

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES

2^e SÉRIE – TOME 48

69^e SESSION – 1980
(7-9 octobre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2069-9

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 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre⁽¹⁾.

Le Bureau International a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques ; il est chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux ;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux ;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes ;
- d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques qui interviennent dans les activités ci-dessus.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive du *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM).

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

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

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

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

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 7,500 000 francs-or (en 1980), soit environ 2 950 000 dollars U.S.

⁽¹⁾ Au 31 décembre 1980, 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 γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; 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 les Masses 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 9 OCTOBRE 1980

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, Directeur de l'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. L. CINTRA DO PRADO, Professeur à l'Université de São Paulo, Alameda Rocha Azevedo 1274 (Apt. 71), São Paulo, S.P. 01410.
5. B. GUINOT, Astronome titulaire de l'Observatoire de Paris, 61 avenue de l'Observatoire, 75014 Paris.
6. P. HONTI, * Ancien Vice-Président de l'Office National des Mesures, Székacs-u/9b, 1122 Budapest. *Vice-Président.*
7. H. H. JENSEN, Professeur, H. C. Ørsted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium 1, Universitetsparken 5, 2100 København Ø. *Secrétaire-Adjoint.*
8. D. KIND, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig. *Vice-Président.*

* Au moment de mettre sous presse, nous apprenons le décès de P. Honti, survenu le 6 mars 1981, à Budapest.

9. 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.
10. A. PERLSTAIN, Directeur de l'Office Fédéral de Métrologie, Lindenweg 24, 3084 Wabern (Suisse).
11. H. PRESTON-THOMAS, Directeur Associé de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, Ottawa K1A 0S1.
12. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 Uppsala 1 (Suède).
13. J. SKAKALA, Directeur-Adjoint pour la Recherche Scientifique, Institut Métrologique Tchécoslovaque, Podunajské Biskupice, Géologicka 1, Bratislava.
14. R. STEINBERG, Chef du Département de Physique et Métrologie, Instituto Nacional de Tecnologia Industrial, 1101 Buenos Aires.
15. A. R. VERMA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, New Delhi 12.
16. WANG Daheng, Directeur de l'Institut d'Optique et de Mécanique de Précision, Chanchun (Rép. Pop. de Chine).
17. ...
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^{er} JANVIER 1981

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

LABORATOIRES

Physiciens Chercheurs principaux

A. Allisy, A. Rytz, P. Carré.

Physiciens et Métrologistes

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

Techniciens et Calculateurs

L. Lafaye, J. Hostache, C. Colas,
C. Veyradier, D. Carnet, F. Lesueur,
R. Felder, R. Pello, M^{me} M.-J. Coarasa,
D. Avrons, C. Garreau, D. Bournaud,
M^{me} A. Chartier, M^{me} M. Czerwonka.

Atelier de mécanique

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

ADMINISTRATION ET SERVICES

Administrateur

J. Gaillard.

Secrétaires

M^{lle} J. Monprofit, M^{mes} D. Müller,
M. Petit, L. Coquan-Delfour,
M.-J. Martin.

Gardiens

A. Montbrun, L. Lecoufflard.

Services d'entretien généraux

A. Gama, M^{me} 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; ordre du jour.
 2. Rapport du Secrétaire du CIPM.
 3. Suite de la 16^e CGPM (préparation de la réunion du Groupe de travail ad hoc).
 4. Comités Consultatifs et Groupes de travail :
 - Rapports sur les réunions récentes (CCU, CCT, CCDS, Groupe de travail sur les forces); rapport consécutif à l'enquête du BIPM sur les incertitudes;
 - Révision de la composition des Comités Consultatifs; présidences du CCE, du CCPR; composition et présidence du CCM;
 - Réunions futures des Comités Consultatifs.
 5. Travaux du BIPM.
 6. Projets à long terme du BIPM (source de neutrons).
 7. Visite des laboratoires et du dépôt des Prototypes métriques.
 8. Questions administratives.
 9. Questions diverses.
-

69^e SESSION (OCTOBRE 1980)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES A SÈVRES

Présidence de Mr J. V. DUNWORTH

Le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 69^e session du mardi 7 octobre au jeudi 9 octobre 1980. Il a tenu cinq séances au Pavillon de Breteuil à Sèvres.

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

Excusés : MM. HONTI, SIEGBAHN

Assistaient aussi aux séances :

Mr QUINN (sous-directeur du BIPM),

invités : MM. BLEVIN, DEAN, FERRO-MILONE, KAWATA, TERRIEN (directeur honoraire du BIPM),

interprètes : MM. Oboukhov, Sakuma, Vigoureux,

secrétaire : Mlle Monprofit.

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

Le *Président* accueille Mr Terrien, directeur honoraire, ainsi que les quatre personnalités qui ont été invitées à prendre part aux travaux de la présente session : MM. Blevin, Dean, Ferro-Milone et Kawata.

Il transmet aux participants les excuses de MM. Honti et Siegbahn qui se trouvent dans l'impossibilité de prendre part à cette session. Les

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

nouvelles de la santé de Mr Honti ne sont pas mauvaises, mais il doit régulièrement recevoir des soins à l'hôpital et ne peut voyager. Il a adressé ses vœux de succès pour les travaux de la présente session. Un télégramme de sympathie lui est envoyé au nom du Comité.

Le *Président* rappelle aux membres du Comité que Mr Lehany a donné sa démission dans le courant de l'année ; l'élection par correspondance qui s'en est suivie a conduit à la nomination de Mr Skakala que le Président est heureux d'accueillir.

Deux nouvelles démissions ont été confirmées dernièrement : celle de Mr Sakurai et celle de Mr Otero. Ces démissions étant toutes récentes, il n'a pas été possible de procéder à des élections afin de pourvoir les deux sièges devenus vacants. Au cours de la présente session, le Comité aura à faire des suggestions sur les candidatures à soumettre aux prochains votes.

Le *Président* rappelle que Mr Otero est malade depuis de nombreuses années. Les nouvelles reçues laissent à penser que son état s'est stabilisé et lui permet de mener une vie tranquille à Madrid. Le Président souligne que Mr Otero a longtemps assumé de lourdes responsabilités vis-à-vis du BIPM et du CIPM ; aussi propose-t-il qu'en reconnaissance Mr Otero soit nommé membre honoraire du CIPM. L'approbation est générale. Le Président écrira à Mr Otero pour lui faire part de cette décision du Comité.

Il informe ensuite le Comité du décès de G. D. Bourdoun qui a été membre du Comité de 1954 à 1966, et membre honoraire depuis 1969. G. D. Bourdoun a présidé la Commission des unités, qui a précédé la création du Comité Consultatif des Unités ; son rôle a été important dans l'établissement du SI. Il a également présidé le Comité Consultatif d'Électricité de 1958 à 1966. Le Comité observe une minute de silence en sa mémoire.

Le *Président* constate que le quorum est atteint ; le Comité peut donc délibérer valablement. Il passe ensuite à l'approbation de l'ordre du jour, en soulignant les points les plus importants sur lesquels le CIPM devra discuter soit pour prendre une décision, soit pour un simple échange de vues. Il cite en particulier les deux vacances de siège qui devront être comblées, la nomination d'un secrétaire adjoint, la nomination de nouveaux présidents de Comités Consultatifs, enfin le travail du BIPM, qui est lié à l'avenir du Bureau International de l'Heure, et les engagements de personnel nécessaires.

A ce sujet, le *Président* informe le Comité de deux engagements récents. Le Dr Hudson fait maintenant partie du personnel (en remplacement de Mr Moreau) et le Dr Gläser, qui travaille à la PTB, doit prendre ses fonctions à partir du 1^{er} janvier 1981. Le CIPM avait donné son accord pour l'engagement de deux nouveaux physiciens devant travailler au laboratoire. Le Bureau n'a pas encore trouvé de physicien pour la section Électricité.

En ce qui concerne les bâtiments, le Comité peut constater qu'ils paraissent en bon état d'entretien. L'atelier de mécanique a été modernisé ;

au cours de la visite qui doit avoir lieu mercredi 8 octobre après-midi, les membres du Comité pourront se rendre compte de ce qui a été fait.

Le *Président* signale que le Dr Van Male a donné sa démission en tant que *Président* du Comité International de Métrologie Légale; il a été remplacé dans cette charge par le Dr Birkeland (Norvège). Le *Président* se chargera de lui envoyer une lettre de félicitations, l'assurant du désir du CIPM de poursuivre les bonnes relations qui existent entre nos deux organisations.

L'ordre du jour est approuvé.

Mr de Boer, secrétaire du CIPM, donne lecture de son rapport.

2. Rapport du Secrétaire du CIPM

(5 octobre 1979 — 6 octobre 1980)

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

2. Membres du CIPM

Renouvellement. — Les six membres cooptés depuis 1975 et les trois membres sortants ont été élus ou réélus par la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures, le 12 octobre 1979.

Démission. — Notre collègue Mr F. J. Lehany nous a confirmé son intention de se retirer du CIPM, car il a pris sa retraite de directeur du National Measurement Laboratory. Malgré l'éloignement, il avait toujours pris une part active à nos travaux. Il présidait le Comité Consultatif d'Électricité depuis 1968. Nous avons tous pu apprécier sa constante amabilité, sa compétence et son efficacité.

Élections. — Mr J. SKAKALA, professeur à l'Université technique et directeur adjoint de l'Institut de Métrologie Tchécoslovaque, à Bratislava, a été élu au siège vacant par un vote à bulletin secret dépouillé le 4 septembre 1980.

Décès. — L'un des membres honoraires du CIPM, G. D. Bourdoun, est décédé le 12 avril 1980. Il avait pendant huit ans présidé le Comité Consultatif d'Électricité; il avait aussi présidé la Commission des Unités qui est devenue ensuite le Comité Consultatif des Unités.

3. Réunions des Comités Consultatifs et Groupes de travail

Le Comité Consultatif des Unités a tenu sa 7^e session du 28 au 30 mai 1980. Mr J. de Boer, président de ce Comité, avait demandé pour raison de santé à Mr H. H. Jensen d'assurer la présidence de cette session, par délégation.

Le Comité Consultatif de Thermométrie a tenu sa 13^e session du 17 au 19 juin 1980, sous la présidence de Mr H. Preston-Thomas.

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde a tenu sa 9^e session du 23 au 25 septembre 1980, sous la présidence de Mr B. Guinot.

A l'initiative du BIPM, un Groupe de travail sur les mesures de force s'est réuni du 18 au 20 mars 1980.

Le groupe de travail *ad hoc* créé par la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures pour étudier les modifications éventuelles à apporter à la Convention du Mètre est convoqué du 14 au 16 octobre 1980.

Le Groupe de travail sur l'expression des incertitudes créé par le CIPM est convoqué du 21 au 23 octobre 1980.

Toutes ces réunions ont eu ou auront lieu au Pavillon de Breteuil.

4. *Bureau du Comité.* — Le bureau du CIPM continue toujours à suivre de près, soit par correspondance, soit au cours de réunions au Pavillon de Breteuil, toutes les questions qui

demandent un examen entre deux sessions du Comité. Il a en particulier discuté du déroulement de la 16^e CGPM, des relations entre le CIPM et le groupe de travail *ad hoc* de la CGPM, des candidatures à proposer pour le CIPM, du recrutement de physiciens de niveau élevé pour le BIPM, des relations du CIPM et du BIPM avec d'autres organismes (OIML, ISO, IMEKO).

5. *Indications financières.* — Le tableau ci-après donne la situation de l'actif du Bureau International, en francs-or, au 1^{er} janvier des années portées en tête de colonne :

	1977	1978	1979	1980
Fonds ordinaires	5 304 386,84	6 944 249,39	7 197 155,31	7 857 492,58
Caisse de retraites	1 096 293,67	1 366 601,28	1 661 363,00	2 079 024,14
Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique.....	0,00	441 792,00	441 792,00	441 792,00
Caisse de prêts sociaux	31 968,15	11 968,48	19 096,90	10 046,59
Totaux	6 432 648,66	8 764 611,35	9 319 407,21	10 388 355,31

Les fonds ordinaires au 1^{er} janvier sont très voisins du total des contributions des États attendus pour la même année. Ils restent inférieurs au budget voté par le CIPM :

Année	1977	1978	1979	1980
budget en francs-or	5 700 000	6 950 000	7 970 000	8 415 000

Quant à l'actif de la Caisse de retraites, il reste voisin du triple des pensions à servir dans l'année.

Le rapport du Secrétaire ne donne lieu à aucun commentaire ni aucune remarque particulière.

Mr de Boer aborde ensuite la question de la nomination d'un Secrétaire adjoint. Il commence par rappeler qu'il est Secrétaire depuis 1962. Il lui faudra tôt ou tard abandonner cette lourde tâche. Il souhaite donc s'adjoindre dès maintenant quelqu'un qui puisse travailler quelques années avec lui et ainsi se mettre au courant des nombreuses tâches qui incombent au Secrétaire du CIPM. Le bureau du Comité propose Mr Jensen comme Secrétaire adjoint.

Après une brève discussion, la proposition est soumise à un vote à scrutin secret. Mr Jensen est élu à l'unanimité Secrétaire adjoint.

3. Suite de la 16^e CGPM : préparation de la réunion du groupe de travail *ad hoc*

Le *Président* rappelle que la réunion de ce groupe de travail, qui devait se tenir au mois de mai 1980, a été reportée. Elle aura lieu du 14 au 16 octobre 1980. Cette réunion n'appelle pour le moment que peu de commentaires. Le Bureau International n'a, à ce jour, reçu qu'un document de travail. Les différentes propositions qui avaient été faites lors de la Conférence seront discutées. On peut penser que les discussions seront plus aisées dans le cadre d'un groupe de travail restreint qu'au sein de la Conférence Générale en séance plénière. Mr de Boer, en tant que président de ce Groupe *ad hoc*, espère que ces discussions seront fructueuses.

4. Comités Consultatifs et Groupes de travail

Trois Comités Consultatifs se sont réunis en 1980 : le CCU, le CCT, le CCDS. Les textes du rapport du CCU et du rapport résumé du CCT sont distribués aux membres du CIPM. Le CCDS s'étant réuni du 23 au 25 septembre 1980, le Comité n'aura qu'un rapport verbal sur cette réunion.

