthode de l'indicateur d'efficacité, la solution de  $^{137}\text{Cs}$  sera accompagnée d'une solution de  $^{134}\text{Cs}$  servant de traceur et dont l'activité massique sera déterminée à l'aide de la chambre d'ionisation du BIPM. Les deux solutions seront fournies et distribuées par la PTB.

On envisage une comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$  pour le début de l'année 1983. Le matériau sera produit par le NAC, puis préparé et distribué par l'OMH qui procédera également à l'analyse des résultats. Huit laboratoires ont manifesté leur intention de participer à cette comparaison.

La monographie sur l'emploi et le fonctionnement des chambres d'ionisation comme système de référence pour les radionucléides émetteurs  $\gamma$  sera préparée pendant cette période.

### Section III, Mesures neutroniques

#### A. Besoins en étalons

On a besoin de mesures neutroniques fiables pour l'exploitation, avec sécurité et efficacité, de l'énergie nucléaire produite par les réacteurs à fission et à fusion ; on en a généralement besoin pour la protection des travailleurs contre les rayonnements neutroniques dans de nombreuses installations nucléaires, pour la radiothérapie neutronique (domaine en expansion), pour les autres utilisations des neutrons dans la recherche scientifique et pour les mesures et les analyses dans l'industrie. Il s'ensuit que les étalons neutroniques ainsi que leur transfert jusqu'au niveau de l'utilisateur sont de la plus haute importance.

La fission et la fusion nucléaire sont deux techniques susceptibles de fournir à l'humanité des quantités extrêmement grandes d'énergie. Ces techniques posent des problèmes tels que : garantie de la sécurité en cas d'accident, évacuation des déchets des réacteurs à fission, preuve de la possibilité de réalisations techniques et de la résistance des matériaux aux

champs de rayonnements intenses des réacteurs à fusion. Les sections efficaces neutroniques constituent l'essentiel des données fondamentales pour la conception, la mise au point et le fonctionnement dans les conditions de sécurité de ces systèmes complexes. Les sections efficaces neutroniques qu'exige cette technologie sont généralement mesurées par référence à une des sections efficaces « étalons », telles que  $H(n, n)H$ ,  ${}^6Li(n, \alpha)$ , ou  ${}^{235}U(n, f)$ . On a besoin d'étalons de débit de fluence, tant pour déterminer les sections efficaces « étalons » que pour étalonner les instruments utilisés dans l'environnement hostile que l'on trouve à l'intérieur des réacteurs. On rencontre fréquemment des exigences d'exactitude aussi strictes que 1 %. Il est souvent nécessaire de faire des mesures garantissant l'exactitude pour satisfaire aux règlements imposés par les gouvernements.

Les mesures neutroniques en radioprotection constituent un problème particulièrement actuel dans l'industrie. L'intérêt porté à ce problème a deux raisons. D'une part, il a été fait état dans la littérature scientifique de recommandations visant à diminuer le débit de fluence ou la dose de neutrons admissible — la situation est assez confuse actuellement et est à l'étude par des spécialistes. D'autre part, on s'est rendu compte que les appareils de contrôle neutronique utilisés actuellement en radioprotection sont insuffisants. Pour mettre au point et étalonner des instruments améliorés, on a besoin de faisceaux de neutrons étalonnés. Notons l'importance particulière à cet égard des sources de neutrons monoénergétiques provenant de faisceaux filtrés de réacteurs ou d'accélérateurs Van de Graaff, comme en possèdent certains laboratoires nationaux, et des sources de neutrons comme le  ${}^{252}Cf$  avec ou sans modérateur que l'on peut mettre à la disposition des utilisateurs pour des étalonnages à plus grande échelle. On a également besoin d'étalons neutroniques pour les recherches en radiobiologie qui visent à une meilleure compréhension des effets des rayonnements peu intenses.

Dans une vingtaine d'hôpitaux on étudie actuellement les neutrons rapides qui pourraient apporter une amélioration à la radiothérapie du cancer. Bien que les résultats ne soient pas évidents, les indications actuelles laissent à penser que les rayonnements neutroniques seraient plus efficaces que la radiothérapie traditionnelle pour certains types de tumeurs. La dosimétrie neutronique actuelle n'est pas capable de satisfaire aux exigences de grande exactitude (3 % ou mieux sur la mesure du kerma ou de la dose absorbée) nécessaires pour la mise au point et les essais dans des conditions optimales de ce nouveau traitement. Plusieurs laboratoires nationaux ont des programmes pour mettre au point des étalons de dosimétrie neutronique à cet effet.

Les mesures neutroniques sont importantes pour diverses autres applications : l'étude des propriétés statiques et dynamiques de la matière condensée par diffraction de neutrons, l'analyse par activation à haute sensibilité, la radiographie par neutrons avec résolution isotopique aussi bien que spatiale, la recherche biologique, des applications industrielles

comme la détermination non destructive de la teneur en eau de matériaux et l'exploitation des puits de pétrole.

B. Programme de travail prévu pour la période de 1979 à 1981

1. Comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monoénergétiques

Il était prévu de soumettre le rapport définitif de cette comparaison pour publication dans *Metrologia*.

2. Installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV pour la dosimétrie neutronique

En supposant résolu le problème posé par le financement de cette installation, on a estimé qu'environ deux ans seraient nécessaires pour modifier le bâtiment, acheter et installer l'accélérateur, et préparer l'équipement expérimental nécessaire.

3. Comparaisons internationales de mesures de taux d'émission de sources de  $^{252}\text{Cf}$

On avait prévu d'achever la comparaison de mesures d'une source de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  (taux nominal d'émission  $10^7 \text{ s}^{-1}$ ), d'analyser et de publier les résultats au cours de la période de 1979 à 1983. La comparaison, entre trois laboratoires (NBS, NPL et PTB), de la source intense de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ) et l'analyse des résultats étaient prévus pour la période de 1979 à 1981.

4. Nouvelles comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

Une nouvelle comparaison avait été prévue pour la période de 1979 à 1983; cette comparaison avait plusieurs buts : 1) faire apparaître, si possible, un meilleur accord entre les mesures du débit de fluence effectuées par les laboratoires nationaux, dû aux améliorations de la technique des mesures neutroniques; 2) étendre les comparaisons pour qu'elles comprennent deux types importants de sources de neutrons qui ne

Énergie des neutrons (MeV)	chambre à fission	Méthode de transfert	
		$^{115}\text{In}(n, \gamma)^{116}\text{In}$	$^{115}\text{In}(n, n')\text{In}^m$
0,144	X	X	
0,565	X	X	
2,5	X		X
5,0	X		X
14,8	X		X
Coordonnateur :	AERE/NPL	NPL	BCMn

figuraient pas dans les précédentes comparaisons — des sources « blanches » produites par des accélérateurs linéaires et des faisceaux neutroniques filtrés provenant de réacteurs nucléaires (144 keV); et 3) essayer de nouveaux instruments de transfert qui peuvent être expédiés par la poste ou circuler d'un laboratoire à l'autre sans être accompagnés nécessairement par un expert. Le tableau de la page B12 donne les méthodes choisies, les énergies et les laboratoires pilotes.

### C. Réalisations pendant la période de 1979 à 1981

#### 1. Comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques

On a publié le rapport définitif de cette comparaison : V. D. Huynh, « International Comparison of Flux Density Measurements for Monoenergetic Fast Neutrons », *Metrologia* **16**, 31-40 (1980).

#### 2. Installation au BIPM d'une source de neutrons intenses de 14 MeV pour la dosimétrie neutronique

On a étudié un projet des modifications des bâtiments et des installations expérimentales qu'il serait nécessaire de faire pour installer une source de neutrons ( $\approx 10^{11} \text{ s}^{-1}$ ) de 14,8 MeV pour les mesures de dosimétrie neutronique. Cette étude est actuellement en veilleuse compte tenu du fait que son financement dans un proche avenir est peu probable.

#### 3. Comparaisons internationales de mesures du taux d'émission de sources de neutrons de $^{252}\text{Cf}$

La source, dont le taux nominal d'émission est de  $10^7 \text{ s}^{-1}$ , a été fournie par le NBS; elle a déjà été mesurée par les laboratoires suivants : NBS, BIPM, PTB, CNEN, CEN, LMRI, ASMW, IMM, VGKRI et ETL; elle se trouve actuellement au NPL. Une difficulté a empêché d'expédier à l'Inde la source du NBS. Une source différente fournie par le NPL y sera envoyée, ce qui permettra d'inclure effectivement le laboratoire de ce pays dans la comparaison. Les participants qui utilisent la méthode du bain de  $\text{MnSO}_4$  envoient pour analyse des échantillons de la solution à la fois au BCMN et au VGKRI. L'achèvement de cette comparaison et l'analyse des résultats nécessiteront sans doute une bonne année.

La PTB a terminé ses mesures sur la source intense de  $^{252}\text{Cf}$  ( $\approx 10^9 \text{ s}^{-1}$ ); cette source est actuellement mesurée au NPL et elle sera renvoyée au NBS pour y être à nouveau mesurée. L'achèvement des mesures et l'analyse devraient se faire en 1982.

#### 4. Nouvelles comparaisons des mesures de débit de fluence des neutrons rapides

Réaction  $\text{In}(n, n')$  à 2,5 MeV, 5,0 MeV et 14,8 MeV. Coordonnateur : BCMN. Des échantillons d'indium et des sources de  $^{51}\text{Cr}$ , ainsi qu'un

protocole de mesure, ont été distribués aux participants en mai 1981. Sur la liste des participants figurent : AB Atomenergi, AERE, BARC, BCMN, BIPM, ETL, IAEB, IMM, NBS, NPL et PTB.

Réactions  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)$  et  $^{90}\text{Zr}(n, 2n)$  à 14,8 MeV. Coordonnateur : NPL. Cette méthode de transfert permettra de vérifier les résultats de la comparaison de  $\text{In}(n, n')$  à 14,8 MeV ; elle fournira également des renseignements sur l'énergie moyenne du spectre réel de neutrons utilisé. Les échantillons ont été distribués en mai 1981. Les laboratoires participants sont : BARC, BCMN, BIPM, ETL, IAEB, IRK, NBS, NPL et PTB.

Réaction  $\text{In}(n, \gamma)$  à 144 keV et 565 keV. Coordonnateur : NPL. Cette comparaison se fait en séquence. La mesure est fondée sur le comptage  $4\pi\beta$  de l'activité du  $^{116}\text{In}^m$ . Le NPL a fourni un compteur  $4\pi\beta$  et son préamplificateur en même temps qu'une source de contrôle de  $^{60}\text{Co}$  et un mode d'emploi. Cet équipement vient d'être envoyé à la PTB qui sera le premier participant.

Chambres à fission, toutes énergies. Coordonnateur : NPL/AERE. La chambre à  $^{235}\text{U}$  a été conçue et construite à l'AERE, où elle est actuellement soumise à des essais. La mise au point de la chambre à  $^{238}\text{U}$ , qui sera utilisée à 2,5 MeV, 5,0 MeV et 14,8 MeV, est en cours d'achèvement.

#### 5. Travaux de mesures neutroniques au BIPM

Ces travaux, dont il a été rendu compte de façon plus complète dans le rapport de la réunion de 1981 de la Section III, comportent : 1) la mesure de la sensibilité du long compteur de précision du BIPM à 14,61 MeV ; cela entre dans le cadre d'une étude sur la possibilité d'utiliser cet instrument pour mesurer le débit de fluence de neutrons D + T ; 2) la mesure de la sensibilité aux neutrons du compteur Geiger-Müller utilisé pour mesurer la dose due au rayonnement gamma dans des champs mixtes de rayonnements gamma et de neutrons ; et 3) une comparaison de mesures de débit de fluence au voisinage de 14,6 MeV avec le NPL ; dans cette comparaison on a utilisé la méthode de transfert Nb/Zr mise au point par le NPL ; le rapport des résultats NPL/BIPM a été de 1,025. On a également étudié une chambre d'ionisation équivalente au tissu (Exradin, Modèle T2) comme éventuel instrument de transfert pour les comparaisons de dosimétrie neutronique.