Comité Consultatif des Unités (CCU)

Mr *de Boer*, président du CCU, souligne que lors de la 7^e session, du 28 au 30 mai 1980, le CCU a en particulier abordé la question de la nouvelle définition du mètre. Il a discuté en détail deux projets de définition. Mr *de Boer* rappelle qu'en 1974 le CCU avait déjà fait une proposition. Pour le moment, le CCDM et le CCU ont exprimé des préférences différentes. Le CCU serait en faveur d'une définition proche de celle qui existe actuellement, le CCDM au contraire préférerait une définition fondée sur le trajet parcouru par une onde électromagnétique. Le CCU suggère une réunion conjointe avec le CCDM pour parvenir à une proposition finale qui serait présentée au CIPM, le va-et-vient des projets entre les deux Comités s'avérant peu efficace. Mr *Kind* approuve cette suggestion au nom du CCDM.

Le principe d'une réunion conjointe est admis.

Mr *Preston-Thomas* demande quand se tiendrait cette réunion. Mr *Kind* pense qu'il n'y a pas lieu de brusquer les choses. Il ne saurait être question de proposer à la prochaine Conférence Générale une nouvelle définition dont on n'aurait pas la conviction qu'elle soit la meilleure. Depuis le rapport du Président du CCDM devant la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures, aucune information nouvelle n'a fait progresser la question. Mr *de Boer* pense toutefois qu'il ne faut pas laisser les deux Comités intéressés continuer à travailler chacun de son côté. Chacun risquerait de rester sur ses positions et une compréhension mutuelle serait alors d'autant plus difficile à obtenir. Mr *Ambler* appuie la position de Mr *de Boer* ; à son avis, il est important de parvenir assez rapidement à une formulation de la définition qui satisfasse l'ensemble des physiciens.

Le *Président* demande si la réunion commune devrait rassembler la totalité des deux Comités ou seulement quelques membres de chacun.

Mr *Jensen* est favorable à la réunion d'un nombre limité de participants. Mr *Kind* pense que dans ce cas un groupe *ad hoc* pourrait se réunir assez rapidement.

La question des unités supplémentaires a également été discutée par le CCU sur la demande de l'ISO. La question est de savoir si les unités d'angle sont des unités de base ou non. Il s'agit non pas de modifier les décisions de la CGPM, mais d'en donner une interprétation. Le CCU a proposé à cet effet la Recommandation U 1 (1980). Après une longue discussion, le

principe admis est de considérer le radian et le stéradian comme des « unités dérivées sans dimension ». Quelques amendements sont apportés à la rédaction de la recommandation du CCU, qui devient la Recommandation 1 (CI-1980) (voir p. 24).

Mr *de Boer* souligne que, ce faisant, le Comité International ne va pas à l'encontre de la décision de la Conférence Générale, mais qu'il précise la façon dont il considère les unités en question.

Mr *Terrien* présente une résolution adoptée par le Comité Exécutif de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), à sa réunion d'août 1979 à Kyoto, suivant l'avis unanime du comité technique TC-1.2 « Photométrie et Radiométrie ». Le texte de cette résolution est le suivant (traduction).

« La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) reconnaît les raisons qui ont motivé la décision récente du CIPM de maintenir la candela comme unité SI de base pour la photométrie, mais elle désire insister sur les avantages techniques de l'adoption du lumen comme unité de base.

La CIE considère que les progrès dans la mesure de la lumière seraient favorisés si le CIPM donnait quelque indication sur la date à laquelle ce changement pourrait être effectué. »

Mr *Terrien* pense qu'il serait courtois que le CIPM donne une réponse écrite à cette demande. Le CCU avait déjà discuté de ce problème lors de sa 6^e session en 1978 et entre-temps la 16^e CGPM a adopté une nouvelle définition de la candela. Pour Mr *de Boer*, il est difficile de répondre de façon nette à la CIE. Le CCU ne pense pas qu'il soit opportun à l'heure actuelle de remplacer la candela par le lumen comme unité de base pour la photométrie. Dans ces conditions, il paraît difficile de donner une indication de l'époque à laquelle un tel changement pourrait intervenir. De l'avis de Mr *Terrien*, cela pourrait constituer la substance de la réponse que l'on doit faire à la CIE. Mr *Blevin* rappelle que la demande de la CIE est antérieure à la Conférence Générale. Il se peut que les deux unités, candela et lumen, deviennent à l'avenir des unités dérivées et qu'ainsi le choix ne soit plus nécessaire. Dans cette perspective, Mr *Blevin* pense que la réponse à la CIE devrait faire état de l'éventualité que, le temps venu, candela et lumen soient considérés comme des unités dérivées, bien que, pour le moment, il soit prématuré d'envisager un changement quel qu'il soit. En conclusion, Mr *de Boer* résume comme suit la situation : dans l'état actuel des choses, le Comité n'est pas favorable à un remplacement de la candela tout en sachant que le lumen serait plus approprié comme unité de base. Mr *Terrien* souhaite que Mr *de Boer* se charge de la rédaction d'une lettre à la CIE résumant les positions du CCU et du CIPM.

Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)

Mr *Preston-Thomas* présente son rapport qui fait le point des travaux du CCT et de ses Groupes de travail. Le CIPM n'a aucune décision à prendre

cette année dans ce domaine, si ce n'est à prendre position sur la Recommandation T 1 (1980). Mr Preston-Thomas rappelle que le CCT concentre ses efforts sur l'élaboration d'une échelle destinée à remplacer l'EIPT-68. Le CCT continue de rassembler le maximum de renseignements complémentaires à l'intention des utilisateurs de l'échelle actuelle ou de toute autre échelle future; il espère aussi pouvoir rassembler des renseignements concernant la réalisation d'échelles secondaires pour sa prochaine réunion en 1982. La Recommandation T 1 (1980) du CCT a pour but d'attirer l'attention des laboratoires sur plusieurs problèmes expérimentaux qui doivent être résolus pour permettre une amélioration sensible de l'EIPT.

Le texte de cette Recommandation reçoit l'approbation unanime du CIPM.

Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)

La réunion du CCDS venant de s'achever il y a quelques jours seulement, Mr *Guinot*, président de ce Comité, s'excuse de ne pas être en mesure de présenter un rapport écrit. D'importantes recherches sont en cours dans le domaine des horloges et des étalons de temps. Il faut signaler l'emploi satisfaisant du pompage optique avec les étalons à jet de césium, qui intéresse tout particulièrement le CCDS et le CCDM. La réalisation d'un nouveau type d'étalons à jet de césium permettrait de confirmer l'exactitude annoncée pour les étalons actuels à jet de césium, qui serait de 1×10^{-13} à 1×10^{-14} . On pourrait même envisager pour l'avenir une exactitude de l'ordre de 10^{-15} . On constate avec satisfaction que la transition choisie pour définir la seconde apparaît aujourd'hui encore comme le meilleur choix.

Par ailleurs, des efforts sont toujours faits pour mettre au point des horloges plus stables, comme par exemple les masers à hydrogène passifs.

Le CCDS est moins optimiste au sujet des comparaisons de temps à longue distance qui constituent un facteur important de limitation en métrologie du temps. Toutefois, on espère que, d'ici quelques années, le Global Positioning System permettra d'atteindre une exactitude de 50 à 100 ns sur l'ensemble du Globe. D'autres méthodes visent une exactitude plus grande, mais on ne peut se contenter d'expériences isolées.

Le CCDS s'est également préoccupé des méthodes d'établissement du TAI. Il serait probablement possible maintenant d'améliorer la stabilité du TAI sur des périodes de un an ou moins, en utilisant seulement les résultats des étalons primaires de fréquence fonctionnant comme horloges; mais ceux-ci ne sont actuellement qu'au nombre de deux. Cette solution n'a donc pas été retenue, car elle ne présenterait pas une sécurité suffisante et elle ne serait pas en conformité avec le caractère international du TAI. Le CCDS a donc décidé de s'en tenir aux principes actuels: le TAI doit être fondé sur un grand nombre d'horloges dans de nombreux laboratoires. Toutefois, le BIH devrait se montrer de plus en plus sévère dans le choix des horloges

dont il tient compte pour obtenir le TAI. On devrait éliminer les horloges qui présentent des signes de défaillance ou qui fonctionnent dans de mauvaises conditions; le nombre des horloges dont les résultats sont retenus pour obtenir le TAI devrait rester à peu près constant, c'est-à-dire environ 100.

Une partie importante de cette réunion du CCDS a été consacrée à la définition du TAI. Il a été admis que la définition adoptée par le CIPM en 1970 devait rester inchangée : cette définition doit demeurer simple et être compréhensible par tous. Toutefois, il est nécessaire d'apporter des précisions pour les cas où l'on doit tenir compte des effets de la relativité. A ce sujet, le CCDS a fait une déclaration qui complète les règles de mise en pratique du TAI. Le TAI est une échelle de temps-coordonnée dans un repère géocentrique avec comme unité la seconde du SI telle qu'elle est réalisée sur le géoïde en rotation. Il a été reconnu que les corrections relativistes du premier ordre sont suffisantes au voisinage de la Terre, et on a donné les formules qu'il convient d'appliquer pour les transferts de temps par transport d'horloges et par signaux électromagnétiques.

Le CCDS a constaté que le système UTC donne satisfaction à la majorité des utilisateurs en dépit de l'inconvénient des sauts de 1 s qui interviennent parfois. A ce propos, Mr *Guinot* signale qu'à la fin de la présente année il n'y aura pas de saut de 1 s, car on constate une accélération du mouvement de rotation de la Terre.

Révision de la composition des Comités Consultatifs

Le *Président* remercie les présidents des Comités Consultatifs pour leur rapport. Il passe ensuite à la révision de la composition des Comités Consultatifs. Il est de règle que cette révision intervienne lors de la session du CIPM qui suit la réunion de la Conférence Générale.

Comité Consultatif d'Électricité. — En donnant sa démission de membre du Comité International, Mr *Lehany* s'est également démis de sa charge de président du CCE. Aucune réunion de ce Comité n'étant prévue dans un proche avenir et aucun problème présentant un caractère d'urgence n'attendant de solution, le remplacement de Mr *Lehany* à la présidence sera discuté à la prochaine session, ainsi que la composition du CCE.

Comité Consultatif pour la Définition du Mètre. — Ce Comité est actuellement très actif, car il a la lourde tâche d'étudier une éventuelle nouvelle définition du mètre; aucune modification de sa composition n'est demandée ni suggérée. Peut-être sera-t-il opportun d'inviter quelques laboratoires non membres à prendre part à la prochaine session. Mais ceci reste à la discrétion du Président du CCDM, en accord avec le Président du CIPM.

Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie. — Mr *Terrien* était président par intérim. Il convient maintenant de nommer un président en titre. Le nom de Mr *Blevin* est avancé pour assurer cette charge. Une brève discussion s'engage sur cette proposition et le Comité se déclare unanime

pour nommer Mr *Blevin* Président du CCPR. Celui-ci remercie le Comité de l'honneur qui lui est fait, d'autant plus qu'il succède à Mr Terrien qui a eu la lourde charge d'assurer la présidence par intérim précisément au moment où est intervenu le changement de la définition de la candela.

Quelques petites modifications sont apportées à la composition de ce Comité. En raison de l'importance croissante de la radiométrie, il paraît souhaitable que le World Radiation Center (Davos), dont la participation avait été sollicitée lors des précédentes sessions, devienne membre effectif du CCPR. Mr *Perlstein* souligne que l'Office Fédéral de Métrologie travaille en liaison étroite avec le World Radiation Center. Au terme d'une brève discussion il est convenu qu'une convocation conjointe sera envoyée à ces deux organismes; ils se mettront d'accord pour choisir la personne qui participera effectivement à la session. L'Institut National de Métrologie (NIM) de la Rép. Pop. de Chine est inscrit sur la liste des membres de ce Comité.

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants. — La composition de ce Comité est un peu particulière. Aucun changement n'est apporté au Comité lui-même. Seules quelques modifications interviennent dans les trois Sections. Le NIM de la Rép. Pop. de Chine qui avait participé aux dernières réunions en 1973 est porté sur la liste des membres de ces trois sections. Il est aussi convenu d'ajouter l'ARL d'Australie dans la Section I, l'AAEC d'Australie dans la Section II, le Dr Liskien du BCMN (Geel) et le Dr Broerse du TNO (Pays-Bas) dans la Section III.

Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde. — A ce Comité participaient Mr Bonanomi et Mr Orte; ils ne seront plus désormais considérés comme membres à titre personnel mais leurs laboratoires respectifs, l'Observatoire de Neuchâtel (Suisse) et l'Instituto y Observatorio de Marina (Espagne), figureront sur la liste des membres. A cette liste sont également ajoutés le NIM de la Rép. Pop. de Chine, le NPL of India ainsi que le Van Swinden Laboratorium (Pays-Bas). En revanche, l'US Coast Guard (États-Unis d'Amérique) est rayé de la liste.

Comité Consultatif de Thermométrie. — Le NIM de la Rép. Pop. de Chine est nommé membre de ce Comité. Mr de Boer demande à être rayé de la liste. Le nom de Mr Colomina est également supprimé. Enfin, au lieu de Mr Skakala sera mentionné le laboratoire auquel il appartient, le Ceskoslovensky Metrologicky Ustav (Tchécoslovaquie).

Comité Consultatif des Unités. — Les deux seuls changements retenus pour ce Comité sont l'inscription du NIM de la Rép. Pop. de Chine, ainsi que l'inscription de Mr McGlashan comme expert à titre personnel. Mr *de Boer* signale que la présence du NIM de la Rép. Pop. de Chine aux sessions de ce Comité lui paraît particulièrement importante compte tenu des problèmes spécifiques de la langue chinoise, ou plus exactement de son écriture, vis-à-vis des symboles des unités.

Comité Consultatif pour les masses. – Le Comité International passe ensuite au problème de la création d'un comité consultatif spécialement chargé de tout ce qui a trait aux mesures de masses, de forces et de pressions. A sa précédente session en 1979, le Comité International était convenu que la création du Comité Consultatif pour les masses se ferait cette année. Une discussion s'engage sur le nom exact à donner à ce Comité. Quelques opinions avaient déjà été émises sur ce point l'an dernier. Plusieurs propositions sont faites qui ne recueillent pas l'unanimité. Il est donc admis que provisoirement ce Comité s'appellera Comité Consultatif pour les masses et les grandeurs apparentées et que son sigle sera CCM. Le bureau du Comité propose que Mr Perlstain soit nommé président de ce nouveau Comité Consultatif. Mr Perlstain quitte la salle de délibérations et, au terme d'un très bref échange de vues, il est nommé à l'unanimité président de ce Comité.