#### D. Travaux futurs envisagés de 1981 à 1983

Un plan plus détaillé des travaux de cette section figure dans le Rapport de la réunion de 1981 de la Section III.

##### 1. Comparaisons internationales des mesures du taux d'émission de sources de neutrons de $^{252}\text{Cf}$

On envisage d'achever les mesures et les analyses pour les deux sources de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  ( $10^7$  et  $10^9 \text{ s}^{-1}$ ) au cours des deux années à venir. On a

entrepris ce travail pour plusieurs raisons : la dernière comparaison internationale de sources de neutrons datait de plus de quinze ans ; l'exactitude des mesures s'est améliorée depuis lors ; les sources de  $^{252}\text{Cf}$  sont couramment utilisées pour vérifier la sensibilité des détecteurs de neutrons, en particulier en radioprotection.

## 2. *Nouvelles comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides*

Les comparaisons utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n, n')$  à 2,5, 5,0 et 14,8 MeV, et la comparaison de Nb/Zr à 14,8 MeV devraient être achevées et analysées au cours de cette période. Les comparaisons ultérieures portant sur les chambres à fission à  $^{235}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$ , et la réaction de  $^{115}\text{In}(n, \gamma)$  à 144 keV et 565 keV devraient être bien avancées. Le fait que ces comparaisons doivent être échelonnées dans le temps, ajouté aux problèmes posés par l'utilisation de chambres à fission avec des sources de neutrons très différentes, amènera ces comparaisons à s'étendre sur une durée relativement longue. Les comparaisons aux basses énergies, 144 et 565 keV, sont particulièrement intéressantes pour le contrôle des rayonnements au voisinage des réacteurs des centrales nucléaires.

## 3. *Comparaisons internationales de dosimétrie neutronique*

Le CCEMRI propose que les comparaisons internationales de dosimétrie neutronique soient effectuées en deux étapes. Tout d'abord le NPL organiserait, en tant que « laboratoire pilote », une comparaison de dosimètres neutroniques, vraisemblablement de chambres d'ionisation équivalentes au tissu, en utilisant sa source intense ( $10^{11} \text{ s}^{-1}$ ) de neutrons de 14 MeV. Cette comparaison aurait lieu en 1983. Les participants seraient invités à payer au NPL les frais correspondant au temps d'utilisation de l'accélérateur. On demanderait à la Section III de définir les conditions de la comparaison, comme par exemple la collimation, la méthode de détermination de la proportion de rayonnement gamma contaminant le faisceau, et la nécessité d'inclure ou non une mesure à une certaine profondeur dans un fantôme. On demanderait au NPL de procéder à l'analyse de la comparaison.

Par ailleurs, on demanderait au BIPM d'étudier, pendant la fin de 1981 et en 1982, le fonctionnement de différents types de chambres d'ionisation équivalentes au tissu, afin de choisir une série de chambres pouvant servir d'instruments de référence et de transfert. Le but pour le BIPM serait de disposer d'un équipement capable de conserver durablement les résultats d'un étalonnage. Le BIPM utiliserait un ou plusieurs de ces instruments dans la comparaison organisée par le NPL ; les résultats de cette comparaison seraient donc conservés à long terme.

On envisagerait de commencer en 1984 une seconde comparaison qui serait organisée par le BIPM. L'une des chambres d'ionisation aux parois équivalentes au tissu serait fournie par le BIPM comme instrument de

transfert. Les participants devraient déterminer sa sensibilité aux neutrons mesurée dans l'air (charge/kerma). Chaque laboratoire devrait faire sa propre détermination de la contribution du rayonnement gamma dans son champ neutronique. Le protocole de mesure pour cette comparaison serait préparé par le BIPM assisté de Mr Broerse, du TNO.

Septembre 1981

E. AMBLER

Président du CCEMRI

---

ANNEXE A

Résumé du programme de travail et des réalisations correspondantes

CCEMRI, 1979 à 1981

Programme de travail envisagé

Réalisations

Section I — Rayons X et  $\gamma$ , électrons

Groupe de travail chargé d'étudier les facteurs de conversion pour passer de l'exposition à la dose absorbée dans l'eau.

L'analyse en profondeur des composantes des facteurs de conversion a montré que de nouvelles recherches expérimentales sont encore nécessaires dans certains domaines. Accord sur les profondeurs de référence.

Groupe de travail chargé d'étudier les facteurs de conversion pour passer de la dose absorbée dans le graphite à la dose absorbée dans l'eau.

Rassemblement des informations concernant les différentes méthodes, expérimentalement vérifiées pour les rayonnements gamma du  $^{60}\text{Co}$ . Des recherches sont encore nécessaires pour les rayonnements d'énergie plus élevée.

Groupe de travail pour la comparaison des systèmes de dosimétrie chimique « Fricke » en service dans certains laboratoires nationaux.

Comparaison effectuée avec succès; exactitude satisfaisante.

Poursuite du programme de comparaisons d'étalons d'exposition et de dose absorbée.

Comparaisons d'exposition (Rayons X dans les domaines 10-50 kV, 60-250 kV et rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ ); et comparaisons de dose absorbée pour les rayonnements  $\beta$ .

Faciliter l'introduction des unités SI dans les mesures de rayonnements, en prêtant spécialement attention aux répercussions que cela peut avoir sur la façon dont la grandeur exposition continue à être acceptée par la communauté radiologique.

L'accord s'est fait sur la recommandation suivante : les étalonnages d'instruments effectués dans l'air en termes d'exposition peuvent être également exprimés en termes de kerma dans l'air ou de kerma dans l'eau, à la condition d'indiquer les facteurs de conversion utilisés pour passer de l'exposition au kerma, ainsi que leurs incertitudes.

## Section II — Mesure des Radionucléides

Achèvement des comparaisons internationales de  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{55}\text{Fe}$  et des sources de référence de rayonnement  $\gamma$ .

Travail expérimental achevé : rapports sur le  $^{134}\text{Cs}$  et le  $^{137}\text{Cs}$  publiés ; discussion des rapports sur le  $^{55}\text{Fe}$  et les sources de référence de rayonnement  $\gamma$  ; publication des rapports définitifs en 1981.

Comparaison préliminaire de  $^{133}\text{Ba}$ .

Travail expérimental achevé ; rapport final préparé (la comparaison sera refaite, car il y a eu des problèmes d'ordre chimique).

Système international de référence.

Poursuite du programme ; à ce jour 40 radionucléides différents ont été introduits dans ce système.

Préparation de monographies et de bibliographies.

Monographie sur « The Application of Liquid-Scintillation Counting to Radionuclide Metrology » ; monographie sur « Use and Operation of Ionizing Chambers » en préparation. Mise à jour des bibliographies sur les effets de temps morts et les effets d'empilement ; publication en 1981.

## Section III — Mesures neutroniques

Publication du rapport sur la comparaison de mesures de débit de fluence à 250 keV, 565 keV, 2,2 MeV, 2,5 MeV et 14,8 MeV.

Rapport publié dans *Metrologia* **16**, 31-49 (1980).

Installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 keV pour la dosimétrie neutronique.

Achèvement de l'étude des modifications à apporter au bâtiment et des installations expérimentales. Financement de ce projet non prévu pour cette période.

Comparaisons internationales de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$ .

Source ( $10^7 \text{ s}^{-1}$ ) maintenant mesurée par 10 laboratoires. A mesurer par un autre laboratoire et à nouveau par le laboratoire d'origine.

Mesure de la source  $10^9 \text{ s}^{-1}$  par un troisième laboratoire.

Nouvelles comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides.

Mise au point de méthodes de transfert utilisant  $^{115}\text{In}(n, n')$  et Nb/Zr ; distribution d'échantillons. Méthode de transfert utilisant  $^{115}\text{In}(n, \gamma)$  étudiée ; comparaison prête à commencer. Chambres à fission à  $^{235}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$  quasiment prêtes pour des comparaisons à cinq énergies.

ANNEXE B

**Programme des travaux du Laboratoire  
des rayonnements ionisants du BIPM**

Travaux accomplis (1979-1981)

Programme prévu (1981-1983)

**Section I — Rayons X et  $\gamma$ , électrons**

Comparaisons internationales d'étalons d'exposition (rayons X 10-50 kV, 100-250 kV, rayons  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ ).

Étalonnage en termes de dose absorbée d'étalons secondaires servant de références nationales.

Poursuite de l'étude théorique et expérimentale des facteurs correctifs applicables aux étalons de dose absorbée.

Détermination théorique de la dose absorbée dans un fantôme d'eau ( $^{60}\text{Co}$ ).

Collaboration avec le groupe de mesures neutroniques (détermination de la sensibilité d'un compteur Geiger-Müller aux photons du  $^{60}\text{Co}$ ).

Poursuite des mesures en vue de la détermination de l'énergie d'ionisation dans les gaz.

Contribution à la comparaison internationale des systèmes de dosimétrie chimique Fricke.

Comparaisons internationales d'étalons d'exposition, de kerma et de dose absorbée.

Détermination expérimentale de la dose absorbée dans un fantôme d'eau.

Détermination du facteur de conversion d'une chambre Exradin, permettant d'obtenir la dose absorbée dans l'eau à partir du facteur d'étalonnage en exposition.

Poursuite de la collaboration avec le groupe de mesures neutroniques pour la détermination de la fraction de la dose absorbée due aux photons présents dans le faisceau de neutrons.

Mesure de l'énergie d'ionisation dans les gaz au moyen du dispositif conçu et mis au point ces dernières années.

**Section II — Mesure des Radionucléides**

Préparation et distribution de sources minces, étalonnées.

Préparation et certification de sources solides minces et transportables.

Traitement des résultats du Système International de Référence (SIR) par ordinateur. Établissement de la fonction d'efficacité de la chambre d'ionisation  $4\pi\gamma$  du SIR.

Étude de l'étalonnage du  $^{133}\text{Ba}$  et du  $^{51}\text{Cr}$ .

Organisation d'une comparaison préliminaire de  $^{133}\text{Ba}$ .

Élaboration de la méthode de l'échantillonnage sélectif pour la mesure d'activité. Mise en œuvre expérimentale de cette nouvelle méthode.

Installation d'un spectromètre  $\gamma$  à détecteur de germanium compensé au lithium, Ge(Li).

Mesure absolue de l'énergie des particules  $\alpha$  émises par le  $^{212}\text{Po}$  et le  $^{244}\text{Cm}$ .

Études relatives à l'expression de l'incertitude de mesures.

Analyse de pureté des échantillons pour le SIR.

Organisation de comparaisons internationales de radionucléides avec les laboratoires nationaux ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ).

Étude des statistiques de comptage. Construction d'un échantillonneur sélectif rapide.

Établissement de la fonction d'efficacité d'un détecteur à germanium compensé au lithium, Ge(Li).

Étude théorique de la forme des raies de particules  $\alpha$  dans un spectromètre à champ magnétique uniforme.

### Section III — Mesures neutroniques

Poursuite de l'étude d'une source intense de neutrons de 14,8 MeV ( $10^{11} \text{ s}^{-1}$ ).

Construction de l'appareillage nécessaire à la détermination de la dose absorbée et du kerma dans les tissus placés dans un faisceau neutronique.

Mesure de la sensibilité du long compteur BIPM pour des neutrons de 14,6 MeV.

Mesure de la réponse aux neutrons du compteur Geiger-Müller.

Comparaison NPL-BIPM des mesures de débit de fluence de neutrons à l'aide d'un système Nb/Zr.

Étude des chambres d'ionisation équivalentes au tissu comme instruments de transfert et de référence en vue des comparaisons internationales de mesures de kerma prévues.

Détermination expérimentale du débit de dose absorbée et de kerma dans les tissus irradiés par la source de neutrons existant au BIPM ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ).

Relation des mesures précédentes avec les mesures de débit de fluence.

Participation aux comparaisons internationales de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques.

ANNEXE C

Liste des laboratoires et organismes mentionnés dans le rapport

- AB Atomenergi : Atomic Energy Centre, Nyköping, Suède  
AERE : Atomic Energy Research Establishment, Harwell, Royaume-Uni  
AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne, Autriche  
ASMW : Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin,  
République Démocratique Allemande  
BARC : Bhabha Atomic Research Centre, Bombay, Inde  
BCMN : Bureau Central de Mesures Nucléaires, Geel, Belgique  
BIPM : Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France  
CCEMRI : Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements  
Ionisants  
CEN : Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre d'Études de Bruyères-le-  
Châtel, France  
CIPM : Comité International des Poids et Mesures  
CNEN : Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, CSN Casaccia, Rome,  
Italie  
ETL : Electrotechnical Laboratory, Tsukuba, Japon  
IAEB : Institute of Atomic Energy, Beijing, République Populaire de Chine  
ICRU : International Commission on Radiation Units and Measurements,  
Washington DC, États-Unis d'Amérique  
IMM : Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad, URSS  
IRK : Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne, Autriche  
LMRI : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Saclay,  
France  
NAC : National Accelerator Centre, Faure, Afrique du Sud  
NBS : National Bureau of Standards, Washington DC, États-Unis d'Amérique  
NRC : Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada  
NPL : National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni  
OMH : Orszagos Mérésügyi Hivatal, Budapest, Hongrie  
PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, République  
Fédérale d'Allemagne  
TNO : Radiobiological Institute, Rijswijk, Pays-Bas  
VGKRI : V. G. Khlopin Radium Institute, Leningrad, URSS



---

FORMULE POUR LA DÉTERMINATION  
DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'AIR HUMIDE

(1981)

---

**Avertissement**

Le présent document a été préparé par le Groupe de travail 1 constitué au cours de la réunion internationale concernant les masses, tenue au BIPM les 23 et 24 novembre 1976 [1]. Les membres de ce Groupe de travail étaient MM. P. Riéty (Institut National de Métrologie, Paris), F. E. Jones (National Bureau of Standards, Washington), P. Carré (Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres) auxquels a été adjoint Mr M. Kochsiek (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig).

Le Groupe de travail s'est fixé pour objectif d'assurer l'unification des méthodes utilisées par les divers laboratoires pour la détermination de la masse volumique de l'air humide, grandeur qui intervient directement dans la correction dite de « poussée de l'air » lors de la comparaison dans l'air de deux étalons de masse de volumes différents.

Ce document, qui comporte une formule pour le calcul de la masse volumique de l'air humide ainsi que des tableaux et formules auxiliaires pour l'application de cette formule, a été approuvé par le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) (1<sup>re</sup> session, juin 1981) puis par le Comité International des Poids et Mesures (70<sup>e</sup> session, octobre 1981).

Quelques modifications rédactionnelles ont été apportées à la version initiale de ce document (Rapport BIPM-79/10). Elles résultent des commentaires de divers laboratoires et des discussions qui ont eu lieu au CCM. Elles ne modifient en rien les valeurs numériques.

Pour sa part, le BIPM a mis en application dès octobre 1979 la formule proposée.

**Introduction**

Lors de la comparaison par pesée dans l'air d'une masse  $m_2$  à une masse  $m_1$ , on détermine en fait, en raison de la poussée d'Archimède, la différence  $\Delta m$  entre les grandeurs  $m_2 - \rho V_2$  et  $m_1 - \rho V_1$ , où  $V_1$  et  $V_2$  représentent

les volumes des corps de masses  $m_1$  et  $m_2$ , et  $\rho$  la masse volumique de l'air dans les conditions de la pesée. L'écart réel  $\Delta m$  entre les masses  $m_2$  et  $m_1$  est donné par

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \Delta' m + \rho(V_2 - V_1). \quad (1)$$

Le terme  $\rho(V_2 - V_1)$  est appelé « correction de poussée de l'air ».

Pour les pesées de grande exactitude, il est impératif de déterminer la masse volumique de l'air avec la plus grande exactitude possible, particulièrement si les masses volumiques des corps de masses  $m_1$  et  $m_2$  sont très différentes. C'est ainsi que si l'on compare deux étalons de masse, de valeurs nominales 1 kg, l'un en acier inoxydable, l'autre en platine iridié, une erreur  $\delta\rho$  sur  $\rho$  entraîne sur la masse  $m_2$  de l'étalon en acier inoxydable une erreur

$$\delta m_2 \approx 0,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times \delta\rho \quad (2)$$

soit une erreur de l'ordre de 10  $\mu\text{g}$  pour une erreur relative sur  $\rho$  de  $10^{-4}$ .

Le but de ce document est de fournir les éléments nécessaires au calcul de la masse volumique de l'air, en tenant compte de données récentes concernant ses propriétés thermodynamiques, afin que les différents laboratoires concernés par les pesées de grande précision puissent déterminer de façon uniforme et dans les meilleures conditions possibles la correction de poussée de l'air en fonction des conditions expérimentales de leurs pesées.

Des informations complémentaires pourront être trouvées dans les références [2 à 4] qui ont servi de base à l'élaboration de ce document, ainsi que dans les différents articles cités dans la bibliographie.

## 1. Principe de base

En général, la masse volumique de l'air ne se détermine pas directement mais se calcule par l'application d'une formule en tenant compte des conditions expérimentales.

Prenons un volume  $V$  de gaz, à la pression  $p$  et à la température  $T$ . Soit  $n$  la quantité de matière contenue dans  $V$ . Si l'on considère tout d'abord le gaz comme parfait, on a la relation

$$pV = nRT \quad (3)$$

où  $R$  est la constante molaire des gaz.

Pour un gaz réel, il faut tenir compte de son facteur de compressibilité  $Z$ . On a alors

$$pV = nZRT. \quad (4)$$

Si l'on désigne par  $m$  la masse du gaz et par  $M$  sa masse molaire, sa masse volumique  $\rho$  est donnée par

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V} \quad (5)$$

soit

$$\rho = \frac{pM}{ZRT} \quad (6)$$

On peut appliquer cette relation à l'air humide qui comporte une fraction molaire  $x_v$  de vapeur d'eau, de masse molaire  $M_v$ , et une fraction molaire  $(1 - x_v)$  d'air sec, de masse molaire  $M_a$ ; on a dans ces conditions

$$M = (1 - x_v)M_a + x_vM_v = M_a - x_v(M_a - M_v) \quad (7)$$

soit

$$M = M_a \left[ 1 - x_v \left( 1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (8)$$

d'où

$$\rho = \frac{pM_a}{ZRT} \left[ 1 - x_v \left( 1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (9)$$

C'est l'expression (9) qui sert de base au calcul de la masse volumique de l'air humide.

## 2. Spécification des paramètres de la formule (9)

L'expression (9) fait intervenir un certain nombre de paramètres, dont certains sont considérés comme des constantes et peuvent être introduits une fois pour toutes dans la formule, et dont les autres doivent être déterminés lors de chaque pesée en fonction des conditions expérimentales.

### 2.1. Constante molaire des gaz

$R$  est une constante universelle. Bien que des études soient actuellement en cours pour une nouvelle détermination [7, 8] et dans l'attente d'une confirmation des résultats de ces mesures, on adopte la valeur admise habituellement [9]

$$R = 8,314 \, 41 \, \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}. \quad (10)$$

### 2.2. Masse molaire de l'air sec

La masse molaire de l'air sec est une masse molaire moyenne qui se calcule en tenant compte des masses molaires de ses différents constituants et de leurs fractions molaires respectives (en négligeant toutefois ceux qui n'existent qu'à l'état de traces). L'expérience montre que la composition de l'air sec n'est pas rigoureusement constante [10 à 16]. On peut néanmoins considérer qu'en première approximation cette composition est celle de l'air sec de référence dont les caractéristiques sont données dans le tableau I. Ces caractéristiques sont conformes à celles de la référence [17] sauf en ce qui concerne la fraction molaire de l'argon, qui a été prise égale à 0,009 17 pour tenir compte des mesures plus récentes [18, 19] que celles utilisées dans [17]. De plus, la fraction molaire du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) a été prise

égale à  $4 \times 10^{-4}$ , pour se rapprocher des valeurs réelles mesurées en laboratoire [2, 3]. On a admis, suivant les hypothèses de Kroch — cité par Paneth [14] — et Glueckauf [15], que cette augmentation locale de concentration en  $\text{CO}_2$  était compensée par une diminution corrélative de la concentration en oxygène, la somme des fractions molaires de ces deux gaz restant constante. Par ailleurs, certaines valeurs de la référence [17] ont été arrondies, en ne conservant qu'un nombre de chiffres suffisant pour les besoins du calcul de la masse molaire  $M_a$ . Néanmoins, dans les calculs intermédiaires (contribution de chaque constituant) on a conservé certaines décimales non significatives.

On trouve ainsi, avec les données du tableau I

$$M_a = \frac{\sum x_i M_i}{\sum x_i} = 28,963\ 5 \times 10^{-3} \text{ kg/mol.} \quad (11)$$

TABLEAU I

*Composition de l'air sec de référence*

Constituant	Masse molaire $M_i$ (en $10^{-3}$ kg/mol)	Fraction molaire $x_i$	Contribution $x_i \cdot M_i$ (en $10^{-3}$ kg/mol)
$\text{N}_2$	28,013 4	0,781 01	21,878 746
$\text{O}_2$	31,998 8	0,209 39	6,700 229
Ar	39,948	0,009 17	0,366 323
$\text{CO}_2$	44,010	0,000 40	0,017 604
Ne	20,18	$18,2 \times 10^{-6}$	0,000 367
He	4,0	$5,2 \times 10^{-6}$	0,000 021
$\text{CH}_4$	16,0	$1,5 \times 10^{-6}$	0,000 024
Kr	83,8	$1,1 \times 10^{-6}$	0,000 092
$\text{H}_2$	2	$0,5 \times 10^{-6}$	0,000 001
$\text{N}_2\text{O}$	44	$0,3 \times 10^{-6}$	0,000 013
CO	28	$0,2 \times 10^{-6}$	0,000 006
Xe	131	$0,1 \times 10^{-6}$	0,000 013

Lorsqu'on a la possibilité de mesurer la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'air effectivement utilisé lors de la pesée, on peut obtenir une valeur plus exacte de la masse molaire de l'air sec en tenant compte de la fraction molaire  $x_{\text{CO}_2}$  du dioxyde de carbone, selon la formule

$$M_a = [28,963\ 5 + 12,011 (x_{\text{CO}_2} - 0,000\ 4)] \times 10^{-3} \text{ kg/mol.} \quad (12)$$

### 2.3. Masse molaire de l'eau

Si l'on adopte pour  $M_a$  la valeur donnée en (11), et en prenant

$$M_v = 18,015 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} \quad (13)$$

on trouve

$$1 - \frac{M_v}{M_a} = 0,378\ 0. \quad (14)$$

En tenant compte des valeurs de  $R$ , de  $M_a$  et de  $(1 - M_v/M_a)$  indiquées ci-dessus en 2.1, 2.2 et 2.3, on trouve pour la masse volumique  $\rho$  de l'air humide les expressions suivantes

$$\rho = 3,483\ 53 \times 10^{-3} \text{ kg. K. J}^{-1} \times \frac{p}{ZT} (1 - 0,378\ 0 x_v) \quad (15)$$

ou encore, si l'on connaît la fraction molaire  $x_{\text{CO}_2}$  du dioxyde de carbone

$$\rho = [3,483\ 53 + 1,44 (x_{\text{CO}_2} - 0,000\ 4)] \times 10^{-3} \text{ kg. K. J}^{-1} \times \frac{p}{ZT} (1 - 0,378\ 0 x_v) \quad (16)$$

#### 2.4. Humidité [6]

La fraction molaire  $x_v$  ne se mesure pas directement mais se détermine à partir de l'humidité relative  $h$  ou de la température  $t_r$  du point de rosée.