Une proposition de composition du CCM est faite à partir de la liste des laboratoires et organismes qui ont participé récemment aux travaux des comités *ad hoc* pour les masses, pour les pressions et pour les forces, et qui ont manifesté leur intérêt pour les problèmes posés dans ces domaines. La liste est adoptée; toutefois le bureau du Comité est autorisé à y ajouter un ou deux autres noms de laboratoires, avec qui Mr Perlstain souhaite prendre contact.

Voir p. 25 la liste des membres des différents Comités Consultatifs.

Réunions futures des Comités Consultatifs

Les dates de réunion du CCEMRI sont prévues pour 1981. La Section I doit se réunir du 3 au 5 juin, la Section II du 5 au 7 mai, la Section III du 25 au 27 mai et le Comité lui-même les 27 et 28 juillet 1981.

Le groupe de travail commun du CCDM et du CCU devrait se réunir au début de 1981. Mr Perlstain a également l'intention de réunir le CCM dès 1981 afin que ce Comité nouvellement constitué établisse son programme de travail. Les dates exactes de ces deux réunions restent à fixer*.

Pour 1982 sont envisagées les réunions du CCDM, du CCPR (peut-être en septembre), du CCT (peut-être en mars), du CCU et éventuellement du CCE. Le CCDS n'envisage pas de se réunir avant 1983.

5. Travaux du BIPM

En introduisant ce sujet, Mr Giacomo indique qu'il n'a pas à faire de remarque générale importante. Il tient seulement à signaler le premier stage qu'a fait au BIPM un physicien chinois. Ce stage dans la section des radionucléides a duré un an et demi. Un physicien britannique est resté un an au Bureau dans la section des lasers. Enfin, Mr Giacomo rappelle que

* Ultérieurement ces réunions ont été convoquées les 28 et 29 avril 1981 pour le groupe de travail commun du CCDM et du CCU et les 23, 24 et 25 juin 1981 pour le CCM.

T. Witt a terminé en début d'année un stage dans le laboratoire national australien, stage qui a également duré presque un an. Des échanges de ce type peuvent être extrêmement favorables pour les deux parties, tant pour le physicien que pour le laboratoire hôte.

Selon une tradition maintenant établie, Mr Quinn présente les travaux des sections classiques et Mr Allisy ceux de la section des rayonnements ionisants. Un rapport complet des travaux a été envoyé en juillet aux membres du Comité. Un document complémentaire concernant les trois derniers mois leur a été remis en séance, ainsi qu'un tableau donnant la répartition des tâches entre les différents membres du personnel scientifique du Bureau, physiciens, métrologistes, techniciens et stagiaires.

Dans le domaine des *longueurs*, les mesures se font toujours dans le comparateur photoélectrique. Il faut noter les résultats préliminaires des comparaisons d'étalons à traits, peut-être moins décevants qu'on ne l'avait cru au premier abord. L'essentiel de l'effort a été porté sur les comparaisons de lasers. Les comparaisons avec les lasers à He-Ne asservis sur $^{127}\text{I}_2$ de la Rép. Pop. de Chine ont été particulièrement intéressantes car la technologie de ces lasers est différente de celle qui est utilisée dans la plupart des autres laboratoires. Des comparaisons ont également été faites avec des lasers à He-Ne asservis sur le méthane appartenant au NPL, à l'IMPR et au LPTF, trois laboratoires qui ont fait des mesures absolues de fréquences. A l'occasion de ces comparaisons, on a décelé une cause d'erreur systématique au cours de la comparaison avec le LPTF, ce qui est une indication de l'importance des comparaisons de lasers faites au BIPM.

Toujours dans ce domaine, il faut également signaler le laser à He-Ne à $\lambda = 1,15 \mu\text{m}$, construit avec l'aide du Dr Knight dans le but d'obtenir, par doublement de la fréquence, une radiation visible à $\lambda = 575 \text{ nm}$.

Dans la section des *masses*, il faut signaler les mesures que Mr Girard a faites en Australie et au Japon sur des étalons du kilogramme qu'il a transportés lui-même. Des mesures de masse volumique ont également été faites. Mais tous les résultats ne sont pas encore disponibles.

Toujours dans la section des masses, les recherches sur la fabrication des kilogrammes en platine iridié se poursuivent. L'ajustage de ces étalons se fait sous microscope avec un outil au diamant.

Mr *Cintra do Prado* demande si l'on constate une différence de pureté entre les alliages que l'on utilise aujourd'hui et ceux que l'on a utilisés au siècle dernier pour fabriquer la plupart des étalons primaires. Mr *Quinn* répond que pour la construction d'un étalon du kilogramme, l'important n'est pas tant la pureté de l'alliage que son homogénéité.

Le BIPM travaille également à la mise au point d'une nouvelle balance à suspension flexible ; des essais sont en cours pour étudier le comportement des suspensions. Dans cette balance un dispositif interférométrique permettra de mesurer les mouvements du fléau. Cette balance devrait être utilisable pour une gamme assez large de masses par simple changement de son dispositif de suspension.

Dans le domaine du *calcul du Temps Atomique International*, on a

constaté une variation saisonnière de la moyenne des horloges qui fournissent le TAI, par rapport aux étalons primaires. On se demande si la température aurait une influence systématique sur les horloges ou sur les étalons primaires. Le CCDS a décidé de n'introduire aucune correction pour cette variation saisonnière tant que le problème posé n'est pas éclairci.

Au sujet de la *gravimétrie*, il y a peu de faits marquants. Le premier gravimètre construit par Jaeger d'après le prototype du BIPM a été installé au Japon où il fonctionne correctement. Le BIPM sera équipé d'un appareil du même type au début de l'année prochaine.

En *thermométrie*, il convient de signaler la comparaison de cellules à point triple de l'argon et à point triple du méthane, effectuée sous les auspices du CCT, avec un laboratoire italien comme laboratoire pilote. Il faut noter la reproductibilité particulièrement bonne des cellules à argon. Les recherches vont être concentrées sur les cellules à point triple, car la reproductibilité des résultats obtenus avec ces instruments est intéressante aussi bien pour les mesures de température que pour les mesures de pression.

Dans le domaine de l'*électricité*, bien que le CCE ait décidé que le BIPM ne procéderait plus à de larges comparaisons d'étalons comme par le passé, des comparaisons sont encore effectuées sur des étalons de l'ohm provenant de plusieurs laboratoires. Ces comparaisons restreintes demeurent intéressantes. On constate par exemple que les étalons les plus anciens ont des coefficients de pression inférieurs à ceux des étalons de fabrication récente. On ne connaît pas la raison de ce phénomène. Le BIPM améliore ses installations de mesure des résistances. Mr Witt a rapporté d'Australie un squid qui devrait permettre d'améliorer la précision des mesures. En ce qui concerne les piles, on a rénové l'installation de comparaison.

Mr *Jensen* demande s'il est possible de faire des mesures absolues en utilisant les squids ? Mr Quinn précise que le squid sert essentiellement comme détecteur de zéro à très faible bruit ; ses caractéristiques n'interviennent que pour déterminer la sensibilité de la méthode de comparaison.

La parole est ensuite donnée à Mr Allisy pour la présentation des travaux de la section des *rayonnements ionisants*.

Dans le domaine des rayons X et γ , des comparaisons d'étalons mais aussi d'instruments de transfert de bonne qualité ont continué dans le domaine des mesures d'exposition de rayons X et de rayons γ du ^{60}Co , ainsi que dans le domaine de la dose absorbée dans un fantôme de graphite irradié par une source intense de ^{60}Co .

La Section I du CCEMRI a décidé d'organiser une comparaison de dosimètres chimiques à sulfate ferreux. Les laboratoires enverront au BIPM des ampoules de solution qui devront y être irradiées. Les irradiations vont commencer prochainement. Tout a été soigneusement préparé à cet effet.

Le problème le plus important est le passage de la dose absorbée mesurée dans un fantôme de graphite à la dose absorbée mesurée dans l'eau. La théorie en a été étudiée au Bureau.

Dans le domaine des radionucléides, on travaille toujours à compléter le système de référence $4\pi\gamma$ qui a été constitué. La comparaison du ^{134}Cs avait donné des résultats excellents, ceux du ^{137}Cs ont été plus dispersés.

En spectrométrie alpha, il convient de signaler deux faits importants. L'un est la publication par Mr Rytz d'un nouveau catalogue d'énergies alpha. L'autre est une mesure absolue de la raie principale du ^{239}Pu dont l'incertitude est particulièrement faible.

Dans le domaine des statistiques, Mr Müller a poursuivi ses études sur le problème des temps morts. Il est parvenu à une expression pratique générale. Le Comité avait demandé d'étudier les problèmes posés par l'expression des incertitudes de mesures. Mr Müller a pris une part prépondérante à l'élaboration d'un questionnaire, au dépouillement des réponses reçues et à la rédaction d'un rapport. Il est arrivé à des propositions concrètes qui devraient servir de bases saines aux discussions ultérieures.

En ce qui concerne les mesures neutroniques, l'effort a surtout porté sur la détermination du débit de fluence de la source de 14 MeV à l'aide de la méthode de la particule associée. La dosimétrie neutronique est une activité qui se développe rapidement. Il serait regrettable que le BIPM ne prenne pas part à ce développement.

Mr *Kind* demande à Mr Allisy si, dans le cas où le CIPM ne prendrait aucune décision en faveur de l'achat d'une nouvelle source, il verrait des possibilités d'arrangement avec un laboratoire possédant une installation. Mr Allisy répond qu'il ne voit aucune possibilité en France. Il ajoute que, d'après l'expérience de comparaisons organisées par l'ICRU, la charge imposée au laboratoire d'accueil est lourde, car de telles comparaisons obligent à utiliser l'installation pendant longtemps.

Pour conclure, Mr *Dunworth* remercie les deux physiciens pour leur présentation rapide et claire. Il se plaît à souligner que tous les travaux sont de qualité, ce qui implique que, même si le personnel du BIPM est en nombre restreint, son niveau est excellent. Il présente donc ses félicitations aux membres présents du personnel.

6. Projets à long terme du BIPM (source de neutrons)

Le *Président* attire l'attention du Comité sur un document présentant les projets à long terme envisagés pour les travaux scientifiques à exécuter au BIPM en vue de déterminer les priorités. Ce document de travail a été envoyé aux membres du Comité il y a quelque temps déjà. Des commentaires ont été reçus de Mr Ambler et de Mr *Kind*. Le *Président* souligne que c'est la première fois qu'un plan de travail est présenté sous cette forme au Comité International et il sollicite les commentaires des autres participants. Mr Quinn, qui a eu la charge de préparer le document sur les projets à long terme, attire l'attention sur la proposition concernant un condensateur calculable. Il serait évidemment intéressant d'avoir pour l'ohm une référence présentant les mêmes garanties de reproductibilité (à

long terme et d'un laboratoire à l'autre) que nous avons maintenant pour le volt grâce à l'installation de l'effet Josephson. Beaucoup peuvent penser que l'installation d'un condensateur calculable est une charge trop lourde pour le BIPM. Mr Quinn signale que l'on a découvert l'effet von Klitzing qui permet de réaliser l'ohm. Des expériences récentes ont donné une exactitude de 1×10^{-7} . Si ces résultats sont confirmés, le projet de condensateur calculable pourrait être totalement abandonné, car il semble que la mise en œuvre de l'effet Klitzing n'exige qu'une installation beaucoup plus simple.

Mr Blevin se demande s'il est vraiment nécessaire que le BIPM entreprenne une réalisation fondamentale de l'ohm, que ce soit au moyen du condensateur calculable ou de l'effet Klitzing. Il vaudrait peut-être mieux s'en remettre aux résultats de l'ensemble des condensateurs calculables qui existent dans les laboratoires nationaux, puisque les étalons secondaires de résistance sont plus stables et plus faciles à transporter que ceux de certaines autres grandeurs physiques, comme la f.é.m. par exemple.

Mr Giacomo entend bien que le rôle du BIPM est de conserver des étalons plutôt que d'effectuer des mesures absolues. Toutefois, si l'on se réfère à ce qui s'est passé pour l'effet Josephson, l'amélioration des conditions de conservation du volt est manifeste. On peut considérer qu'avec l'ohm, le problème est comparable. Même si les résistances s'avèrent moins difficiles à conserver que les piles, il n'en reste pas moins que l'on n'a aucune certitude quant à leur dérive à long terme. La meilleure façon de vérifier la stabilité à long terme est de disposer d'une possibilité de mesure absolue ou de rattachement à une constante fondamentale. Mr Preston-Thomas pense que le BIPM doit se maintenir au courant de l'évolution des possibilités offertes par l'effet Klitzing, mais que toute discussion à ce sujet est pour le moment prématurée. Mr Giacomo l'approuve en soulignant que les plans à long terme du BIPM doivent demeurer souples. Si les résultats que l'on peut obtenir avec l'effet Klitzing se confirmaient, il est certain que cela changerait en partie le programme de la section électricité.

La discussion reprend sur le fond qui est le choix des travaux à faire au Bureau à court et à moyen termes. Pour Mr Ambler, le Bureau International ne peut concentrer son effort que sur un ou deux projets, mais le problème est de savoir lesquels. Pour le Président, ce choix, dans le cadre du budget qui doit être approuvé pour 1981 par ce Comité, est difficile à faire. Il est nécessaire d'avoir une discussion sur des points précis. Mr Kiparenko pense que, devant une situation complexe comme c'est le cas, un comité spécial devrait être chargé des questions posées par le programme futur des travaux du Bureau. Mr Dean dit que le NPL s'intéresse beaucoup aux travaux effectués par le BIPM. Pour parvenir à une solution constructive, il est souhaitable que les points de vue du Bureau International et ceux du Comité International concordent. Pour sa part, il est favorable à un programme équilibré afin que le BIPM conserve sa compétence dans les différents domaines. L'important n'est pas de travailler

sur des mesures absolues ou non. L'effet Josephson avait été étudié dans d'autres laboratoires pendant longtemps avant que le BIPM ne le réalise. Cette façon d'opérer lui paraît bonne. Il n'est pas souhaitable non plus que le BIPM ne travaille que sur des unités de base. En électricité, l'unité de base est l'ampère et pourtant il est tout à fait normal que le Bureau se charge de la conservation du volt et de l'ohm. Il se demande si l'équilibre à rechercher au Bureau ne serait pas compromis par l'achat d'une source de neutrons de 14 MeV.