2.4.1. — L'humidité relative est définie comme le rapport de la fraction molaire  $x_v$  de la vapeur d'eau dans l'air humide à la fraction molaire  $x_{sv}$  de la vapeur d'eau dans l'air humide saturé à la même température et à la même pression :

$$h = \frac{x_v}{x_{sv}} \quad (17)$$

Par ailleurs,  $x_{sv}$  se calcule en fonction de la pression de vapeur saturante  $p_{sv}(t)$  correspondant à la même température  $t$ . Mais, compte tenu du fait que l'air humide ne se comporte pas comme un gaz parfait, il y a lieu d'introduire un facteur correctif  $f$ , appelé « facteur d'augmentation », qui dépend de la température et de la pression; on a alors

$$x_{sv} = f(p, t) \cdot \frac{p_{sv}(t)}{p} \quad (18)$$

ce qui donne

$$x_v = h \cdot f(p, t) \cdot \frac{p_{sv}(t)}{p} \quad (19)$$

2.4.2. — Dans le cas où  $x_v$  est déterminée au moyen d'un hygromètre à point de rosée, on a

$$x_v = x_{sv}(p, t_r) \quad (20)$$

c'est-à-dire, d'après (18),

$$x_v = f(p, t_r) \cdot \frac{p_{sv}(t_r)}{p} \quad (21)$$

2.4.3. — On a porté dans le tableau II les valeurs de la pression de vapeur d'eau saturante  $p_{sv}$  pour des températures variant entre 0 °C et

TABLEAU II

Pression de vapeur d'eau saturante  $p_{sv}$  pour  $0\text{ °C} \leq t \leq 27\text{ °C}$ 

$t\text{ (°C)}$	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
0	611,2	615,7	620,2	624,7	629,2	633,8	638,4	643,0	647,7	652,4
1	657,1	661,8	666,6	671,4	676,2	681,1	686,0	691,0	695,9	700,9
2	705,9	711,0	716,1	721,2	726,4	731,6	736,8	742,1	747,3	752,7
3	758,0	763,4	768,8	774,3	779,8	785,3	790,9	796,5	802,1	807,8
4	813,5	819,2	825,0	830,8	836,6	842,5	848,4	854,4	860,4	866,4
5	872,5	878,6	884,7	890,9	897,1	903,4	909,7	916,0	922,4	928,8
6	935,2	941,7	948,2	954,8	961,4	968,1	974,8	981,5	988,3	995,1
7	1 001,9	1 008,8	1 015,8	1 022,7	1 029,8	1 036,8	1 043,9	1 051,1	1 058,3	1 065,5
8	1 072,8	1 080,1	1 087,5	1 094,9	1 102,4	1 109,9	1 117,4	1 125,0	1 132,6	1 140,3
9	1 148,1	1 155,8	1 163,7	1 171,5	1 179,4	1 187,4	1 195,4	1 203,5	1 211,6	1 219,7
10	1 227,9	1 236,2	1 244,5	1 252,8	1 261,2	1 269,7	1 278,2	1 286,7	1 295,3	1 304,0
11	1 312,7	1 321,4	1 330,2	1 339,1	1 348,0	1 356,9	1 366,0	1 375,0	1 384,1	1 393,3
12	1 402,5	1 411,8	1 421,1	1 430,5	1 439,9	1 449,4	1 459,0	1 468,6	1 478,2	1 488,0
13	1 497,7	1 507,5	1 517,4	1 527,4	1 537,4	1 547,4	1 557,5	1 567,7	1 577,9	1 588,2
14	1 598,6	1 609,0	1 619,4	1 630,0	1 640,5	1 651,2	1 661,9	1 672,6	1 683,5	1 694,4
15	1 705,3	1 716,3	1 727,4	1 738,5	1 749,8	1 761,0	1 772,3	1 783,7	1 795,2	1 806,7
16	1 818,3	1 829,9	1 841,7	1 853,4	1 865,3	1 877,2	1 889,2	1 901,2	1 913,3	1 925,5
17	1 937,8	1 950,1	1 962,5	1 974,9	1 987,5	2 000,1	2 012,7	2 025,5	2 038,3	2 051,1
18	2 064,1	2 077,1	2 090,2	2 103,4	2 116,6	2 129,9	2 143,3	2 156,8	2 170,3	2 183,9
19	2 197,6	2 211,3	2 225,2	2 239,1	2 253,0	2 267,1	2 281,2	2 295,4	2 309,7	2 324,1
20	2 338,5	2 353,1	2 367,7	2 382,4	2 397,1	2 412,0	2 426,9	2 441,9	2 456,9	2 472,1
21	2 487,4	2 502,7	2 518,1	2 533,6	2 549,2	2 564,8	2 580,6	2 596,4	2 612,3	2 628,3
22	2 644,4	2 660,6	2 676,8	2 693,2	2 709,6	2 726,1	2 742,8	2 759,4	2 776,2	2 793,1
23	2 810,1	2 827,1	2 844,3	2 861,5	2 878,8	2 896,2	2 913,7	2 931,3	2 949,0	2 966,8
24	2 984,7	3 002,7	3 020,7	3 038,9	3 057,2	3 075,5	3 094,0	3 112,5	3 131,2	3 149,9
25	3 168,7	3 187,7	3 206,7	3 225,8	3 245,1	3 264,4	3 283,8	3 303,4	3 323,0	3 342,8
26	3 362,6	3 382,5	3 402,6	3 422,7	3 443,0	3 463,3	3 483,8	3 504,4	3 525,0	3 545,8
27	3 566,7									

+ 27 °C par pas de 0,1 °C. Ces valeurs sont tirées de la référence [20] (elles ont toutefois été arrondies à la première décimale) \*.

On peut également calculer  $p_{sv}$ , exprimée en pascals, en fonction de la température thermodynamique  $T$ , exprimée en kelvins, en utilisant la formule approchée suivante, tirée de la même référence et valable dans le même intervalle de température :

$$p_{sv} = 1 \text{ Pa} \times \exp \left( AT^2 + BT + C + \frac{D}{T} \right) \quad (22)$$

avec

$$\begin{aligned} A &= 1,281\,180\,5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-2} & B &= -1,950\,987\,4 \times 10^{-2} \text{ K}^{-1} \\ C &= 34,049\,260\,34 & D &= -6,353\,631\,1 \times 10^3 \text{ K} \end{aligned}$$

2.4.4. — On a de même porté dans le tableau III les valeurs du facteur d'augmentation  $f$  pour des pressions comprises entre 60 000 et 110 000 Pa et pour des températures variant entre 0 °C et + 30 °C par pas de 5 °C. Ces valeurs ont été calculées d'après les données des références [20] et [21].

TABLEAU III  
Facteur d'augmentation  $f$

$p$ (Pa)	$t = 0$	5	10	15	20	25	30 °C
60 000	1,002 4	1,002 5	1,002 5	1,002 6	1,002 8	1,002 9	1,003 1
65 000	2 6	2 6	2 7	2 8	2 9	3 1	3 2
70 000	2 8	2 8	2 9	2 9	3 1	3 2	3 4
75 000	2 9	3 0	3 0	3 1	3 2	3 4	3 5
80 000	3 1	3 1	3 2	3 3	3 4	3 5	3 7
85 000	3 3	3 3	3 3	3 4	3 5	3 6	3 8
90 000	3 5	3 5	3 5	3 6	3 7	3 8	3 9
95 000	3 6	3 6	3 7	3 7	3 8	3 9	4 1
100 000	3 8	3 8	3 8	3 9	4 0	4 1	4 2
105 000	4 0	4 0	4 0	4 0	4 1	4 2	4 4
110 000	4 2	4 1	4 1	4 2	4 2	4 4	4 5

On indique également ci-après une formule approchée établie par le Groupe de travail qui permet de calculer  $f$  en fonction de la pression  $p$ , exprimée en pascals, et de la température  $t$ , exprimée en degrés Celsius. L'écart entre la valeur de  $f$  donnée par cette formule et la valeur ayant servi à établir la table est toujours inférieur à  $1 \times 10^{-4}$ , dans la limite des valeurs de température et de pression considérées.

---

\* Les cas très rares où  $t_r$  est inférieure à 0 °C correspondent à de très faibles teneurs en vapeur d'eau (pression partielle inférieure à 615 Pa). Pour des pesées de grande précision, il convient d'éviter de se placer dans ces conditions.

On a ainsi :

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \quad (23)$$

avec

$$\alpha = 1,000\ 62 \quad \beta = 3,14 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1} \quad \gamma = 5,6 \times 10^{-7} \text{ K}^{-2}$$

### 2.5. Facteur de compressibilité $Z$

Le facteur de compressibilité de l'air humide  $Z$  se calcule en fonction du second et du troisième coefficient du viriel relatifs à l'air sec et à la vapeur d'eau, ainsi qu'en fonction de coefficients supplémentaires qui proviennent de l'interaction entre les molécules d'air sec et les molécules d'eau (on suppose que l'air sec, bien que constitué par un mélange de gaz, se comporte comme une substance homogène).

On a porté dans le tableau IV les valeurs du facteur de compressibilité  $Z$  pour des pressions comprises entre 60 000 et 110 000 Pa, pour des températures comprises entre 15 °C et 27 °C et pour des humidités relatives variant entre 0 et 1 par pas de 0,1. Ces valeurs ont été calculées d'après les données de la référence [22]. Bien que la sixième décimale ne soit pas significative, elle est donnée dans le tableau pour faciliter les interpolations.

On indique également ci-après une formule approchée, établie par le Groupe de travail, qui permet de calculer  $Z$  en fonction de la pression  $p$ , exprimée en pascals, de la température  $t$ , exprimée en degrés Celsius, de la température thermodynamique  $T$ , exprimée en kelvins, et de la fraction molaire  $x_v$  de la vapeur d'eau dans l'air humide.

$$Z = 1 - \frac{p}{T} [a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 + c_1 t)x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} \cdot (d + e x_v^2) \quad (24)$$

TABLEAU IV

*Facteur de compressibilité  $Z$  de l'air humide*

$t$ (°C)	$p = 60\ 000 \text{ Pa}$										
	$h = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
15	0,999 748	745	741	736	731	725	719	712	705	697	689
16	0,999 754	750	746	741	736	730	723	716	708	699	690
17	0,999 760	756	752	746	741	734	727	719	710	701	691
18	0,999 766	762	757	752	745	738	730	721	712	702	691
19	0,999 772	768	763	756	750	742	733	724	713	702	690
20	0,999 778	773	768	761	754	745	736	726	715	702	689
21	0,999 784	779	773	766	758	749	739	727	715	702	688
22	0,999 789	784	778	770	762	752	741	729	715	701	685
23	0,999 795	789	783	774	765	755	743	729	715	699	682
24	0,999 800	795	787	779	769	757	744	730	714	697	678
25	0,999 806	800	792	783	772	759	745	730	713	694	674
26	0,999 811	805	796	786	775	761	746	729	710	690	668
27	0,999 817	810	801	790	777	763	746	728	708	685	661

TABLEAU IV (suite)

$p = 70\,000\text{ Pa}$

$t\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$h = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
15	0,999 706	703	699	694	690	684	679	672	666	658	651
16	0,999 713	710	706	701	696	690	684	677	670	662	653
17	0,999 720	717	712	707	702	695	689	681	673	665	656
18	0,999 727	723	719	713	707	700	693	685	677	667	657
19	0,999 734	730	725	719	713	705	697	689	679	669	658
20	0,999 741	736	731	725	718	710	702	692	682	671	659
21	0,999 748	743	737	731	723	715	705	695	684	672	659
22	0,999 754	749	743	736	728	719	709	698	686	672	658
23	0,999 761	755	749	741	733	723	712	700	687	672	657
24	0,999 767	762	755	746	737	726	715	702	687	672	655
25	0,999 774	768	760	751	741	730	717	703	687	670	652
26	0,999 780	773	765	756	745	733	719	704	687	668	649
27	0,999 786	779	771	761	749	736	721	704	686	666	644

$p = 80\,000\text{ Pa}$

$t\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$h = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
15	0,999 664	661	657	653	648	643	638	632	626	619	612
16	0,999 672	669	665	660	655	650	644	638	631	624	616
17	0,999 681	677	672	668	662	656	650	643	636	628	619
18	0,999 689	685	680	675	669	663	656	648	640	632	622
19	0,999 696	692	687	682	676	669	661	653	644	635	625
20	0,999 704	700	694	689	682	675	666	658	648	638	627
21	0,999 712	707	702	695	688	680	671	662	652	640	629
22	0,999 719	714	708	702	694	685	676	666	654	642	630
23	0,999 727	722	715	708	700	690	680	669	657	644	630
24	0,999 734	729	722	714	705	695	684	672	659	645	629
25	0,999 742	735	728	720	710	700	688	675	660	645	628
26	0,999 749	742	735	726	715	704	691	677	661	645	626
27	0,999 756	749	741	731	720	708	694	678	662	643	624