Mr *Kind* souligne que le BIPM ne peut être, et qu'il ne lui est pas demandé d'être, à la pointe de ce qui se fait dans tous les domaines de la métrologie. En revanche, quand une nouvelle méthode a fait ses preuves pour la conservation d'une unité importante, il faut que le BIPM puisse la mettre en œuvre dans ses laboratoires. Par ailleurs, il ne faut pas considérer la dotation votée par la Conférence Générale comme quelque chose d'immuable. Si la charge du TAI revenait au BIPM, il devrait être possible de convaincre la CGPM d'y pourvoir.

Après ces échanges de vues sur les principes qui doivent présider aux choix, le *Président* met en discussion la question de l'achat d'une nouvelle source de neutrons de 14 MeV. Il s'agit là d'un projet à court terme.

Mr *Ambler* rappelle que dans le domaine des rayonnements ionisants les travaux du BIPM sont très connus et appréciés. Il n'a pas l'impression que l'achat d'une nouvelle source compromettrait l'équilibre du budget du BIPM autant que certains peuvent le craindre. Il veut se borner à dire que ce projet intéresse les États-Unis, où les milieux médicaux ont particulièrement besoin de mesures précises et de références dans ce domaine.

Mr *Dean* répond que la position du NPL est différente. Étant équipé de l'installation nécessaire, le NPL pourrait exécuter des travaux pour le BIPM. Ce serait au BIPM de fournir les données. Une ou deux personnes du BIPM pourraient prendre part à l'exécution de ces travaux au NPL. Bien entendu, il faudrait qu'un arrangement soit étudié. Mr *Dean* doit en particulier savoir quel serait l'impact d'un tel arrangement sur le propre programme de travail du NPL.

Mr *Kind* demande si cette source de neutrons correspond à un besoin fondamental. Mr *Ambler* précise que le but final est l'utilisation des résultats en cancérothérapie. La thérapie neutronique semble beaucoup plus efficace que les méthodes utilisées jusqu'ici; elle est appelée à se développer. Les possibilités d'étalonner les instruments dans ce domaine sont très réduites. Pour Mr *Kind*, il ne saurait être question que 50 hôpitaux envoient leur équipement au BIPM pour étalonnage. Si l'on assiste au développement de cette technique de traitement, le NBS sera amené à avoir une installation d'étalonnage; il en sera de même pour la PTB. Qu'advient-il de l'équipement du BIPM? Mr *Ambler* estime que, comme dans bien des cas, le BIPM sera là pour assurer que les différentes mesures sont cohérentes entre elles. Mr *Kind* demande si ce travail ne pourrait être effectué au NPL.

Mr Ambler répond que cela semble possible, mais il se demande pourquoi on n'agirait pas de la même façon pour les condensateurs.

Mr *Preston-Thomas* craint, lui aussi, un déséquilibre dans le budget, si le BIPM effectue cet achat. Il voudrait, avant de prendre une décision, être certain que le travail ne peut être fait ailleurs. Il craint que cette dépense n'en entraîne d'autres, en particulier en personnel et en fonctionnement, bien qu'à première vue il ait été dit que ce ne devrait pas être le cas. Il est d'avis d'attendre pour voir si la demande pour de tels travaux se fait plus pressante.

Mr *Blevin* indique que du point de vue de l'Australie, et selon les informations qui proviennent de deux laboratoires australiens, il paraît prématuré d'engager le BIPM dans une telle dépense.

Mr *Terrien* constate que le CIPM a discuté de plusieurs projets particuliers, mais qu'il n'a pas discuté du problème du TAI. La charge du TAI poserait de sérieux problèmes au BIPM car elle impliquerait la construction de nouveaux bâtiments et l'engagement de personnel. La diffusion de la seconde et l'élaboration du TAI sont des travaux importants qui doivent être effectués par un organisme international. Actuellement, le Bureau International de l'Heure (BIH) effectue ces travaux à la satisfaction de tous les usagers grâce à l'aide du Gouvernement français. Le CIPM a déjà exprimé le souhait que cette situation soit maintenue. Si le BIPM devait prendre en charge le TAI, cela contribuerait sans doute à accroître son prestige, mais il faudrait au préalable résoudre les problèmes de locaux et de personnel. Quelle que soit la décision prise, on assiste à un accroissement lent mais continu des installations du BIPM. Le Comité n'a pas discuté du manque de locaux et d'espace disponible pour tout accroissement futur. Pourtant il faut envisager cet accroissement dès maintenant. Une façon d'engager les discussions avec la France pour toutes les questions d'autorisation à obtenir, serait que la CGPM adopte une Résolution demandant expressément à la France sa coopération.

Répondant à diverses questions, Mr *Guinot* donne des éclaircissements sur l'historique et sur la situation actuelle du BIH. Maintenant, le temps est devenu une grandeur physique comme les autres ; il n'est plus l'apanage des astronomes. Transférer la charge du TAI au BIPM permettrait de résoudre le problème du statut international du BIH.

Le *Président* reprend en soulignant que le BIH a fonctionné jusqu'ici grâce au Gouvernement français et que son avenir ne bénéficie pas des garanties d'un statut intergouvernemental. D'autres situations du même genre peuvent se présenter pour lesquelles le CIPM aurait à envisager ce que Mr *Dean*, au cours des discussions, a appelé des « opérations de sauvetage ». En effet, l'époque est particulièrement défavorable, car chaque pays cherche à faire des économies. Il convient donc que le CIPM soit particulièrement vigilant.

Le CIPM doit prendre ses décisions en tenant compte du rôle exact que

doit jouer le BIPM. Plusieurs membres du Comité ont souligné qu'il était fondamental pour le BIPM de conserver un équilibre entre ses diverses activités et de maintenir le niveau de sa compétence dans les différents domaines.

La source de neutrons, dont l'acquisition est l'enjeu de la discussion, servirait à un type d'activité que l'on ne peut guère faire entrer sous la rubrique « métrologie générale ». Le *Président* se demande si la possession de cette source amènerait un accroissement de la compétence du BIPM. On peut se demander aussi si cette acquisition profiterait à tous les pays qui sont parties prenantes au Bureau. Le *Président* n'a pas le sentiment que l'opinion de l'ensemble du Comité soit favorable à l'utilisation des fonds nécessaires à cette acquisition, même si le CCEMRI l'a formellement conseillée.

Le *Président* demande alors à Mr Dean s'il lui est possible de faire une proposition indiquant le coût des étalonnages que pourrait éventuellement faire le BIPM sur l'installation du NPL. Pourtant, cette solution de passer par un autre laboratoire ne paraît pas très normale à certains membres.

Le *Président* reprend donc la question à la base. Vaut-il mieux acheter la source que passer un contrat avec un laboratoire national ? Il suggère de voter sur la façon de faire la dépense. Mr *Kind* pense que les opinions ne sont pas mûres pour procéder à un vote définitif.

Le *Président* demande alors au Comité s'il est d'accord pour faire étudier les conditions de travail qui pourraient être convenues avec le NPL. Il ne souhaite pas solliciter de Mr Dean une étude qui sera nécessairement longue et délicate si la solution qu'elle présuppose n'a pas l'agrément du Comité.

Mr *Perlstein* exprime son étonnement à propos du sort du BIH qui lui paraît assez fragile. Il pense que le problème du TAI devrait être discuté plus amplement. Comme Mr Terrien, il pense que la question des locaux est très importante et ne doit pas être perdue de vue. En ce qui concerne l'achat éventuel d'une source de neutrons, Mr *Perlstein* n'a pas d'opinion arrêtée. S'agissant d'une utilisation intéressant les milieux médicaux, la question est certainement importante. A son avis, il conviendrait de prendre contact avec les milieux médicaux internationaux, qui seraient peut-être prêts à financer une installation au BIPM. Quant à la proposition qui a été avancée de travailler sur les installations du NPL, il pense qu'il ne serait pas rationnel de disséminer le personnel du Bureau.

Mr *de Boer* résume la position du Comité International. Il est évident que la dotation du BIPM ne peut permettre de faire face à la fois à l'achat d'une nouvelle source de neutrons et à la construction de nouveaux bâtiments. Cela ne signifie pas que le Comité soit opposé à ce que le Bureau s'occupe de dosimétrie neutronique. L'attitude du Comité International doit être positive. On peut travailler en dosimétrie neutronique comme l'a demandé le CCEMRI mais sans faire l'acquisition dont on discute.

Mr *Guinot* exprime le désir de connaître la position de la direction du

Bureau. Mr Giacomo répond que pour lui le problème se pose de la façon suivante : l'installation d'une source de neutrons serait coûteuse ; en revanche cela permettrait le seul développement de travaux qui soit immédiatement réalisable dans la mesure où cette installation ne demanderait ni locaux ni personnel supplémentaires. Toutes les autres réalisations dont le Comité a parlé durant cette session entraîneraient des problèmes d'extension de locaux et d'embauche de personnel. Les ressources dont dispose actuellement le BIPM doivent être utilisées pour un investissement utile. Toutefois, ces arguments ne sont pas suffisants car ils ne tiennent pas compte des priorités scientifiques.

Mr *de Boer* précise qu'il faut faire la différence entre investissement et fonctionnement. Certains peuvent penser que les réserves dont dispose le Bureau devraient être employées, surtout dans cette époque d'inflation monétaire. Mais pour le *Président* il ne serait pas judicieux d'acquérir du matériel qui ne serait pas le plus utile.

Mr *Quinn* rappelle qu'à la précédente session du CIPM, en 1979, la section des rayonnements ionisants avait préparé un document à l'appui de sa demande d'acquisition d'une nouvelle source. La décision devait être prise à la présente session. Or, il ne paraît pas que des arguments nouveaux dans un sens ou dans l'autre aient été apportés. Le Comité dans son ensemble ne paraît pas convaincu de la nécessité d'un achat immédiat. A son avis, il serait malencontreux de laisser le personnel du BIPM penser que la décision est une fois encore repoussée. Il pense qu'une décision nette serait préférable.

Mr *Preston-Thomas* n'est pas tout à fait d'accord sur le fait que rien de nouveau n'est intervenu depuis l'an dernier. Il pense que ce que Mr *Blevin* a rapporté sur la position de l'Australie est un élément de décision valable. Des prises de position de ce type peuvent se produire dans l'avenir. Le personnel du Bureau doit en être informé.

Le *Président* suggère de charger Mr *Jensen*, le nouveau Secrétaire adjoint du CIPM, d'étudier un arrangement éventuel avec le NPL pour effectuer les mesures de dosimétrie neutronique. Mr *Jensen* pourrait faire part des résultats de cette étude au Comité l'an prochain. Mr *Kind* appuie cette proposition. Mr *Dean* promet de faire savoir au BIPM si le NPL peut envisager de prendre en charge un contrat de ce genre. Si la réponse est positive, il prendra contact avec Mr *Jensen* pour étudier les conditions d'un contrat éventuel.

Le *Président* aborde à nouveau le problème du BIH pour préciser qu'aucune mesure urgente n'est à prendre d'ici à la prochaine CGPM. Il indique qu'il va étudier la situation exacte dans le détail et promet d'en rendre compte à la prochaine session du CIPM. Mr *Cintra do Prado* exprime le souhait que les conversations se fassent au nom du CIPM. Le *Président* répond qu'il ne s'agit pas pour le moment de conversations mais d'étude de la situation. De toutes façons, fait remarquer Mr *Jensen*, les négociations avec le Gouvernement français sont de la compétence de la

CGPM. De l'avis de Mr Giacomo, il serait probablement utile que le Comité exprime de façon claire le souhait de voir tout ce qui concerne le TAI dans le cadre du BIH rester pour l'instant à l'Observatoire de Paris. L'Observatoire de Paris risque de prendre notre intérêt envers le TAI pour un souhait d'accueillir le BIH. Le Comité doit faire connaître clairement sa position, même s'il envisage qu'à long terme la charge du TAI puisse revenir au BIPM.

Mr *Guinot* confirme qu'il ne serait pas inutile de faire une telle déclaration à l'Observatoire de Paris ; ainsi les nouveaux conseils seront mis au courant. Mr *Guinot* précise que le transfert des activités correspondant à l'établissement du TAI n'aurait pas pu se faire jusqu'ici. Il a pris des dispositions spéciales pour que ce transfert soit possible dans l'avenir. Mais il faut que le Comité montre un certain enthousiasme devant cette perspective.

Le *Président* rappelle qu'une décision de cet ordre n'appartient pas au Comité, mais à la CGPM.

Mr *Ambler* s'est informé aux USA de l'opinion des milieux intéressés par ce problème. Aux États-Unis, l'opinion est unanime pour souhaiter que les choses demeurent en l'état, car cela paraît être la solution la moins onéreuse, même si le BIPM devait à l'avenir contribuer plus largement aux travaux du BIH pour l'élaboration du TAI. Il pense de plus que le fait de rester à l'Observatoire de Paris, dans un milieu d'astronomes, est préférable pour le TAI.

Mr *Guinot* répond que ce dernier point n'est pas fondamental. Mr *Ambler* a l'intention d'en discuter avec l'UAI.

Pour Mr *Kind*, cette question du transfert du TAI est un problème tout à fait nouveau. Esthétiquement il peut paraître souhaitable que le BIPM soit chargé aussi de conserver la seconde, mais la situation actuelle est celle d'une tâche très importante, très bien assumée et avec des frais minimes. Mr *Kind* préférerait qu'une organisation internationale ou l'Observatoire de Paris prenne contact avec le CIPM à ce sujet et que le problème ne soit pas posé seulement pour des raisons d'esthétique concernant le SI.

7. Visite des laboratoires et du Dépôt des Prototypes métriques

L'après-midi du mercredi 8 octobre a été consacrée à la visite des laboratoires. Cette visite est un complément nécessaire à l'exposé des travaux du BIPM qui a eu lieu auparavant. Elle est l'occasion pour les membres du Comité d'avoir un contact individuel avec le personnel scientifique du Bureau et la possibilité de voir dans le détail la façon dont certains travaux sont effectués.

Sur proposition de Mr Giacomo, la totalité des participants n'est pas invitée à la visite du Dépôt des Prototypes métriques. En effet il est

inévitables que les allées et venues d'un grand nombre de visiteurs amènent de la poussière dans le caveau; il y a fort à craindre que cela soit préjudiciable aux prototypes conservés. Dorénavant seule la présence du Président sera requise et les membres nouvellement élus seront invités à descendre au caveau.

Procès-Verbal

Le 8 octobre 1980, à 16 heures, en présence de membres du Comité International des Poids et Mesures et du personnel scientifique du Bureau, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clefs qui ouvrent le Dépôt : celle qui est confiée au Directeur du Bureau, celle qui est déposée aux Archives Nationales, à Paris, et que Madame J. Morin 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 : 21,0 °C
— maximale : 22,5 °C
— minimale : 20,5 °C
État hygrométrique : 77 %

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

*Le Directeur
du Bureau,*
P. GIACOMO

*Pour le Conservateur en Chef
des Archives de France,*
J. MORIN

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

8. Questions administratives

Départ en retraite de Mr Moreau

Le Comité International tient à saluer Mr Moreau qui doit prendre sa retraite à la fin de l'année après plus de 54 années passées au service du Bureau International. Le *Président* propose de nommer Mr Moreau métrologue honoraire. Il rappelle qu'il y a quatre ans le Comité avait déjà félicité Mr Moreau à l'occasion du 50^e anniversaire de son entrée au Bureau. Il ne s'agit pas de renouveler cette cérémonie mais il ne faut pas laisser passer inaperçu le départ en retraite de quelqu'un qui, avec une grande conscience, a beaucoup contribué par son travail minutieux et assidu à la création et au développement du SI. L'ensemble du Comité étant d'accord avec cette proposition, Mr *Moreau* est invité dans la salle des délibérations à recevoir un certificat signé par les membres du bureau du Comité et à entendre les paroles de remerciements et de félicitations du Président, auxquelles il répond en exprimant son appréciation de se voir conférer l'honorariat, titre qui à ce jour n'a jamais été décerné à un membre du personnel autre qu'un directeur ou un adjoint.

Élections d'adjoints

Mr de Boer doit soumettre au vote à scrutin secret la nomination de deux nouveaux adjoints. Il présente d'abord le cas de Mr Hudson. Ce physicien, que la plupart des membres du Comité connaissent, est venu à partir du 1^{er} octobre 1980 se joindre au personnel du BIPM. Il doit prendre en charge au Bureau tout le travail qui va résulter de la décision prise par le CIPM l'an dernier de confier au BIPM le rôle de rédacteur de la revue « Metrologia ». A la suite d'un vote à scrutin secret, Mr Hudson est nommé adjoint, avec le titre de physicien principal à dater du 1^{er} octobre 1980. En prenant note du résultat de ce vote, Mr de Boer remercie, au nom du Comité, Mr Preston-Thomas pour la façon efficace dont il a assumé la rédaction de Metrologia depuis de nombreuses années.

Mr Giacomo présente ensuite le cas de Mr J.-M. Chartier. Ce métrologiste assume la majeure partie de la responsabilité des travaux faits au BIPM sur les lasers. C'est lui qui s'est occupé de toutes les comparaisons de lasers faites par le BIPM avec les laboratoires nationaux soit à Sèvres, soit à l'étranger. Il est particulièrement actif et efficace ; il a toujours fait preuve d'un sens aigu des responsabilités. A la suite d'un vote à scrutin secret le grade d'adjoint lui est conféré à l'unanimité avec le titre de métrologiste principal à dater du 1^{er} janvier 1981.

Exercice 1979

Le Président passe ensuite à l'examen des comptes du BIPM. Mr de Boer présente le rapport de l'Expert comptable pour l'exercice passé. Ce document est accompagné de quelques précisions écrites sur la réalisation des divers postes. Il ne soulève aucun commentaire. Quitus est donné au directeur et à l'administrateur pour les comptes de 1979.

Exercice en cours et projet de budget pour 1981

Les chiffres de l'exercice en cours n'appellent aucune remarque. Le Comité examine le budget proposé pour 1981. A ce sujet Mr Giacomo signale que le poste « Traitements » accuse une augmentation qui correspond à l'engagement d'un nouveau physicien qui doit entrer au BIPM au 1^{er} janvier 1981 et au second engagement prévu. Le poste « Bâtiments » est toujours important parce que l'on espère pouvoir commencer les travaux de réfection de la menuiserie au cours de l'exercice 1981. Le projet de budget suivant est approuvé.

Budget pour 1981

RECETTES

	francs-or
Contributions des États	8 550 000
Intérêts des fonds	780 000
Taxes de vérification	30 000
Remboursements des taxes sur les achats	300 000
Total	<u><u>9 660 000</u></u>

DÉPENSES

<i>A. Dépenses de personnel :</i>	
1. Traitements	4 500 000
2. Allocations familiales	280 000
3. Sécurité Sociale	285 000
4. Assurance-accidents	45 000
5. Caisse de Retraites	800 000
	} 5 910 000
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>	
1. Mobilier	55 000
2. Laboratoires et ateliers	760 000
3. Chauffage, eau, énergie électrique	211 000
4. Assurances	30 000
5. Impressions et publications	85 000
6. Frais de bureau	125 000
7. Voyages et transports d'appareils	160 000
8. Entretien courant	50 000
9. Bureau du Comité	24 000
	} 1 500 000
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>	
1. Laboratoires	1 045 000
2. Atelier de mécanique	100 000
3. Atelier d'électronique	20 000
4. Bibliothèque	35 000
5. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)	800 000
	} 2 000 000
<i>D. Frais divers et imprévus</i>	200 000
<i>E. Utilisation de monnaies non convertibles</i>	50 000
Total	<u><u>9 660 000</u></u>

9. Questions diverses

Élections à prévoir

Après avoir demandé aux invités de se retirer, le *Président* aborde le problème des deux sièges qui sont actuellement vacants au CIPM. La

démission de Mr Sakurai a été reçue quelques jours avant l'ouverture de la présente session. Un second siège est devenu vacant à la suite de la démission de Mr Otero. Cette démission était envisagée depuis un certain temps. Pour ces deux sièges le vote formel ne peut avoir lieu que dans trois mois.

La question de la composition du CIPM constitue un problème délicat. Le *Président* pense qu'inviter des physiciens au Comité International peut être une excellente manière de se rendre compte de l'intérêt que pourrait présenter leur participation en tant que membre. Par ailleurs le bureau du Comité estime nécessaire de maintenir une répartition géographique équilibrée, bien que tous les pays membres de la Convention du Mètre aient la possibilité de prendre une part active aux travaux des organes issus de cette Convention dans le cadre de la Conférence Générale des Poids et Mesures et au sein des Comités Consultatifs.

Le bureau du CIPM examine régulièrement dans cet esprit les candidatures qu'il pourrait proposer.

Le *Président* demande aux membres du Comité leurs commentaires sur ces idées directrices et sur les propositions envisagées pour les prochaines vacances, y compris les deux sièges à pourvoir. Au cours d'un échange de vues très ouvert auquel participent en particulier MM. Ambler, Preston-Thomas, Kiparenko, Kind et Perlstein, le CIPM exprime son accord sur les orientations suivies par son bureau, en particulier sur les candidatures à proposer aux prochaines élections.

Honorariat

Le *Président* rappelle qu'au début de la session le Comité a décidé de nommer Mr Otero membre honoraire. Il veut encore proposer de conférer ce titre à Mr Lehany. Mr Lehany a été membre du CIPM pendant dix-sept ans et il a assuré pendant longtemps la présidence du CCE avec une efficacité et une courtoisie particulièrement appréciées. Ce sont les raisons qui justifient que l'honorariat lui soit conféré.

Mr *Verma* demande ce que cela implique.

Le *Président* répond que cela n'a aucune implication particulière, mais un membre honoraire peut, de droit, assister aux réunions du Comité International.

Mr Lehany est nommé à l'unanimité membre honoraire.

Prochaine réunion

Le *Président* constate que l'ordre du jour est épuisé, il ne reste plus qu'à convenir des dates de la prochaine réunion. Les dates retenues sont les 6, 7 et 8 octobre 1981.

Mr Dunworth clôt la session en remerciant les participants.

Recommandation
adoptée par le CIPM à sa 69^e session

RECOMMANDATION 1 (CI-1980)

Unités supplémentaires (radian et stéradian)

Le Comité International des Poids et Mesures,

prenant en considération la Résolution 3 adoptée par l'ISO/TC 12 en 1978 et la Recommandation U 1 (1980) adoptée par le Comité Consultatif des Unités (CCU) à sa 7^e session,

considérant

– que les unités radian et stéradian sont introduites usuellement dans des expressions des unités pour des besoins de clarification, notamment en photométrie où le stéradian joue un rôle important pour distinguer les unités correspondant aux diverses grandeurs,

– que dans les équations utilisées on exprime généralement l'angle plan comme le rapport entre deux longueurs et l'angle solide comme le rapport entre une aire et le carré d'une longueur, et que par conséquent ces grandeurs sont traitées comme des grandeurs sans dimension,

– que l'étude des formalismes en usage dans le domaine scientifique montre qu'il n'en existe aucun qui soit à la fois cohérent et convenable, et dans lequel les grandeurs angle plan et angle solide soient considérées comme des grandeurs de base,

considérant aussi

– que l'interprétation donnée par le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) en 1969 pour la classe des unités supplémentaires introduite dans la Résolution 12 de la 11^e Conférence Générale des Poids et Mesures en 1960 laisse la liberté de traiter le radian et le stéradian comme unités de base dans le Système International,

– qu'une telle possibilité compromet la cohérence interne du Système International fondé sur sept unités de base seulement,

décide

– d'interpréter la classe des unités supplémentaires dans le Système International comme une classe d'unités dérivées sans dimension pour lesquelles la Conférence Générale des Poids et Mesures laisse la liberté de les utiliser ou non dans les expressions des unités dérivées du Système International.

Composition des Comités Consultatifs

Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)

Président : W. R. Blevin, CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie).

Membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin
Bureau National de Métrologie : Institut National de Métrologie, Paris
Conseil National de Recherches, Ottawa
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield
Electrotechnical Laboratory, Ibaraki
Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad
Institut National de Métrologie, Beijing
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin
National Bureau of Standards, Washington
National Physical Laboratory, Teddington
National Physical Research Laboratory, Pretoria
Office Fédéral de Métrologie, Wabern/World Radiation Center, Davos
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
E. Ingelstam, Statens Provningsanstalt, Borås (Suède)
L. Plaza, Instituto de Optica « Daza Valdes », Madrid
R. Rotter, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne
J. Schanda, Research Institute for Technical Physics, Budapest
K. Yoshie, Université de Chiba (Japon)
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)

Président : H. Preston-Thomas, Conseil National de Recherches, Ottawa

Membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin
Bureau National de Métrologie : Institut National de Métrologie, Paris
Ceskoslovensky Metrologicky Ustav, Bratislava
Conseil National de Recherches, Ottawa
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad/Institut des Mesures Physico-
Techniques et Radiotechniques, Moscou
Institut National de Métrologie, Beijing
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin
National Bureau of Standards, Washington
National Physical Laboratory, Teddington
National Research Laboratory of Metrology, Ibaraki
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Van Swinden Laboratorium, Delft/Kamerlingh Onnes Laboratorium, Leiden
F. G. Brickwedde, Pennsylvania State University
C. A. Swenson, Iowa State University
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)

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

Membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin
Bureau National de Métrologie : Institut National de Métrologie, Paris
Conseil National de Recherches, Ottawa
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad
National Bureau of Standards, Washington/Joint Institute for Laboratory
Astrophysics, Boulder
National Physical Laboratory, Teddington
National Research Laboratory of Metrology, Ibaraki
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Union Astronomique Internationale
B. Edlen, Lunds Universitet, Lund
L. Frenkel, Lynn, Massachusetts
K. Shimoda, Tokyo
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

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

Président : B. Guinot, Bureau International de l'Heure, Paris

Membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin
Bureau International de l'Heure, Paris
Bureau des Longitudes, Paris
Bureau National de Métrologie : Laboratoire Primaire du Temps et des
Fréquences, Paris
Comité Consultatif International des Radiocommunications [CCIR] de l'Union
Internationale des Télécommunications, Genève
Conseil National de Recherches, Ottawa
Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou
Institut National de Métrologie, Beijing
Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin
Laboratoire de l'Horloge Atomique du CNRS, Orsay
Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères, Neuchâtel
National Bureau of Standards, Washington
National Physical Laboratory, Teddington
National Physical Laboratory of India, New Delhi
National Research Laboratory of Metrology, Ibaraki
Observatoire de Neuchâtel, Neuchâtel
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Radio Research Laboratories, Tokyo
Royal Greenwich Observatory, Hailsham
Union Astronomique Internationale

U. S. Naval Observatory, Washington
Van Swinden Laboratorium, Delft
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

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

Président : E. Ambler, National Bureau of Standards, Washington

Membres :

W. A. Jennings (président de la Section I), National Physical Laboratory,
Teddington
H. M. Weiss (président de la Section II), Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Braunschweig
R. S. Caswell (président de la Section III), National Bureau of Standards,
Washington
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

Section I (Rayons X et γ , électrons)

Président : W. A. Jennings, National Physical Laboratory, Teddington

Membres :

Australian Radiation Laboratory, Yallambie
Bureau National de Métrologie : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements
Ionisants, Saclay
Conseil National de Recherches, Ottawa
Electrotechnical Laboratory, Ibaraki
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad
Institut National de Métrologie, Beijing
International Commission on Radiation Units and Measurements
National Bureau of Standards, Washington
National Institute of Radiation Protection, Stockholm
National Physical Laboratory, Teddington
Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie
Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, Utrecht
A. Allisy, Paris
A. Brosed, Madrid
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

Section II (Mesure des Radionucléides)

Président : H. M. Weiss, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Membres :

Australian Atomic Energy Commission, Research Establishment, Sutherland
Bureau National de Métrologie : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements
Ionisants, Saclay
Conseil National de Recherches, Ottawa

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad
Institut National de Métrologie, Beijing
National Accelerator Centre, Pretoria
National Bureau of Standards, Washington
National Physical Laboratory, Teddington
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
J.-J. Gostely, Lausanne
J. G. V. Taylor, Chalk River, Canada
H. Vonach, Vienne
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

Section III (Mesures neutroniques)

Président : R. S. Caswell, National Bureau of Standards, Washington

Membres :

Bureau National de Métrologie : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Saclay
Conseil National de Recherches, Ottawa
Electrotechnical Laboratory, Ibaraki
Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad
Institut National de Métrologie, Beijing
National Bureau of Standards, Washington
National Physical Laboratory, Teddington
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
H. Liskien (BCMN, Geel)
J. J. Broerse (TNO, Rijswijk)
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

Comité Consultatif des Unités (CCU)

Président : J. de Boer, Instituut voor Theoretische Fysika, Amsterdam

Membres :

Comité d'État des Normes auprès du Conseil des Ministres (Gosstandard), Moscou
Commission Électrotechnique Internationale
Commission Internationale de l'Éclairage
Conseil National de Recherches, Ottawa
Institut National de Métrologie, Beijing
International Commission on Radiation Units and Measurements
National Bureau of Standards, Washington
National Physical Laboratory, Teddington
National Research Laboratory of Metrology, Ibaraki
Organisation Internationale de Métrologie Légale
Organisation Internationale de Normalisation (Comité Technique 12)
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (Commission STU)
Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (Commission SUN)
M. L. McGlashan, Londres
L. Villena, Madrid
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

**Comité Consultatif pour les masses
et les grandeurs apparentées (CCM)**

Président : A. Perlstain, Office Fédéral de Métrologie, Wabern (Suisse)

Membres :

Bureau National de Métrologie : Institut National de Métrologie, Paris

Conseil National de Recherches, Ottawa

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad

Institut National de Métrologie, Beijing

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

National Bureau of Standards, Washington

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Laboratory of Metrology, Ibaraki

Office Fédéral de Métrologie, Wabern

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Van Swinden Laboratorium, Delft

Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures

Comité Consultatif d'Électricité (CCE)

La liste des membres de ce Comité sera discutée et publiée ultérieurement.

RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(octobre 1979 — septembre 1980)

I. — PERSONNEL

Titularisation

Madame A. PEREZ, contractuelle depuis le 1^{er} juin 1973, a été titularisée le 1^{er} janvier 1980 en tant qu'agent d'entretien.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Travaux de réfection (électricité et peinture) de la bibliothèque.

Petit Pavillon

Réfection de la salle de séjour de l'appartement du gardien principal (suppression d'une cloison, resserrement du plancher, remplacement d'une fenêtre).

Grand Pavillon

Au sous-sol, installation du chauffage central (quatre radiateurs) et extension de la cantine du personnel par percement d'un mur.

Réfection de l'étanchéité de la terrasse.

Réfection du couloir d'entrée du rez-de-chaussée (changement du plancher, d'une fenêtre et de la moquette, peinture).

Ravalement de la façade côté cour.

Dépendances

Abattage d'une douzaine d'arbres.

Curage annuel des canalisations souterraines des eaux usées.

Réfection de la clôture sud-est sur une centaine de mètres.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

Nous avons accueilli cette année deux physiciens pour des stages de longue durée. L'un, D. J. E. Knight, envoyé par le National Physical Laboratory

(Teddington), travaille depuis septembre 1979 à la section des lasers. L'autre, X. Z. Wu, envoyé par l'Institut National de Métrologie (Beijing) a participé aux travaux sur les mesures d'activité de radionucléides depuis novembre 1978 et jusqu'au 31 mai 1980.

Nous avons aussi accueilli pour une durée d'un mois deux équipes de physiciens chinois, venant du même Institut. L'une de ces équipes a effectué des comparaisons de lasers asservis construits en Chine avec ceux du BIPM; l'autre a effectué des mesures de g avec un gravimètre absolu transportable de construction chinoise.

Ces stages sont instructifs, pour les intéressés et pour notre personnel, mais ils constituent une charge importante pour le BIPM.

T. J. Witt a terminé un stage de neuf mois au NML (Sydney) où il s'est familiarisé avec les mesures électriques en courant alternatif et les détecteurs cryogéniques. Il a rapporté de ce laboratoire deux squids et un comparateur cryogénique de courants qui nous permettront de mettre en œuvre ces dispositifs extrêmement intéressants pour nos mesures électriques. Au cours de son voyage de retour, il a séjourné au NBS d'où il a rapporté un comparateur de convertisseurs thermiques courant alternatif-courant continu qui nous permettra de commencer à travailler dans ce domaine. L'aide qui nous est ainsi apportée nous est extrêmement précieuse.

Le travail sur les étalons de masse se développe. On a obtenu des résultats prometteurs pour la finition directe des étalons en platine iridié à l'aide d'un outil en diamant. Les mesures systématiques de la teneur en CO_2 de l'atmosphère du laboratoire permettront vraisemblablement une meilleure estimation de la correction de poussée de l'air. G. Girard a profité d'un voyage au Japon et en Australie pour effectuer une comparaison des déterminations de la masse d'étalons de 1 kg en acier inoxydable et en platine iridié.

La Société Jaeger, avec la collaboration étroite du BIPM, a construit un premier gravimètre absolu transportable qui vient d'être installé au Japon. Un second appareil du même type sera fourni au BIPM. Il comporte plusieurs améliorations importantes. Nous espérons qu'il pourra devenir notre instrument principal pour la mesure de g .

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

Longueurs (P. Carré, J. Hamon)

Comparateur photoélectrique et interférentiel

Dans le Rapport de 1979 (p. 24), nous avons signalé la détermination de l'erreur systématique produite par la légère déformation de la poutre porte-microscopes due au déplacement du chariot porte-règle; nous avons trouvé pour la valeur relative de cette erreur systématique $(11 \pm 5) \times 10^{-9}$. Une nouvelle détermination a donné une valeur nulle, avec la même incertitude.

Étalons à traits

Comparaisons internationales

Le second circuit (NPL, ASMW, IMM, PTB) des comparaisons internationales de mesure de règles divisées (Rapports 1976, p. 29; 1977, p. 23; 1978, p. 28; 1979, p. 25) est terminé. La règle N° 12924 a été transportée en octobre 1979 de l'IMM à

la PTB où elle a été étudiée, en mai et juin 1980. Elle a été rapportée au BIPM le 18 août 1980; elle a été réétudiée en août et septembre 1980. Le rapport du NPL concernant ces mesures nous avait été transmis avant la 6^e session du CCDM (juin 1979); les rapports de l'IMM, de l'ASMW et de la PTB nous sont parvenus respectivement en février, mars et août 1980.

La figure 1 illustre les résultats obtenus pour la longueur de l'intervalle principal par le BIPM en 1976, 1978 et 1980 ainsi que par les huit autres laboratoires participants. Nos propres mesures ont mis en évidence un allongement de la règle d'environ 0,04 μm par an, qui concorde avec l'ensemble des résultats si l'on excepte toutefois les deux résultats qui s'écartent le plus de la moyenne. Notre valeur de 1978, un peu trop élevée, avait été obtenue peu de temps avant que l'on décèle une erreur systématique de l'ordre de 0,05 μm , due à un défaut mécanique dans notre comparateur, défaut que l'on a pu éliminer par la suite (Rapport 1979, p. 24).

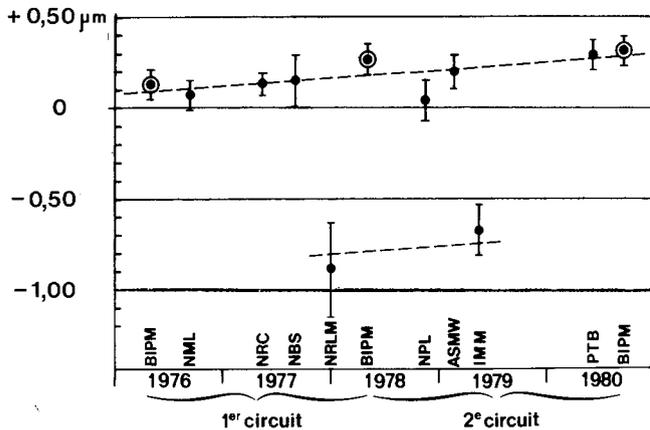


Fig. 1. — Règle N° 12924, intervalle principal : (Labo.) — moyenne.

La pente des droites discontinues correspondrait à un allongement de la règle de 0,04 μm par an.

En ce qui concerne l'étalonnage des subdivisions, nous avons en général retrouvé nos résultats antérieurs à mieux que 0,03 μm près; cependant, pour cinq traits, parmi les 58 traits étudiés, les écarts sont compris entre 0,10 et 0,18 μm et ne peuvent s'expliquer que par un changement d'aspect de ces traits que l'on peut attribuer au nettoyage de la règle. La dispersion des résultats obtenus par les divers laboratoires est conforme à ce qui avait été observé lors du premier circuit⁽¹⁾.

Enfin, la détermination que nous avons faite du défaut de planéité de la surface divisée a confirmé, à 0,01 mm près environ, les résultats que nous ont communiqués le NML, le NPL et l'ASMW.

Un projet de plan de circulation pour le troisième circuit va être prochainement soumis aux laboratoires concernés : IMGC (Italie), OFM (Suisse), NIM (Rép. Pop. de Chine) et NML (Australie).

Le CCDM ayant reconnu la nécessité de poursuivre des comparaisons de ce type avec des règles plus courtes choisies spécialement pour étudier l'importance de la qualité des traits, nous avons commandé à la Société Genevoise d'Instruments de

(¹) CCDM, 6^e session, 1979, Annexe M 3.

Physique (juillet 1980) une règle décimétrique munie de quatre divisions demi-centimétriques imbriquées, avec des traits de largeurs différentes.

Mètre prototype

Étude, au comparateur photoélectrique et interférentiel, du Mètre prototype N° 3C (Danemark) : longueur de l'intervalle principal et distance entre les deux traits de l'extrémité B qui définissent, avec le trait de l'extrémité A, l'un un intervalle de 1 m à 20 °C et l'autre un intervalle de 1 m à 0 °C. Les résultats obtenus sont :

$$\left. \begin{aligned} \text{N}^\circ 3\text{C} (20\text{ }^\circ\text{C}) &= 1\text{ m} - 1,179\text{ }\mu\text{m} \text{ à } 20\text{ }^\circ\text{C} \\ \text{N}^\circ 3\text{C} (0\text{ }^\circ\text{C}) - \text{N}^\circ 3\text{C} (20\text{ }^\circ\text{C}) &= 172,401\text{ }\mu\text{m} \text{ à } 20\text{ }^\circ\text{C} \end{aligned} \right\} \text{(juin 1980):}$$

Les valeurs précédemment admises étaient :

$$\left. \begin{aligned} \text{N}^\circ 3\text{C} (20\text{ }^\circ\text{C}) &= 1\text{ m} - 1,274\text{ }\mu\text{m} \text{ à } 20\text{ }^\circ\text{C} \\ \text{N}^\circ 3\text{C} (0\text{ }^\circ\text{C}) - \text{N}^\circ 3\text{C} (20\text{ }^\circ\text{C}) &= 172,397\text{ }\mu\text{m} \text{ à } 20\text{ }^\circ\text{C} \end{aligned} \right\} \text{(1966).}$$

Règles divisées

Quatre règles ont été mesurées au comparateur photoélectrique et interférentiel.

Règle N° 10230 de 1 m en invar (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire) : longueur de l'intervalle principal. La valeur obtenue est :

$$\text{N}^\circ 10230 = 1\text{ m} + 1,08\text{ }\mu\text{m} \text{ à } 20\text{ }^\circ\text{C} \text{ (septembre 1979).}$$

C'est la quatrième fois que cette règle est mesurée avec le comparateur photoélectrique. Ce résultat, ainsi que ceux obtenus précédemment et rappelés dans le Rapport de 1976 (p. 29), sont représentés à la figure 2.

– *Règle N° OY2222 de 1 m en acier à 58 % de nickel (Afrique du Sud) :* longueur de l'intervalle principal et étalonnage des décimètres. Depuis 1971, date de notre précédente mesure, cette règle s'est raccourcie de 0,13 µm.

– *Règle de 1 m en acier inoxydable du Service des Instruments de Mesure, Paris :* longueur de l'intervalle principal et étalonnage des centimètres.

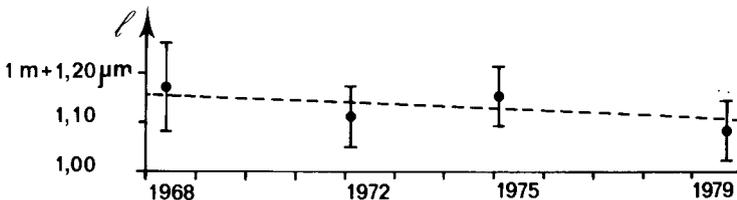


Fig. 2. – Évolution de la longueur *l* de la règle N° 10230.

Les barres d'incertitude correspondent à trois fois l'écart-type, calculé d'après la dispersion des mesures.

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

Étalons à bouts plans (J. Hamon)

Étalon N° 6 pour la mesure de l'accélération due à la pesanteur

Cet étalon en « Zerodur spécial », d'environ 826 mm de longueur, a la même forme que les étalons antérieurement décrits (Rapport 1967, p. 36). Une première détermination approchée de sa longueur a été faite, à la pression atmosphérique, au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel, par comparaison à l'intervalle 0-826 mm du Mètre prototype II précédemment mesuré; on a précisé cette longueur par des mesures interférentielles dans le même appareil. L'étalon a ensuite été mesuré, sous vide, dans l'interféromètre de Michelson. Les résultats sont les suivants :

$$\text{Étalon N° 6} \left\{ \begin{array}{l} \text{à la pression atmosphérique : } 826\,131,10 \text{ } \mu\text{m} \\ \text{dans le vide : } \qquad \qquad \qquad 826\,131,51 \text{ } \mu\text{m}. \end{array} \right.$$

De ces valeurs on déduit le coefficient de compressibilité linéique du matériau : $4,9 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$.

La détermination du coefficient de dilatation linéique de cet étalon a été effectuée entre 17 et 23 °C environ; on a obtenu :

$$\alpha_{20} = + 2,45 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1} \quad (\sigma = 0,04 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}).$$

Pour l'étalon N° 5, constitué du même matériau, on avait obtenu $\alpha_{20} = - 2,25 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$; ces deux valeurs sont à l'intérieur des limites de tolérance indiquées par le fournisseur.

Pour les étalons étudiés précédemment, les points représentatifs de la longueur en fonction de la température définissaient deux droites sensiblement parallèles décalées d'environ 60 nm selon que les mesures étaient effectuées à température croissante ou à température décroissante; en revanche, pour l'étalon N° 6, les points se disposent tous sur une même droite. La seule modification expérimentale qui ait été apportée concerne l'un des deux supports de l'étalon qui a été équipé de roulements à billes; on peut donc penser que les anomalies constatées précédemment provenaient des frottements entre les supports et l'étalon au cours des dilatations et contractions.

Calibres

Cinq calibres en acier de longueurs 600, 700, 800, 900 et 1 000 mm (Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava) ont été mesurés au comparateur photoélectrique et interférentiel.