$p = 90\,000\text{ Pa}$

$t\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$h = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
15	0,999 622	619	615	611	607	602	597	591	585	579	572
16	0,999 632	628	624	620	615	610	604	598	592	585	578
17	0,999 641	637	633	628	623	617	611	605	598	590	582
18	0,999 650	646	641	636	631	625	618	611	604	595	587
19	0,999 659	654	650	644	638	632	625	617	609	600	591
20	0,999 667	663	658	652	646	639	631	623	614	604	594

TABLEAU IV (*suite et fin*)

$p = 90\,000\text{ Pa}$

$t\text{ (}^\circ\text{C)}$	$h = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
21	0,999 676	671	666	660	653	645	637	628	618	608	597
22	0,999 685	680	674	667	660	652	643	633	623	611	599
23	0,999 693	688	681	674	666	658	648	638	626	614	601
24	0,999 701	696	689	681	673	664	653	642	630	616	602
25	0,999 709	703	696	688	679	669	658	646	632	618	603
26	0,999 717	711	704	695	685	674	662	649	635	619	602
27	0,999 725	719	711	701	691	679	666	652	636	619	601

$p = 100\,000\text{ Pa}$

$t\text{ (}^\circ\text{C)}$	$h = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
15	0,999 581	577	574	570	565	561	556	550	545	539	532
16	0,999 591	587	584	579	575	570	564	558	552	546	539
17	0,999 601	597	593	589	584	578	572	566	560	552	545
18	0,999 611	607	603	598	592	587	580	574	566	559	551
19	0,999 621	617	612	607	601	595	588	581	573	565	556
20	0,999 631	626	621	616	609	603	595	588	579	570	560
21	0,999 640	636	630	624	618	610	602	594	585	575	565
22	0,999 650	645	639	633	626	618	609	600	590	580	568
23	0,999 659	654	648	641	633	625	616	606	595	584	571
24	0,999 668	663	656	649	641	632	622	611	599	587	574
25	0,999 677	671	664	657	648	638	628	616	603	590	575
26	0,999 686	680	673	664	655	644	633	620	607	592	577
27	0,999 695	688	681	672	662	650	638	624	610	594	577

$p = 110\,000\text{ Pa}$

$t\text{ (}^\circ\text{C)}$	$h = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
15	0,999 539	536	532	528	524	519	515	509	504	498	492
16	0,999 550	547	543	539	534	529	524	519	513	506	500
17	0,999 562	558	554	549	544	539	533	527	521	514	507
18	0,999 573	569	564	559	554	548	542	536	529	522	514
19	0,999 583	579	574	569	564	558	551	544	537	529	520
20	0,999 594	590	585	579	573	567	560	552	544	535	526
21	0,999 605	600	595	589	582	575	568	560	551	542	532
22	0,999 615	610	604	598	591	584	576	567	557	547	536
23	0,999 625	620	614	607	600	592	583	574	563	552	541
24	0,999 635	630	623	616	608	600	590	580	569	557	544
25	0,999 645	639	633	625	616	607	597	586	574	561	548
26	0,993 655	649	642	634	624	614	603	592	579	565	550
27	0,999 665	658	651	642	632	621	610	597	583	568	552

avec

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 1,624\ 19 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{Pa}^{-1} & a_1 &= - 2,896\ 9 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1} \\
 a_2 &= 1,088\ 0 \times 10^{-10} \text{ K}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \\
 b_0 &= 5,757 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{Pa}^{-1} & b_1 &= - 2,589 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1} \\
 c_0 &= 1,929\ 7 \times 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{Pa}^{-1} & c_1 &= - 2,285 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1} \\
 d &= 1,73 \times 10^{-11} \text{ K}^2 \cdot \text{Pa}^{-2} & e &= - 1,034 \times 10^{-8} \text{ K}^2 \cdot \text{Pa}^{-2}
 \end{aligned}$$

L'écart entre la valeur de  $Z$  donnée par cette formule et la valeur ayant servi à établir la table est dans le cas le plus défavorable égal à  $2 \times 10^{-7}$ , dans la limite des valeurs considérées pour les paramètres.

### 3. Application pratique

Pour déterminer dans la pratique la masse volumique de l'air humide, on procède de la façon suivante :

#### 3.1. Mesure de la pression et de la température

On mesure la pression  $p$  et la température  $t$  de l'air dans l'enceinte de la balance. La pression doit être exprimée en pascals ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-2} \text{ mbar} = 10 \text{ dyn/cm}^2$ ) et la température  $t$  en degrés Celsius; on en déduit la température thermodynamique  $T$ , exprimée en kelvins, par la formule

$$T = t + 273,15 \text{ K.} \quad (25)$$

#### 3.2. Détermination de la fraction molaire de la vapeur d'eau

On détermine la fraction molaire  $x_v$  de la vapeur d'eau dans l'air considéré, en procédant comme suit :

3.2.1. — Si l'on possède un hygromètre à point de rosée, on détermine la température  $t_r$  du point de rosée en degrés Celsius; on en déduit, à l'aide des tableaux II et III par interpolation linéaire, la pression de vapeur saturante  $p_{sv}(t_r)$  et le facteur d'augmentation  $f(p, t_r)$ . Les valeurs des tableaux sont données avec un nombre suffisant de décimales pour faciliter les interpolations nécessaires. On peut également calculer directement  $p_{sv}(t_r)$  et  $f(p, t_r)$  en appliquant les formules d'approximation (22) et (23). On détermine alors  $x_v$  par application de la formule (21).

3.2.2. — Dans le cas où l'on peut connaître directement l'humidité relative  $h$ , la fraction molaire  $x_v$  se calcule d'après la formule (19). Il faut donc déterminer d'abord la pression de vapeur saturante  $p_{sv}(t)$  et le facteur d'augmentation  $f(p, t)$  correspondant à la pression  $p$  et à la température  $t$  de l'expérience, ce qui se fait comme indiqué précédemment, à l'aide des tableaux II et III, ou par application des formules (22) et (23).

*Nota.* — L'humidité relative s'exprime habituellement sous forme du taux d'humidité relative  $U$ , exprimé en pourcentage; on a, entre l'humidité

relative  $h$  et le taux d'humidité relative  $U$ , la relation

$$h = \frac{U}{100}. \quad (26)$$

### 3.3. Détermination du facteur de compressibilité

On détermine le facteur de compressibilité  $Z$  de l'air humide considéré en procédant comme suit :

3.3.1. — Le facteur  $Z$  peut être calculé à l'aide des données du tableau IV, par interpolation linéaire, en fonction de la pression  $p$ , de la température  $t$  et de l'humidité relative  $h$ . Si l'on ne connaît pas directement  $h$ , on la calcule en fonction de  $x_v$  ou connaissant la température  $t_r$  du point de rosée, en appliquant l'une des formules suivantes

$$h = x_v \frac{p}{f(p, t) \cdot p_{sv}(t)} = \frac{f(p, t_r) \cdot p_{sv}(t_r)}{f(p, t) \cdot p_{sv}(t)}. \quad (27)$$

3.3.2. — On peut également calculer  $Z$  par application de la formule (24) en fonction de la pression  $p$ , exprimée en pascals, de la température  $t$ , exprimée en degrés Celsius, de la température thermodynamique  $T$ , calculée suivant la formule (25) et exprimée en kelvins, et de la fraction molaire  $x_v$ , celle-ci ayant été déterminée comme indiqué en 3.2.

### 3.4. Calcul de la masse volumique de l'air

Les paramètres  $p$ ,  $T$ ,  $x_v$  et  $Z$  étant connus, on en déduit la masse volumique  $\rho$  de l'air humide par application de la formule (15) :

$$\rho = 3,483\,53 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{K} \cdot \text{J}^{-1} \times \frac{p}{ZT} (1 - 0,378\,0\,x_v)$$

Si l'on a la possibilité de mesurer la fraction molaire  $x_{\text{CO}_2}$  du dioxyde de carbone dans l'air du laboratoire (air débarrassé de sa vapeur d'eau), on a une évaluation plus exacte de  $\rho$  en appliquant la formule (16) :

$$\rho = [3,483\,53 + 1,44 (x_{\text{CO}_2} - 0,000\,4)] \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{K} \cdot \text{J}^{-1} \times \frac{p}{ZT} (1 - 0,378\,0\,x_v)$$

## 4. Incertitudes

Les formules que l'on donne dans ce document pour le calcul de la masse volumique de l'air ont pour but d'unifier les diverses méthodes utilisées par les laboratoires nationaux. Il faut les considérer, dans une certaine mesure, comme conventionnelles ; elles ne prétendent donc pas à une exactitude absolue. Toutefois, leurs utilisateurs apprécieront sans aucun doute d'avoir une estimation de l'incertitude avec laquelle ces formules donnent la masse volumique de l'air.

Il n'existe malheureusement pas de convention universellement acceptée pour l'estimation et la sommation des incertitudes et par conséquent la valeur finale dépend du choix de la méthode. Pour cette raison, dans le présent document, nous n'entrons pas dans le détail des méthodes de calcul de l'incertitude sur  $\rho$ , nous donnons seulement les valeurs que l'on obtient avec plusieurs méthodes. On trouvera le détail des calculs dans les références [2 à 5]. La principale différence entre les méthodes considérées consiste dans la façon dont les diverses incertitudes sont réparties entre celles que l'on considère comme systématiques et celles que l'on considère comme aléatoires. Par exemple, tous les auteurs s'accordent pour dire que l'incertitude relative ( $1 \sigma$ ) sur la valeur de  $R$  utilisée dans la formule est de  $3,1 \times 10^{-5}$ , mais dans trois cas (réf. [3, 4, 5]) cette incertitude est considérée comme systématique, tandis que dans un cas (réf. [2]) elle est considérée comme aléatoire. Les auteurs ne sont pas d'accord non plus sur la façon dont il convient d'additionner les incertitudes systématiques; dans les références [3] et [5] on fait une somme quadratique tandis que dans les références [2] et [4] on fait une somme arithmétique. Nous laissons donc à l'utilisateur le choix de la méthode qu'il préfère pour estimer les incertitudes de chaque catégorie et les combiner. Les valeurs suivantes ne sont données que pour indiquer les ordres de grandeur.

Il est important de faire la distinction entre :

- A) l'incertitude due à la formule elle-même,
- B) l'incertitude due aux grandeurs mesurées lors de l'application de la formule.

#### A. Incertitude sur $\rho$ due à la formule elle-même

L'incertitude sur  $\rho$  due à la formule elle-même provient des incertitudes sur les valeurs de  $R$ ,  $M_a$ ,  $M_v$  et des incertitudes sur les valeurs tabulées de  $Z$ ,  $\rho_{sv}$  et  $f_2$ , ces deux dernières intervenant par l'intermédiaire de  $x_v$ .

Parmi ces incertitudes, la plus difficile à évaluer est celle sur  $M_a$  en raison des écarts entre les données disponibles aussi bien pour la composition de l'air que pour les variations de cette composition; cela contribue aussi à la dispersion des valeurs trouvées par les différents auteurs pour l'incertitude sur  $\rho$ .

Si l'on fait la somme quadratique des incertitudes aléatoires dues à chacune de ces grandeurs, on obtient selon les différents auteurs des incertitudes aléatoires relatives ( $1 \sigma$ ) comprises entre 0 et  $5 \times 10^{-5}$  (moyenne  $2,5 \times 10^{-5}$ ).

Si l'on combine de la même façon les incertitudes systématiques, on obtient des valeurs ( $1 \sigma$ ) comprises entre 4 et  $9 \times 10^{-5}$  (moyenne  $6 \times 10^{-5}$ ).

Si l'on fait la somme arithmétique des incertitudes systématiques, on obtient des valeurs comprises entre 5 et  $13 \times 10^{-5}$  (moyenne  $10 \times 10^{-5}$ ).