Les calibres en acier suivants ont été mesurés à l'interféromètre Tsugami :

— neuf calibres de longueurs 5, 15, 25, 40, 50, 60, 75, 90 et 100 mm (Office Fédéral de Métrologie, Suisse);

— deux calibres de 1 mm, un de 1,21 mm, un de 4 mm et un de 100 mm (Société Meseltron, Le Locle, Suisse);

— trois calibres de 60, 70 et 90 mm (National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud).

Pour ce laboratoire, nous avons en outre mesuré, avec le même interféromètre, trois calibres en carbure de tungstène de 50, 75 et 100 mm dont nous avons aussi déterminé le coefficient de dilatation linéique autour de 20 °C :

$$\alpha_{20} = 4,29 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \quad \text{avec} \quad \sigma = 0,005 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}.$$

D'autre part, à la suite de mesures de calibres faites alternativement au BIPM avec notre interféromètre Tsugami et dans un laboratoire français, avec un appareil identique, nous avons constaté une différence systématique de l'ordre de 10 nm entre les résultats obtenus avec les deux appareils. En recherchant les causes de cette différence, nous avons mis en évidence, dans notre appareil, une erreur dont la valeur moyenne est environ 6 nm et qui est due à la non-linéarité du système de détermination des excédents fractionnaires par interpolation entre les franges. Une correction est désormais appliquée aux lectures.

Base géodésique (G. Girard)

Mesure interférentielle de la règle I5 de 4 m

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

$$I5 = 4 \text{ m} + 52,4 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (octobre 1979).}$$

La précédente détermination avait donné :

$$I5 = 4 \text{ m} + 50,6 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (novembre 1975).}$$

Fils et rubans géodésiques

Un ruban de 25 m (République Démocratique Allemande) et trois fils de 24 m (France) ont été étalonnés.

Invar géodésique

Nous avons effectué l'étuvage d'environ 183 kg d'alliage constituant les livraisons 32 (D et E) et, en relation avec ces traitements thermiques, nous avons déterminé le coefficient de dilatation de douze échantillons de fil de 24 m de longueur.

Interférométrie

Lasers (J.-M. Chartier)

Généralités

— Une partie appréciable de notre activité a été consacrée à une comparaison, effectuée au BIPM, entre lasers du BIPM et lasers de l'Institut National de Métrologie (NIM), Beijing. Cette comparaison a porté d'une part sur des lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode ($\lambda = 633 \text{ nm}$) et d'autre part sur des lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane ($\lambda = 3,39 \text{ } \mu\text{m}$).

— Les lasers asservis sur le méthane apportés par le NIM ayant une longueur (1 m) plus grande que ceux que nous avons étudiés jusqu'ici, nous avons dû équiper un second pilier de la salle 103 pour les comparaisons par battements : deux plaques d'acier rabotées (1,2 m \times 1,3 m, épaisseur 25 mm) ont été fixées sur ce pilier au-dessus duquel on a installé un plafond soufflant qui fournit une protection contre la

poussière, les courants d'air et le bruit (notamment celui qui est produit par le climatiseur de la salle).

- Le NIM nous a fait don d'une cuve à iode, d'un laser pouvant être asservi sur le « Lamb dip » et de deux tubes à décharge à He-Ne, l'un pour $\lambda = 633$ nm et l'autre, à capillaire tronçonné, pour $\lambda = 3,39$ μm .

- Nous avons eu encore à construire deux asservissements : l'un pour notre laser BIOR1 ($\lambda = 612$ nm) et l'autre pour notre laser esclave BICH4.4 ($\lambda = 3,39$ μm).

- Nous avons collaboré avec les Ets Jaeger (Levallois, France) à la réalisation et à la mise au point d'un laser à He-Ne asservi sur l'iode ($\lambda = 633$ nm) destiné à équiper le gravimètre transportable commercial BIPM-Jaeger (voir *Gravimétrie*). Au cours de cette étude, nous avons mis au point un tube à décharge possédant les qualités métrologiques nécessaires. Une commercialisation de ce tube semble possible, elle devrait intéresser les laboratoires de métrologie.

- Nous avons profité du stage de D. Knight (NPL) pour commencer à mettre en œuvre un laser à He-Ne à $\lambda = 1,15$ μm ($f = 260$ THz) dont la puissance devrait être suffisante pour que l'on puisse obtenir l'harmonique deux ($f = 520$ THz, $\lambda = 576$ nm) au moyen d'un cristal de niobate de lithium (LiNbO_3). Cette expérience a déjà été réalisée au NRC (Canada) (2). Pour essayer d'observer cette radiation visible, on a installé dans une cavité laser classique (composée de deux miroirs et d'un tube à décharge) deux lentilles de 50 mm de distance focale distantes d'environ 100 mm entre lesquelles on a placé un cristal de niobate de lithium de 50 mm de longueur. Actuellement, nous disposons de l'ensemble mécanique, construit au BIPM, et de l'optique. Le tube à décharge, réalisé au BIPM, a 830 mm de longueur et 3 mm de diamètre. Nous avons, pour le moment, obtenu l'oscillation à $\lambda = 1,15$ μm avec les deux lentilles dans la cavité. Le mélange gazeux (hélium naturel et néon naturel) fournissant la puissance maximale correspond à :

$$p_{\text{Ne}} = 45 \text{ Pa}; \quad p_{\text{Ne}} + p_{\text{He}} = 226 \text{ Pa.}$$

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

Mesure de l'intervalle ($^{129}\text{I}_{2,k}$) - ($^{127}\text{I}_{2,i}$)

En examinant les réponses au questionnaire adressé par le BIPM aux membres du CCDM (octobre 1977) en préparation de la 6^e session de ce Comité, nous avons noté une différence de 0,17 MHz entre la valeur de cet intervalle de fréquences déterminé par battement d'une part au BIPM et d'autre part dans un autre laboratoire. Nous avons donc refait une détermination de cet intervalle à l'aide de nos lasers

BIPM5 [$\text{He} - ^{20}\text{Ne}(^{129}\text{I}_2)$] et BIPM2 [$\text{He} - ^{20}\text{Ne}(^{127}\text{I}_2)$].

Nous avons obtenu :

$$(^{129}\text{I}_{2,k}) - (^{127}\text{I}_{2,i}) = 95,758 \text{ MHz} \quad \delta = 10 \text{ kHz};$$

δ est l'écart entre les deux mesures effectuées.

(2) BAIRD (K. M.), EVENSON (K. M.), HANES (G. R.), JENNINGS (D. A.) and PETERSEN (F. R.), *Optics lett.*, 4, N° 9, sept. 1979, pp. 263-264.

Précédemment (Rapport 1978, p. 32), pour des conditions expérimentales similaires, nous avons obtenu une valeur supérieure à celle-ci de 4 kHz.

Afin de juger de la reproductibilité de nos déterminations, plutôt que de leur répétabilité, nous avons remplacé la cuve à iode 127 du plus puissant de nos lasers de référence (BIPM6) par une cuve à iode 129 remplie à la PTB. Une comparaison entre ce laser et le laser BIPM2 nous a permis de confirmer le résultat ci-dessus; nous avons en effet obtenu, pour la moyenne de quatre mesures :

$$(^{129}\text{I}_{2,k}) - (^{127}\text{I}_{2,i}) = 95,774 \text{ MHz} \quad \sigma = 5 \text{ kHz},$$

σ étant l'écart-type d'une mesure.

Lors de ces mesures, les puissances surfaciques calculées au col des faisceaux étaient environ :

97 kW/m² pour BIPM5,
32 BIPM2,
et 97 BIPM6.

Comparaison avec le NIM (Rép. Pop. de Chine)

Du 2 au 17 avril 1980, une comparaison par battements entre deux lasers du NIM (NIM2, laser principal; NIM1, laser secondaire) et notre laser de référence BIPM2 a été faite au BIPM. Les résultats individuels des treize déterminations effectuées avec NIM2 et des douze déterminations effectuées avec NIM1 sont représentés à la figure 3; chaque détermination comportait la mesure de douze intervalles de fréquence (composantes d à g). Nous avons obtenu, en moyenne :

$$\begin{aligned} (\text{NIM2}) - (\text{BIPM2}) &= + 13,8 \text{ kHz} \quad \sigma = 4,5 \text{ kHz}, \\ (\text{NIM1}) - (\text{BIPM2}) &= - 20,3 \text{ kHz} \quad \sigma = 3,8 \text{ kHz}. \end{aligned}$$

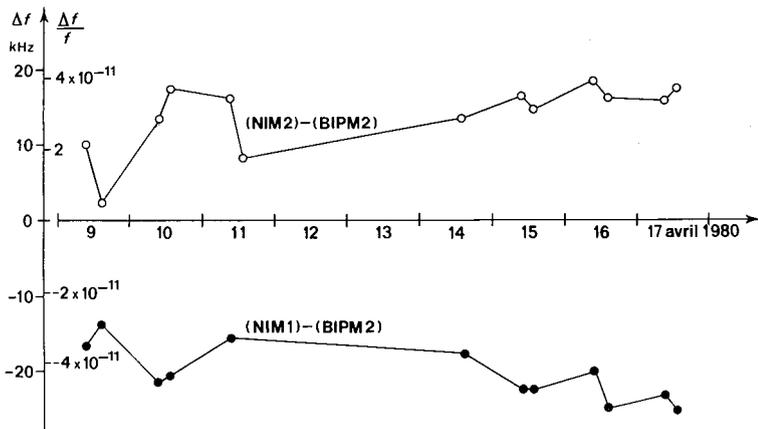


Fig. 3. - Comparaison des fréquences de lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode 127 (avril 1980).

Les conditions expérimentales étaient les suivantes

- amplitude de modulation crête à creux : 6 MHz,
- température des points froids des cuves à iode : 15 °C,

- puissance P des lasers utilisées pour le battement (ensemble des déterminations) :

$$\begin{aligned} 17 \mu\text{W} &\leq P_{\text{NIM2}} \leq 27 \mu\text{W}, \\ 20 \mu\text{W} &\leq P_{\text{NIM1}} \leq 28 \mu\text{W}, \\ 25 \mu\text{W} &\leq P_{\text{BIPM2}} \leq 43 \mu\text{W}. \end{aligned}$$

Nous avons aussi déterminé, sur les lasers du NIM pour les sept pics d à j, les coefficients moyens de variation de fréquence en fonction

- de la pression d'iode : ($- 10,2 \pm 0,6$) kHz/Pa pour NIM2, ($- 8,6 \pm 0,6$) kHz/Pa pour NIM1 ;

- de l'amplitude de modulation : ($- 8,0 \pm 1,5$) kHz par MHz de modulation crête à creux pour NIM2, ($- 8,7 \pm 1,9$) kHz par MHz de modulation crête à creux pour NIM1.

Les coefficients moyens de variation de fréquence en fonction de la puissance des lasers, déterminés pour les pics e et f, sont :

$$\begin{aligned} (- 0,05 \pm 0,01) \text{ kHz}/\mu\text{W} &\text{ pour NIM2,} \\ (- 0,06 \pm 0,01) &\text{ NIM1,} \\ (- 0,18 \pm 0,02) &\text{ BIPM2.} \end{aligned}$$

L'écart-type d'Allan relatif pour les battements entre les lasers NIM2 et BIPM2 présente un minimum d'environ 6×10^{-13} pour une durée d'échantillonnage comprise entre 900 et 2 700 s.

Étalonnages de lasers asservis sur le « Lamb dip »

Ces étalonnages sont effectués par battement avec un laser asservi sur l'iode.

Deux lasers appartenant au NIM, utilisés sur un gravimètre absolu, ont été étalonnés en avril 1980.

Les deux lasers Spectra-Physics, type 119, utilisés aux sections interférométrie et longueurs ont été réétalonnés :

Laser N° 3734-512 (Interférométrie)	}	$\lambda = 632\,991\,426,7 \text{ fm}$	décembre 1979
		421,5	octobre 1979
		(412,3	mai 1979)
Laser N° 418 (Longueurs)	}	$\lambda = 632\,991\,434,3 \text{ fm}$	mars 1980
		432,7	octobre 1979
		(429,4	février 1979)

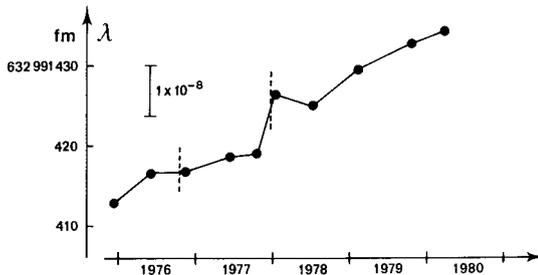


Fig. 4. - Évolution de la longueur d'onde du laser à He-Ne Spectra-Physics 119, N° 418.

Les deux traits verticaux discontinus indiquent un réajustement de la fréquence du générateur de modulation.

La figure 4 donne l'évolution de la longueur d'onde du laser N° 418 depuis décembre 1975. On observe une augmentation de la longueur d'onde de $(0,82 \pm 0,07) \times 10^{-8}$ par an, en valeur relative. Ce résultat confirme ce qui a été observé antérieurement (Rapports 1973, p. 42 et 1977, p. 28).

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

Stabilité

L'enregistrement ininterrompu pendant six jours (Rapport 1979, p. 31) de la fréquence de battement entre les lasers BICH4.3 et BICH4.6 nous a permis d'évaluer leur stabilité. Celle-ci est caractérisée par l'écart-type d'Allan relatif, qui est donné à la figure 5 en fonction de la durée d'échantillonnage.

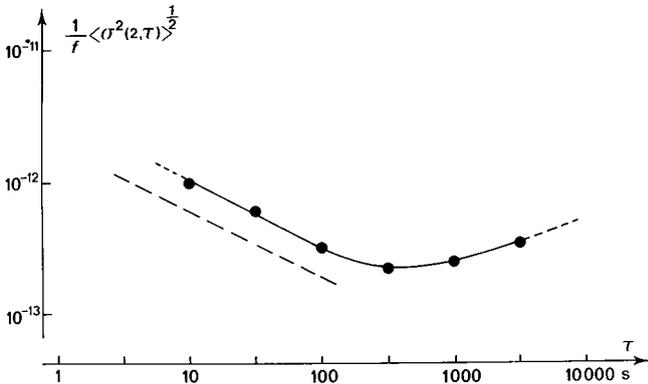


Fig. 5. — Écart-type d'Allan relatif pour les battements entre les lasers BICH4.3 et BICH4.6.

La pente de la droite discontinue correspond à une décroissance en $\tau^{-1/2}$.