B. Incertitude sur  $\rho$  due aux grandeurs mesurées lors de l'application de la formule

Les incertitudes sur  $\rho$  dues aux incertitudes des mesures de  $p$ ,  $T$ ,  $h$  (ou  $t_v$ ) et  $x_{\text{CO}_2}$ , sont données avec une bonne exactitude, dans les conditions habituelles, par :

$$\frac{\delta\rho}{\rho}(p) \approx + 1 \times 10^{-5} \text{ Pa}^{-1} \cdot \delta p$$

$$\frac{\delta\rho}{\rho}(T) \approx - 4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot \delta T$$

$$\frac{\delta\rho}{\rho}(h) \approx - 9 \times 10^{-3} \delta h$$

$$\frac{\delta\rho}{\rho}(t_v) \approx - 3 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1} \cdot \delta t_v$$

$$\frac{\delta\rho}{\rho}(x_{\text{CO}_2}) \approx + 0,4 \delta x_{\text{CO}_2}$$

Chacune comporte à la fois une composante aléatoire et une composante systématique que chaque utilisateur doit naturellement évaluer. Nous laissons, de plus, à l'utilisateur le soin de choisir de quelle façon elles seront combinées.

*Note* : Le Comité International des Poids et Mesures recommande [Recommandation 1 (CI-1981), voir p. 26] la mise à l'essai des principes proposés par son Groupe de travail sur l'expression des incertitudes, qui conduisent à estimer et additionner les variances pour toutes les incertitudes.

### Bibliographie

#### I. Documents préparatoires

- [1] Rapport sur la réunion concernant les masses (23 et 24 novembre 1976), par T. J. QUINN, *Procès-Verbaux du CIPM*, **45**, 1977, pp. A1-24.
- [2] JONES (F. E.), The air density equation and the transfer of the mass unit. Publ. NBSIR 77-1278 du NBS, 1977, 28 pages.  
JONES (F. E.), The air density equation and the transfer of the mass unit. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **83**, No. 5, Sept.-Oct. 1978, pp. 419-428.
- [3] KOCHSIEK (M.), Über die Luftauftriebskorrektur bei der Weitergabe der Masseneinheit. *PTB-Bericht Me-15*, 1977, 44 pages.
- [4] RIÉTY (P.), La détermination de la masse volumique de l'air humide. Document d'étude du Groupe de travail. Rapport INM 77-1, 1977, 55 pages.
- [5] CARRÉ (P.), Note sur l'incertitude de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air. Rapport BIPM-78/8, décembre 1978-mai 1979, 11 pages.

#### II. Comportement de l'air humide

- [6] HARRISON (L. P.), Fundamental concepts and definitions relating to humidity. *In Humidity and Moisture*, Wexler and Wildhack, Reinhold Publ. Corp. N.Y., 1965.

### III. Constante molaire des gaz

- [7] QUINN (T. J.), COLCLOUGH (A. R.) and CHANDLER (T. R. D.), A new determination of the gas constant by an acoustical method. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **A 283**, 1976, pp. 367-420.
- COLCLOUGH (A. R.), QUINN (T. J.) and CHANDLER (T. R. D.), An acoustic redetermination of the gas constant. *Proc. Roy. Soc. London*, **A 368**, 1979, pp. 125-139.
- [8] GAMMON (B. E.), The velocity of sound with derived state properties in helium at  $-175$  to  $150$  °C with pressure to 150 atm. *J. Chem. Phys.*, **64**, 1976, N° 6, pp. 2556-2568.
- [9] COHEN (E. R.) and TAYLOR (B. N.), The 1973 least-squares adjustment of the fundamental constants. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **2**, 1973, pp. 663-734.

### IV. Composition et masse molaire de l'air sec

- [10] LEDUC (A.), La masse du litre d'air dans les conditions normales. *Travaux et Mémoires du BIPM*, **XVI**, 1917, pp. 7-37.
- [11] TOWER (O. F.), La proportion d'oxygène dans l'air est-elle constante ? *J. Ch. Phys.*, **11**, 1913, pp. 249-259.
- [12] MORLEY (E. W.), On a possible cause of the variations observed in the amount of oxygen in the air. *Amer. Journ. Science*, 3<sup>e</sup> série, **22**, 1881, N° 132, pp. 417-438.
- [13] CALLENDAR (G. S.), Variations of the amount of carbon dioxide in different air currents. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **66**, 1940, pp. 395-400.
- [14] PANETH (F. A.), The chemical composition of the atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **63**, 1937, pp. 433-438.
- [15] GLUECKAUF (E.), The composition of atmospheric air. In : Compendium of meteorology, Amer. Meteorol. Soc., Boston, 1951, pp. 3-10.
- [16] MACHTA (L.) and HUGUES (E.), Atmospheric oxygen in 1967 to 1970. *Science*, **168**, June 1970, pp. 1582-1584.
- [17] U.S. Standard Atmosphere 1976. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1976, p. 3 et p. 33.
- [18] CHACKETT (K. F.), PANETH (F. A.) and WILSON (E. J.), Chemical composition of the stratosphere at 70 km height. *Nature*, **164**, N° 4160, July 1949, pp. 128-129.
- [19] OANA (S.), Bestimmung des Argons im besonderen Hinblick auf gelöste Gase in natürlichen Wässern. *J. Earth Sci. Nayoga Univ.*, 1957, pp. 103-124.

### V. Compressibilité et pression de vapeur saturante de l'air humide

- [20] WEXLER (A.), Vapor pressure formulation for water in range 0 to 100 °C. A revision. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **80 A**, Nos 5-6, Sept.-Dec. 1976, pp. 775-785.
- [21] GREENSPAN (L.), Functional equations for the enhancement factors for CO<sub>2</sub>-free moist air. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **80 A**, N° 1, Jan.-Feb. 1976, pp. 41-44.
- [22] HYLAND (R. W.), A correlation for the second interaction virial coefficients and enhancement factors for moist air. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **79 A**, N° 4, July-Aug. 1975, pp. 551-560.
-



---

**RÈGLEMENT ADMINISTRATIF ET FINANCIER  
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**

---

**I. – BUDGET**

**I.1. – Structure du budget annuel**

Le budget annuel est subdivisé en chapitres :

A – Dépenses de personnel. Ce chapitre comprend les rémunérations versées au personnel et les charges sociales correspondantes.

B – Dépenses de fonctionnement. Ce chapitre comprend les dépenses nécessaires au fonctionnement courant du Bureau International.

C – Dépenses d'investissement. Ce chapitre comprend les dépenses de gros matériel et en particulier les équipements coûteux dont la valeur individuelle dépasse trois millièmes du budget annuel.

D – Dépenses de bâtiment : entretien, réparation, rénovation.

E – Dépenses diverses, qui n'entrent pas dans les catégories précédentes.

Le Comité International peut y ajouter d'autres chapitres s'il le juge utile.

A l'intérieur de chaque chapitre, les dépenses sont affectées à un nombre limité d'articles qui en précisent la répartition.

**I.2. – Établissement du budget annuel**

Le Comité International est chargé d'établir le budget annuel du Bureau International, sur proposition du Directeur et sur la base de la dotation votée par la Conférence Générale.

Dans ce but, le Directeur soumet au Comité International, à chaque session annuelle, une proposition de budget pour l'année suivante. Cette proposition, préalablement examinée par le bureau du Comité International, est examinée, éventuellement modifiée et finalement approuvée par le Comité International.

### **I.3. — Exécution du budget annuel**

Le Directeur soumet au Comité International, à chacune de ses sessions annuelles :

1° Un rapport sur l'exécution du budget de l'année précédente ; ce rapport doit être accompagné du rapport d'un expert-comptable attestant la régularité des comptes.

Après vérification, le Comité International donne décharge au Directeur et à l'Administrateur-comptable ou prend les mesures qu'il juge appropriées.

2° Un rapport sur les travaux accomplis par le Bureau International depuis la précédente session et sur les moyens nécessaires pour poursuivre ces travaux.

3° Un rapport donnant les prévisions pour l'exécution du budget de l'année en cours.

### **I.4. — Transferts à l'intérieur du budget annuel**

Le bureau du Comité International peut, en cas de nécessité, autoriser des transferts d'un chapitre à un autre. Le Directeur est autorisé à effectuer, si besoin est, des transferts d'un article à un autre, à l'intérieur d'un même chapitre, en laissant le total du chapitre inchangé. Il doit en rendre compte au bureau du Comité International.

### **I.5. — Comptes spéciaux**

Le Comité International a également la charge de surveiller la gestion des fonds affectés à la Caisse de Retraites et de Prévoyance (Compte II), à l'amélioration du matériel scientifique (Compte III), ou à toute autre destination spécifiée. Bien qu'ils fassent l'objet de comptes séparés, ces fonds sont soumis aux mêmes règles que le budget ordinaire. Ils doivent en particulier figurer, avec les comptes correspondants, dans le Rapport Annuel aux Gouvernements.

Ces comptes peuvent être alimentés soit par des recettes qui leur sont propres, tels que prélèvements sur les salaires ou contributions d'entrée des États, soit par le budget ordinaire.

### **I.6. — Recettes**

Le budget du Bureau International est alimenté par la dotation votée par la Conférence Générale et versée annuellement par les États membres au début de chaque année.

A l'exception des recettes directement affectées à des comptes spéciaux, toutes les recettes diverses, telles que taxes de vérification, remboursement des taxes ou ventes de publications, contribuent au budget ordinaire.

Les fonds disponibles peuvent, sous le contrôle du bureau du Comité International, faire l'objet de placements productifs d'intérêts. Les intérêts produits figurent parmi les recettes.

### **I.7. — Responsabilités financières à l'intérieur du Bureau International**

Le Comité International établit, sur proposition du Directeur, un règlement détaillé établissant les responsabilités financières des fonctionnaires du Bureau International.

L'autorisation de signature des documents financiers doit être donnée par le bureau du Comité International.

L'autorisation de signature est normalement donnée au Directeur et, en cas d'absence du Directeur, au Sous-Directeur.

## **II. — RAPPORTS AUX GOUVERNEMENTS**

### **II.1. — Notification des parts contributives**

Le bureau du Comité International adresse, à la fin de chaque année, aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre, une Notification des parts contributives donnant le tableau de répartition de la dotation pour l'année suivante, le mode de calcul et les modalités de paiement. La dotation totale et le mode de calcul doivent être conformes aux décisions de la Conférence Générale.

### **II.2. — Rapport annuel**

Le bureau du Comité International adresse chaque année aux Gouvernements des États membres un rapport sur la situation administrative et financière du Bureau International contenant :

1° Un rapport sur l'ensemble des comptes et l'exécution du budget.

2° Le budget approuvé par le Comité International pour l'année suivante.

3° Un rapport général sur l'activité du Comité International, mentionnant en particulier les départs de membres du Comité International et les cooptations de nouveaux membres, et sur l'activité de ses Comités Consultatifs.

4° Un résumé des travaux effectués au Bureau International.

5° Un tableau donnant la situation des versements des États à la fin de l'année.

6° Une liste des membres du Comité International.

7° D'une façon générale, toutes les informations qui peuvent être utiles pour tenir les Gouvernements au courant de la situation administrative et financière du Bureau International.

### III. — PERSONNEL

#### III.1. — Nominations

Le Comité International fixe le nombre des postes mis à la disposition du Bureau International dans chaque catégorie de personnel.

Le Directeur, le Sous-Directeur et les Adjoints sont nommés par le Comité International. Leur nomination fait l'objet d'un vote à bulletin secret.

Les autres membres du personnel peuvent être nommés par le Directeur.

#### III.2. — Grille des salaires

Le Comité International établit une grille indiquant les salaires pour les différents grades et échelons correspondant aux différentes catégories de personnel.

#### III.3. — Statut du personnel

Le Comité International établit, sur proposition du Directeur, un statut du personnel qui règle, en particulier, les conditions générales de travail, d'avancement, de congés, de classement, et d'une façon générale les droits et les devoirs du personnel en activité.

### IV. — RETRAITES ET PRÉVOYANCE

#### IV.1. — Pensions

Le Comité International établit un règlement précisant le régime et les conditions d'attribution des pensions servies aux anciens membres du personnel après leur départ à la retraite ou en cas d'invalidité prolongée, ou, après leur décès, à leurs ayants droit éventuels.

#### IV.2. — Caisse de Retraites et de Prévoyance

Pour servir ces pensions, le Comité International maintient une Caisse de Retraites et de Prévoyance au moyen des ressources spécifiées dans le même règlement.

Octobre 1981

---

## NOTICE NÉCROLOGIQUE

---

Peter HONTI

(1907 - 1981)

Peter Honti, vice-président du Comité International des Poids et Mesures, ancien vice-président de l'Office National des Mesures Hongrois, est décédé le 6 mars 1981 à la suite d'une grave et longue maladie, supportée avec une patience étonnante.

P. Honti était né le 21 août 1907. Son père était professeur de littérature et de langues, auteur de plusieurs livres de grammaire. Ainsi l'ambiance de la maison paternelle lui donna déjà des impulsions culturelles et linguistiques. Outre le hongrois, sa langue maternelle, P. Honti parlait couramment quatre langues étrangères : le français, l'anglais, l'allemand et l'italien. C'était un homme profondément cultivé, s'intéressant à de nombreux sujets en dehors de sa propre profession. Il fit ses études supérieures à l'Université Technique de Budapest, où il obtint le diplôme d'ingénieur mécanicien en 1931. C'était une période très défavorable pour un débutant, celle de la grande crise de l'économie mondiale. Jeune ingénieur, il travailla dans plusieurs petites entreprises comme ingénieur d'études ou de production, puis dans des services de brevets. Son sens de la formulation élégante et claire ainsi que des questions juridiques remontait peut-être à cette activité. Il se rendit plusieurs fois à l'étranger pour perfectionner ses connaissances.

Après la période difficile et bouleversée de la guerre, P. Honti participa à la reconstruction de l'usine Standard Électrique à Budapest. Ensuite, de 1948 à 1951, il revint au domaine des brevets. Il travailla au Service Hongrois des Inventions, dont il devint chef adjoint.

P. Honti entra à l'Office National des Mesures (OMH) en 1952. Il en devint le vice-président en 1953, et il exerça cette fonction jusqu'en 1973, date à laquelle il fit valoir ses droits à la retraite. Comme vice-président, il eut l'occasion de réaliser la synthèse non seulement de ses connaissances techniques, linguistiques, juridiques, administratives et économiques mais encore de ses dons de philosophe et de psychologue.

Jusqu'à 1950 environ, l'Institut des Mesures, prédécesseur de l'OMH, s'occupait surtout de la vérification des instruments de mesure utilisés dans le commerce. Les exigences du développement de l'économie hongroise et les progrès de la métrologie au niveau international demandèrent alors un élargissement considérable des activités de l'OMH. Les laboratoires déjà existants furent équipés d'instruments étalons nouveaux et on essaya de fonder l'activité métrologique sur des bases scientifiques. Des laboratoires indépendants de mesurage de volume, de force, de pression et de température s'organisèrent; on commença à travailler dans des domaines complètement nouveaux comme l'électronique, l'optique, la photométrie et la vérification des machines d'essai. On élargit le domaine des mesures électriques, puis on aborda les mesures des rayonnements ionisants. Des bâtiments nouveaux furent édifiés pour la plupart des centres de vérification de district.

Dans ce développement dynamique de la métrologie hongroise au cours des années cinquante et soixante, P. Honti joua un rôle de créateur et de dirigeant. On ne peut qu'admirer la façon dont il pouvait se tenir au courant de tous les problèmes essentiels de 30 à 40 laboratoires différents et s'intéresser à l'activité de presque tous les membres de leur personnel. Il avait une vision précise des orientations et des développements nécessaires et il essayait de les réaliser résolument. Le vice-président donnait à ses collaborateurs la possibilité de travailler de leur propre initiative, d'autre part il entendait qu'on accomplît des prouesses. Sa personnalité amicale et modeste était considérée comme un modèle.

Le Gouvernement hongrois lui avait décerné de hautes distinctions honorifiques.

L'activité de P. Honti dans les institutions métrologiques internationales mérite d'être soulignée. Il représenta la Hongrie aux Conférences Générales des Poids et Mesures (CGPM) de 1954 à 1975. Il fut élu par cooptation en 1969 membre du Comité International des Poids et Mesures (CIPM) et son élection fut confirmée par la 14<sup>e</sup> CGPM en 1971. Depuis la signature de la Convention du Mètre, P. Honti était le troisième membre du CIPM de nationalité hongroise, après E. de Kruspér (1879-1894) et L. de Bodola (1894-1929). Il fut élu à l'unanimité vice-président du CIPM en 1976. Il fut réélu à cette fonction en 1979, mais déjà sa maladie l'empêcha de participer aux travaux du CIPM. Il prit une part très active aux travaux du Comité Consultatif des Unités (CCU) à titre d'expert depuis 1965. Bien qu'il eût des fonctions plus haut placées dans le cadre de l'Organisation Intergouvernementale de la Convention du Mètre, P. Honti était très fier d'être membre du CCU. Il mit tout en œuvre pour le succès du Système International d'Unités, tant sur le plan international qu'en Hongrie, où il fut l'instigateur des décrets du Conseil des Ministres Hongrois introduisant le SI comme système de mesure légal dès 1960.

P. Honti fut aussi un collaborateur actif de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale, dès sa constitution en 1955. Il fut membre du Comité International de Métrologie Légale (CIML) et représentant de la Hongrie de 1955 à 1975, membre du Conseil de la présidence, depuis 1960, et vice-président du CIML depuis 1968. A sa retraite, il fut élu membre d'honneur du CIML.

Il déploya aussi une activité infatigable dans la coopération métrologique bilatérale et régionale. La première réunion des chefs des services métrologiques des pays du Conseil d'Assistance Économique Mutuelle, en 1959, avait accepté ses propositions comme base de l'activité future, ce qui donna naissance à la Section de Métrologie de ce Conseil.

Il fut l'un des organisateurs de la Confédération Internationale de la Mesure (IMEKO), représentant la Société Hongroise de la Mesure et de l'Automatisation au Conseil Général de l'IMEKO jusqu'en 1978, prêtant souvent ses bons offices dans les situations délicates ou établissant la liaison avec les organisations métrologiques intergouvernementales. Au sein de l'IMEKO, il put user de son influence pour donner une possibilité aux jeunes chercheurs de présenter leurs résultats devant une audience internationale.

A proprement parler, P. Honti ne fut jamais un vrai retraité. Comme conseiller de l'Office National des Mesures, il donnait volontiers des conseils à ses successeurs et élèves, mais seulement sur les sujets qu'ils lui soumettaient. Il continua de remplir ses engagements dans les institutions internationales jusqu'à la fin de l'année 1978, quand la maladie l'empêcha de voyager. Mais il conserva son intérêt pour la métrologie presque jusqu'à la fin inévitable. Quelques semaines avant sa disparition, il prenait encore des dispositions pour des affaires concernant le Comité International des Poids et Mesures.

Les contributions de Peter Honti, au cours d'une vie consacrée à la métrologie, dont vingt années à la vice-présidence de l'OMH, laisseront longtemps une trace discernable dans les institutions métrologiques internationales et hongroises. Ses disciples et tous ceux qui l'ont connu garderont longtemps la mémoire de ses qualités personnelles.

F. PETIK

---



## INDEX

- Air humide (masse volumique de l'), C 1
- Balance  
Rueprecht 1 kg, 43
- Base géodésique, 32
- Bâtiments  
dépendances (consolidation de la colline, dalle de protection), 28  
détection d'incendie, refonte, 28  
Grand Pavillon (réfection bureaux du secrétariat), 28  
Petit Pavillon, 28  
rénovation de la menuiserie, 17
- BIH, avenir du, 19
- Budget 1982, 23
- Certificats, Notes d'étude, 86
- CGPM (16<sup>e</sup>), Groupe de travail *ad hoc*, 2, 4
- Comités Consultatifs  
Définition du Mètre (Groupe de travail commun avec CCU), 9  
Définition de la Seconde, 5; rapport 9<sup>e</sup> session, S 1; déclaration concernant TAI, S 15  
Masse et grandeurs apparentées, 6  
Rayonnements Ionisants, 7  
rapport du Président, B 1  
réunions futures, 13  
Unités (Groupe de travail commun avec CCDM), 9
- Comité International  
bureau du, 3  
composition, VII  
décès (P. Honti), 1, XI  
démission (Y. Sakurai), 2  
élections (A. Bray, M. Kawata), 2  
Procès-verbaux du (rapport succinct), 3  
rapport du Secrétaire, 1  
sièges vacants, 4
- Comparaisons internationales  
étalons à traits, 30  
étalons de  $1 \Omega$  et de  $10^4 \Omega$ , 54  
mesures d'activité, 66  
mesures de débit de fluence de neutrons rapides (préparation), 78  
représentations nationales du volt, 55
- Comparateur photoélectrique et interférentiel, 30
- Comptes, 98
- Compteur Geiger-Müller (sensibilité du), 79
- CO<sub>2</sub> dans l'air, fraction molaire de, 44
- Définition du mètre  
propositions pour une nouvelle, 9
- Dépôt des prototypes métriques, visite, 20
- Documentation, 89
- Dose absorbée  
dans le graphite, 61  
dans l'eau, 62
- Dosimètres chimiques, comparaison, 63, B 4
- Dosimétrie neutronique, conditions de comparaisons sur l'accélérateur du NPL, 16
- Échantillonnage sélectif (méthode d'), 15, 71, B 9
- Échelle Internationale Pratique de Température, (*voir* Température)
- Échelles de temps (*voir* Temps)
- Électricité, 54  
comparaisons de représentations nationales de l'ohm, 54; du volt, 55  
effet Josephson, conservation et transfert de  $V_{76-B1}$ , 56  
nouvelle cage de Faraday, 58  
potentiomètre fabriqué par l'IMM, 57  
tension alternative — tension continue, convertisseur, 58  
unité de capacité, conservation, 58
- Électrons, 64  
installation pour la mesure de  $W$ , 64
- Étalons  
électriques (*voir* Électricité)  
longueur  
à traits, 30  
à bouts plans, 32  
masse en Pt-Ir, fabrication, 40
- Expression des incertitudes (*voir* Incertitudes)
- Franc-or (monnaie de compte), 4
- Gallium, point triple du, 49
- Gravimétrie, 48; liaison gravimétrique entre Sèvres et Orléans, 48; comparaison de gravimètres transportables, 48
- Groupes de travail  
*ad hoc* de la 16<sup>e</sup> CGPM, 2, 4  
commun CCDM/CCU, 9  
sur l'expression des incertitudes, 8, A 1

- Incertitudes  
Groupe de travail sur l'expression des, 8;  
rapport, A 1; Recommandation du  
Groupe de travail, A 11; Recomman-  
dation du CIPM, 26
- Instruments de transfert  
d'activité (Nb/Zr), 82  
de pression, 53
- Invar géodésique, 32
- Kilogrammes prototypes  
(fabrication et usinage), 40
- Kerma (*voir* Rayons X)
- Lasers, 33  
à argon ionisé (prêt de la PTB), 33  
à He-Ne en cuve externe, 36  
comparaison de cuves à iode entre le NPL  
et le BIPM, 34; de différentes origines,  
35
- Longueurs, 30  
mesures de longueurs d'onde, 38
- Manométrie, 53
- Masse  
Comité Consultatif pour la, 6  
comparaison de 1 kg avec NRLM et  
CSIRO, 39  
usinage à l'outil au diamant, 40  
volumique de l'air humide, C 1; de l'eau,  
44; de cylindres en Pt-Ir, 38
- Mesures neutroniques, 78, B 10, B 18, B 20  
préparation de mesures de dose absorbée,  
78  
sensibilité du compteur Geiger-Müller, 79
- Mètre  
CCDM/CCU, Groupe de travail commun,  
propositions pour une nouvelle défini-  
tion, 9
- Metrologia*, 83
- Neutrons (*voir* Mesures neutroniques)
- Notices  
historique, V  
nécrologique: (P. Honti), XI
- Organismes internationaux et nationaux,  
travaux en liaison avec, 89
- Personnel  
engagements (R. P. Hudson, M. Gläser,  
G. Gillies, M. de Carvalho-Neves), 27  
R. Michard (50 ans de présence), 25
- Photométrie, 59
- Publications  
du BIPM, 83  
extérieures, 84  
rapports internes, 85
- Pyrométrie, 50
- Questions administratives, 21  
Règlement administratif et financier, D 1
- Radiométrie, 59  
radiomètre absolu offert par le NPRL,  
15, 59
- Radionucléides  
activité, comparaisons internationales de  
mesure ( $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ), 66  
chambre d'ionisation à puits pressurisée,  
68  
ensemble de comptage par coïncidences,  
66  
programme des travaux du BIPM, B 19  
spectromètre  $\gamma$  à Ge(Li), 67  
Système international de référence, B 8,  
B 9
- Radium (étalon international), 67
- Rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , 61
- Rayons X et  $\gamma$ , électrons, 59, B 2  
programme des travaux du BIPM, B 19
- Rayons X, 59  
calcul du kerma dans l'air et dans l'eau, 59
- Recommandations du  
CCDS, S 18  
CCEMRI (Section I), B 6  
CIPM (incertitudes), 26  
Groupe de travail sur l'expression des  
incertitudes, A 11
- Règle décimétrique, mesure de, 30
- Règlement administratif et financier, 4, 21,  
(texte) D 1
- Règles divisées, 31
- Spectrométrie  $\alpha$ , 77  
champ magnétique du spectrographe, 77  
mesures d'énergie de particules  $\alpha$ , 77
- Statistiques de comptage, 70  
méthode d'échantillonnage sélectif, 15, 71,  
B 9
- Système International d'Unités, 89
- Temps  
Atomique International  
(déclaration sur), S 15; stabilité et  
exactitude, 46; variation saisonnière, 14  
calcul des échelles de (Recommandation  
S 1), S 18  
liaison horaire par satellite, 47  
Universel Coordonné, fonctionnement,  
S 17
- Thermométrie, 15, 48  
EIPT (points triples de Ga, H<sub>2</sub>O, Ar), 49
- Travaux du BIPM, présentation des, 13
- Visites et stages au BIPM, 94
- Voyages, visites, conférences et exposés du  
personnel, 90
- W*, installation pour la mesure de, 64

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

### COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

70<sup>e</sup> Session (Octobre 1981)

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre.....	v
Liste des membres du Comité International .....	vii
Liste du personnel du Bureau International .....	ix
Ordre du jour de la session .....	x
<b>Procès-Verbaux des séances, 6-8 octobre 1981 .....</b>	<b>1</b>
Ouverture de la session .....	1
Rapport du Secrétaire du CIPM (Décès de P. Honti, démission de Y. Sakurai; élections de M. Kawata et A. Bray) .....	1
Sièges vacants au CIPM .....	4
Rapport du Groupe de travail <i>ad hoc</i> de la 16 <sup>e</sup> CGPM .....	4
Comités Consultatifs .....	5
Définition de la Seconde, 9 <sup>e</sup> session (Déclaration concernant la définition de TAI compte tenu des théories relativistes) .....	5
pour la Masse, 1 <sup>re</sup> session .....	6
Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants .....	7
Groupe de travail sur l'expression des incertitudes, 1 <sup>re</sup> réunion .....	8
Groupe de travail commun CCDM/CCU .....	9
Réunions futures des Comités Consultatifs .....	13
Travaux du BIPM .....	13
Présentation des travaux métrologiques .....	13
Dosimétrie neutronique .....	16
Projet de rénovation de la menuiserie .....	17
Visite du Dépôt des prototypes métriques .....	20
Questions administratives :	
Règlement administratif et financier .....	21
Budgets .....	22
Questions diverses :	
Utilisation de la langue anglaise .....	24
Célébration des 50 années de présence de R. Michard .....	25
Recommandation 1 (CI-1981) : Expression des incertitudes expérimentales .....	26

<b>Rapport du Directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures</b> (octobre 1980-septembre 1981) .....	27
<b>I. PERSONNEL.</b> — Nomination (J.-M. Chartier). Départ (H. Moreau). Décès (E. Rodrigues). Engagements (R. P. Hudson, M. Gläser, G. T. Gillies, M. de Carvalho-Neves).....	27
<b>II. BÂTIMENTS.</b> — Refonte de la détection d'incendie (Observatoire et Rayonnements Ionisants). Consolidation de la colline derrière l'Observatoire.	28
<b>III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX</b> .....	28
Remarques générales .....	28
1. Longueurs .....	30
1.1 Comparateur photoélectrique et interférentiel (Mise en service d'un pont Tinsley associé au thermomètre à résistance de platine) .....	30
1.2 Étalons à traits (Comparaison internationale de mesure d'une règle divisée; étude d'une réglette décimétrique spéciale. Règles divisées N <sup>os</sup> 15566 [France], 0112-77 [Tchécoslovaquie], 16775 et 19903 [Irak], 427/69 [Japon], 4795 [Pologne] et 0114-77 [Hongrie]) .....	30
1.3 Étalons à bouts plans (Mise en service d'un thermomètre à résistance de platine et d'un pont Tinsley pour l'interféromètre Tsugami. Mesure de neuf calibres [Suisse]) .....	32
1.4 Base géodésique (Fils et rubans; invar géodésique) .....	32
2. Lasers .....	33
2.1 Généralités .....	33
2.2 Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne (Comparaison de lasers de référence du BIPM [ $\lambda = 633$ nm]. Mesure d'un intervalle. Comparaisons de cuves à iode. Lasers à $\lambda = 612$ nm et $\lambda = 594$ nm) .....	34
2.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe ( $\lambda = 612$ nm) .....	36
2.4 Étalonnage de lasers asservis sur le « Lamb dip » .....	37
2.5 Lasers asservis sur l'absorption saturée du méthane ( $\lambda = 3,39$ $\mu$ m).....	37
2.6 Projets à court terme .....	38
2.7 Mesures de longueurs d'onde .....	38
3. Masses .....	38
3.1 Masse volumique de cylindres en platine iridié (ébauches JM17 à JM21) .....	38
3.2 Comparaison de masses de 1 kg avec le NRLM et le CSIRO .....	39
3.3 Fabrication des étalons de masse en platine iridié (Fabrication de l'alliage; usinage à l'outil au diamant; ajustage final) .....	40
3.4 Balance Ruelprecht de portée 1 kg : révision .....	43
3.5 Fraction molaire de CO <sub>2</sub> dans l'air .....	44
3.6 Masse volumique de l'eau .....	44
3.7 Études courantes et divers .....	45
4. Échelles de temps .....	46
4.1 Travaux courants (Temps Atomique International; Temps Universel Coordonné).....	46
4.2 Fichiers sur disque magnétique .....	46
4.3 Stabilité et exactitude du TAI .....	46
4.4 Liaisons horaires par satellite .....	47
5. Gravimétrie. — Gravimètre absolu transportable BIPM-Jaeger; stations gravimétriques « satellites » .....	48
6. Thermométrie .....	48
6.1 Échelle Internationale Pratique de Température (Points triples du gallium, de l'eau, de l'argon) .....	49
6.2 Températures thermodynamiques : étude par pyrométrie infrarouge ...	50
6.3 Émissivité des cavités corps noir (Cavités cylindriques dont la paroi est à réflexion diffuse. Cavités coniques dont la paroi est à réflexion spéculaire) .....	52
6.4 Études courantes .....	53

7. Manométrie .....	53
7.1 Instrument de transfert de pression .....	53
7.2 Études courantes .....	54
8. Électricité .....	54
8.1 Comparaisons de représentations nationales de l'ohm (Résultats des comparaisons internationales d'étalons de 1 $\Omega$ et de 10 <sup>4</sup> $\Omega$ . Rattachement de $\Omega_{\text{IMM}}$ à $\Omega_{69\text{-BI}}$ ) .....	54
8.2 Pont pour la comparaison d'étalons de résistance de valeurs élevées ..	55
8.3 Comparaisons de représentations nationales du volt (Résultats de la comparaison internationale d'étalons de force électromotrice. Rattachement de $V_{\text{IMM}}$ à $V_{76\text{-BI}}$ ) .....	55
8.4 Conservation et transfert de $V_{76\text{-BI}}$ (Effet Josephson. Fabrication de nouvelles enceintes thermorégulées. Installation pour la comparaison des piles étalons. Potentiomètre fabriqué par l'IMM. Réduction des mesures)	56
8.5 Cage de Faraday; convertisseurs « tension alternative-tension continue »	58
8.6 Conservation de l'unité de capacité .....	58
8.7 Études courantes .....	59
9. Photométrie .....	59
9.1 Radiométrie absolue .....	59
9.2 Études courantes .....	59
10. Rayons X et $\gamma$ , électrons .....	59
10.1 Rayons X (Calcul du kerma dans l'air et du kerma dans l'eau à partir de mesures d'exposition) .....	59
10.2 Rayonnement $\gamma$ du <sup>60</sup> Co .....	61
Mesure de l'exposition (Comparaison d'étalons d'exposition. Étalonnage de chambres d'ionisation [Danemark]) .....	61
Mesure de la dose absorbée dans le graphite .....	61
Dose absorbée dans l'eau (Détermination théorique à partir de la dose absorbée dans le graphite. Comparaison de dosimètres chimiques) .....	62
10.3 Électrons (Installation pour la mesure de $W$ ) .....	64
11. Radionucléides .....	66
11.1 Mesures d'activité .....	66
Comparaisons internationales de mesures d'activité ( <sup>55</sup> Fe, <sup>133</sup> Ba) .....	66
Mesures avec l'ensemble de comptage par coïncidences $4\pi(\text{CP})-\gamma$ (Radionucléides à capture électronique. Période du <sup>60</sup> Co) .....	66
Étalonnage et distribution de sources solides minces .....	67
Spectromètre $\gamma$ muni d'un détecteur à germanium compensé au lithium, Ge(Li) .....	67
Étalon international de radium .....	67
Mesures relatives au moyen d'une chambre d'ionisation à puits pressurisée (Contrôles des sources de référence. Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons $\gamma$ [SIR]. Fonctions d'efficacité de la chambre d'ionisation) .....	68
Mesure de diaphragmes à l'aide d'un détecteur semi-conducteur à barrière de surface .....	70
11.2 Statistiques de comptage .....	70
La méthode d'échantillonnage sélectif .....	71
Correction de temps mort pour un taux de comptage variable .....	74
Autres travaux .....	76
11.3 Spectrométrie alpha .....	77
Mesure du champ magnétique du spectrographe .....	77
Mesure d'énergie de particules alpha ( <sup>212</sup> Po, <sup>244</sup> Cm) .....	77
12. Mesures neutroniques .....	78
12.1 Sensibilité du long compteur .....	78
12.2 Sensibilité du compteur Geiger-Müller .....	79
Sensibilité aux neutrons de 14,61 MeV (Principe de la méthode de mesure. Conditions expérimentales. Résultats) .....	79
Sensibilité aux photons d'une source étalonnée de <sup>60</sup> Co .....	82
12.3 Instrument de transfert Nb/Zr .....	82
13. Publications .....	83
Publications du BIPM .....	83

Metrologia .....	83
Publications extérieures .....	84
Rapports internes .....	85
14. Certificats et Notes d'étude .....	86
IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES .....	89
Documentation ; Système International d'Unités .....	89
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux .....	89
Voyages, visites, conférences, exposés du personnel .....	90
Visites et stages au BIPM .....	94
V. COMPTES .....	98

ANNEXES

<b>Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (9<sup>e</sup> session-1980) au CIPM, par M. GRANVEAUD .....</b>	<b>S1</b>
<b>Rapport du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes (1<sup>re</sup> réunion-1980) au CIPM, par R. KAARLS .....</b>	<b>A1</b>
<b>Rapport du président du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants au CIPM (1981), par E. Ambler .....</b>	<b>B1</b>
<b>Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981) .....</b>	<b>C1</b>
<b>Règlement administratif et financier .....</b>	<b>D1</b>
<b>Notice nécrologique</b>	
Peter Honti, par F. Petik .....	XI
INDEX .....	XV