Comparaisons avec le LPTF (France) et le NIM (Rép. Pop. de Chine)

Du 13 au 20 février 1980, le laser à He-Ne asservi sur le méthane du Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (LPTF), Paris, a été apporté au BIPM pour que l'on en détermine les caractéristiques. Notre laser BICH4.6 a été pris comme laser de référence; les asservissements des deux lasers utilisaient la technique de la modulation sinusoïdale de la longueur de la cavité avec détection de la dérivée troisième. La mesure de la fréquence de battement nous a conduits au résultat suivant :

$$(\text{LPTF}) - (\text{BICH4.6}) = + 10,07 \text{ kHz} \quad \sigma = 0,89 \text{ kHz.}$$

Cette différence, anormalement élevée, semble être essentiellement liée à la pureté spectrale médiocre du générateur $f_0 - 3f_0$ de l'asservissement utilisé par le LPTF.

En revanche, la variation de fréquence en fonction de l'ordre d'interférence utilisé ou de l'intensité du courant dans le tube $[(- 23 \pm 31) \text{ Hz/mA}]$ est très faible; quelques transformations aisées devraient permettre de faire de ce laser un étalon de très bonne qualité.

Du 18 au 25 avril 1980, le laser NIM.CH1 du NIM a été comparé à BICH4.6. Après des mesures préliminaires effectuées pour déterminer les meilleures conditions

possibles de travail, nous avons obtenu, en utilisant pour les deux lasers la technique de la modulation sinusoïdale de la longueur de la cavité avec détection de la dérivée troisième, le résultat suivant (moyenne de quatre mesures) :

$$(NIM.CH1) - (BICH4.6) = + 0,560 \text{ kHz} \quad \sigma = 1,29 \text{ kHz.}$$

Les coefficients de variation de la fréquence de NIM.CH1 en fonction de l'intensité du courant dans le tube et de l'amplitude de modulation étaient respectivement $(- 1,39 \pm 0,06) \text{ kHz/mA}$ et $(+ 654 \pm 57) \text{ Hz}$ pour 100 kHz de modulation crête à creux.

Les écarts entre les lasers de chaque laboratoire restent donc faibles malgré d'importantes différences de technologie.

Interféromètre de Michelson (J. Hamon)

En 1970, la lame séparatrice de cet interféromètre avait été revêtue de couches diélectriques spécialement calculées pour l'étude de la radiation $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$; cela présentait quelques inconvénients dans le spectre visible. Nous avons acheté une nouvelle paire de lames séparatrice-compensatrice; la séparatrice a été semi-aluminisée. Nous avons donc ainsi la possibilité de choisir les lames adaptées à l'utilisation prévue de l'appareil.

Masses (G. Girard)

Kilogramme prototype N° 44 et autres étalons de 1 kg en platine iridié

La masse du Kilogramme prototype N° 44 (Australie) et celle de l'étalon de 1 kg en platine iridié E59 (National Research Laboratory of Metrology, Japon) ont été déterminées avant et après un nettoyage au benzène et à l'alcool purs suivi d'un lavage sous un jet de vapeur d'eau bidistillée, par comparaison à nos Kilogrammes prototypes d'usage courant N° 9 et N° 31.

Le nettoyage-lavage a provoqué une diminution apparente de masse de

19 μg pour le N° 44
et de 54 μg pour l'étalon E59.

Les valeurs actuelles, après nettoyage-lavage, du Kilogramme prototype N° 44 et de l'étalon E59 et les valeurs précédemment admises pour le N° 44 sont les suivantes (excès sur la valeur nominale) :

	oct. 1946	avril 1964	oct. 1979
N° 44 (Australie)	+ 270 μg	+ 262 μg	+ 283 μg
E59 (NRLM, Japon)			+ 4 872 μg

Nous indiquions (Rapport 1978, p. 37) que Johnson-Matthey proposait de réaliser un alliage de platine iridié suivant une nouvelle technique afin d'améliorer son homogénéité et de permettre un meilleur poli.

Nous avons reçu, en janvier 1980, un lingot de 10 kg d'alliage dont nous avons pu extraire cinq ébauches (JM17 à JM21). Au préalable, le NPL avait prélevé deux ébauches sur ce lingot.

La masse volumique de JM19 a été déterminée par des pesées hydrostatiques effectuées au voisinage de 22 °C. L'eau du robinet du BIPM, bidistillée, a été utilisée

comme étalon ; pour sa masse volumique à 4 °C, on a admis 999,972 kg/m³ et pour sa dilatation thermique, celle qui est donnée par la table de Chappuis. Le résultat suivant a été obtenu :

Cylindre	Masse volumique à 0 °C
JM19	21 535,40 kg/m ³

Comparaison de masses de 1 kg avec le NRLM et le NML

Le National Measurement Laboratory (NML), Australie, étant engagé dans une nouvelle mesure absolue de la masse volumique de l'eau, il lui est apparu souhaitable de s'assurer qu'il déterminait avec la plus grande exactitude des masses ayant une masse volumique très différente de celle du platine iridié. Il a donc été convenu que ce laboratoire nous enverrait pour vérification son Kilogramme prototype N° 44. En même temps, nous déterminerions un étalon de 1 kg en acier inoxydable du BIPM. Ces deux étalons seraient ensuite comparés entre eux au NML.

Le National Research Laboratory of Metrology (NRLM), Japon, qui effectue la même étude sur la masse volumique de l'eau, a accepté de s'associer à une telle comparaison de masses. Les mesures ont été organisées en profitant d'un voyage que G. Girard a effectué à Canberra au début de décembre 1979.

Huit étalons ont participé à ces comparaisons : quatre étalons en platine iridié (N° 9 et N° 31 du BIPM, N° 44 du NML et E59 du NRLM) et quatre étalons en acier inoxydable (N2, N3, U. et J1 du BIPM).

Ces étalons ont été comparés entre eux au BIPM, à l'aide de la balance NBS-2 en septembre-octobre 1979.

En novembre, les étalons E59 et N2 ont été déposés au NRLM et les étalons N° 44 et N3 au NML.

A son retour de Canberra, en décembre 1979, G. Girard a repris, respectivement au NML et au NRLM, les étalons N3 et N2.

Dans le courant du mois de février 1980, des comparaisons retour ont été effectuées entre ces deux étalons et les étalons N° 9, N° 31, U. et J1 restés au BIPM.

Au NRLM, les étalons E59, N2 et deux autres en acier inoxydable ont été comparés entre eux pendant une période qui n'était pas favorable, ce laboratoire étant en déménagement. Des vérifications annexes restent à faire.

Au NML, N3 a été comparé à trois étalons en acier inoxydable ; dès que la meilleure balance de portée 1 kg sera remise en état, ces trois étalons seront comparés au prototype N° 44.

Il faut attendre maintenant la fin des mesures pour en tirer des conclusions.

A noter que depuis cette comparaison nous utilisons au BIPM la formule de calcul de la masse volumique de l'air humide établie par le Groupe de travail 1 sur les masses.

Balances

L'installation de nouveaux passages étanches sur certaines commandes de mouvement de la balance NBS-2 a permis de diminuer l'élévation de la température à l'intérieur de la cloche étanche pendant une pesée et de la ramener d'environ 9 mK à 2 ou 3 mK.

La balance Ruelprecht de portée 1 kg a été expédiée chez Chyo Balance Corporation au Japon au début d'octobre 1979. Profitant de son passage au

NRLM, G. Girard s'est rendu chez ce constructeur pour discuter avec lui de la révision et des modifications que le BIPM souhaite apporter à cette balance.

Pour contrôler le bon fonctionnement des *balances Rueprecht de portée 20 et 50 g*, récemment révisées par Chyo Balance, on a comparé quatre masses, respectivement de 20 et 50 g, dans toutes les combinaisons possibles. Il en ressort que les écarts-types d'une comparaison sont de 1 µg pour la balance de portée 20 g et de 3 à 4 µg pour celle de 50 g.

Enregistrement des oscillations du fléau d'une balance

Avec notre balance hydrostatique, nous avons effectué un premier essai d'enregistrement automatique des oscillations du fléau, afin d'étudier la possibilité de réduire les pesées à partir des données ainsi enregistrées plutôt qu'à partir des élongations maximales et minimales d'un spot lues sur une échelle graduée.

Pour cet essai, nous avons utilisé un suiveur de spot disponible dans le laboratoire et adapté pour fournir une sortie numérique qui est reprise par un enregistreur sur ruban magnétique en cassette. Les résultats des réductions effectuées d'une part à partir des lectures et d'autre part à partir des données enregistrées sont bien cohérents. Après cet essai encourageant, nous avons l'intention de continuer l'étude de cette question et en particulier de choisir le mode de détection du mouvement du fléau le mieux adapté. Les barrettes de photodiodes comportant entre 1 000 et 2 000 éléments pourraient être intéressantes pour cette application.

Balance comportant une suspension flexible de conception nouvelle

Nous avons construit un modèle d'étude de balance symétrique de portée 1 kg comportant une suspension flexible de conception nouvelle. Bien que la balance classique à couteaux fonctionne extrêmement bien et soit un instrument très évolué, il y a quelques raisons de penser qu'une suspension flexible est susceptible de présenter des avantages. Tout d'abord, au niveau microscopique, on ne comprend pas clairement le comportement d'un couteau chargé oscillant sur un plan; ensuite, la construction et la mise au point d'une balance à couteaux sont très difficiles; enfin, dans d'autres domaines où l'on a obtenu des mouvements mécaniques très fins (mesure de la constante réticulaire du silicium et gravimètres, par exemple), on a utilisé des suspensions flexibles.

Les principaux problèmes de conception d'une balance équipée de suspensions flexibles viennent de la difficulté d'encastrer de façon rigide les extrémités d'un ruban flexible. Les modifications microscopiques au point d'encastrement entraînent des modifications dans la longueur effective des bras du fléau. Néanmoins, des balances comportant des suspensions flexibles ont été réalisées avec un certain succès. Dans la plupart des cas, les rubans flexibles étaient relativement longs et on utilisait une disposition en croix de ces rubans afin de réduire l'influence des encastrements.

Un moyen d'éviter ce genre de problèmes est de façonner le fléau et la suspension à partir du même bloc de matériau massif. La difficulté n'est pas insurmontable, en raison d'une propriété des rubans flexibles chargés qui semble avoir été ignorée des chercheurs précédents. La rigidité à la flexion, K , d'un ruban d'épaisseur d , de longueur l et de largeur b , fait d'un matériau de module d'Young E et supportant une charge W est donnée par

$$K = \sqrt{\frac{E \cdot bd^3 \cdot W}{12}} \coth x, \quad \text{avec } x = \sqrt{\frac{12W}{bdE}} \frac{l}{d}.$$

Pour des valeurs de W , b , d , E et l telles que $x \geq 1,5$, on a $\coth x \approx 1$; K devient alors pratiquement indépendant de l . Pour un ruban en acier ou en bronze au béryllium par exemple, dont l'aire de la section droite bd est telle que le ruban puisse supporter plusieurs kilogrammes, on a $\sqrt{12W/bdE} \approx 0,1$; donc pour $x \geq 1,5$ nous devons avoir $l \geq 15 d$. Il n'y a par conséquent aucun avantage à avoir dans une balance de portée 1 kg un ruban flexible d'une longueur supérieure à environ quinze fois son épaisseur. L'épaisseur qui donne une sensibilité raisonnable est environ $40 \mu\text{m}$; par conséquent une longueur de $0,6 \text{ mm}$ est suffisante.

Il n'est pas du tout impossible d'obtenir à partir du matériau massif une lame flexible de $0,6 \text{ mm}$ de longueur seulement et de 15 mm de largeur par exemple. La figure 6 donne le schéma d'une articulation de ce genre conçue pour les suspensions centrale et terminale du modèle d'étude. La suspension est fabriquée à partir d'un bloc de bronze au béryllium. Partant d'un cube de 40 mm d'arête, soigneusement rectifié, les étapes successives de la fabrication sont illustrées sur cette figure. L'ajustage final est effectué sur une rectifieuse de précision avec une meule spécialement profilée.

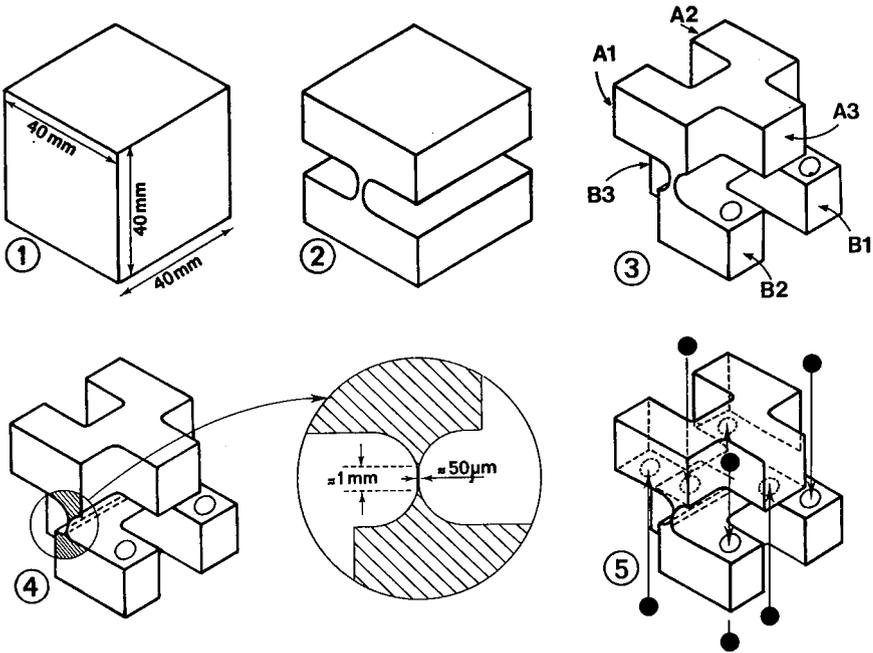


Fig. 6. - Étapes successives de la fabrication d'un bloc de suspension.

Dans l'étape finale de l'usinage du ruban flexible mince, les faces A1, A2, A3 et B1, B2, B3 servent de surfaces de référence.

Le bloc de suspension terminé est monté en utilisant deux liaisons cinématiques comprenant six billes en bronze au béryllium, reposant chacune sur un trou conique, une rainure ou un plan. Pour l'articulation centrale du fléau, trois billes sont utilisées pour fixer le bloc de suspension sur la base et les trois autres pour fixer le fléau sur le bloc de suspension. Les articulations des suspensions terminales sont

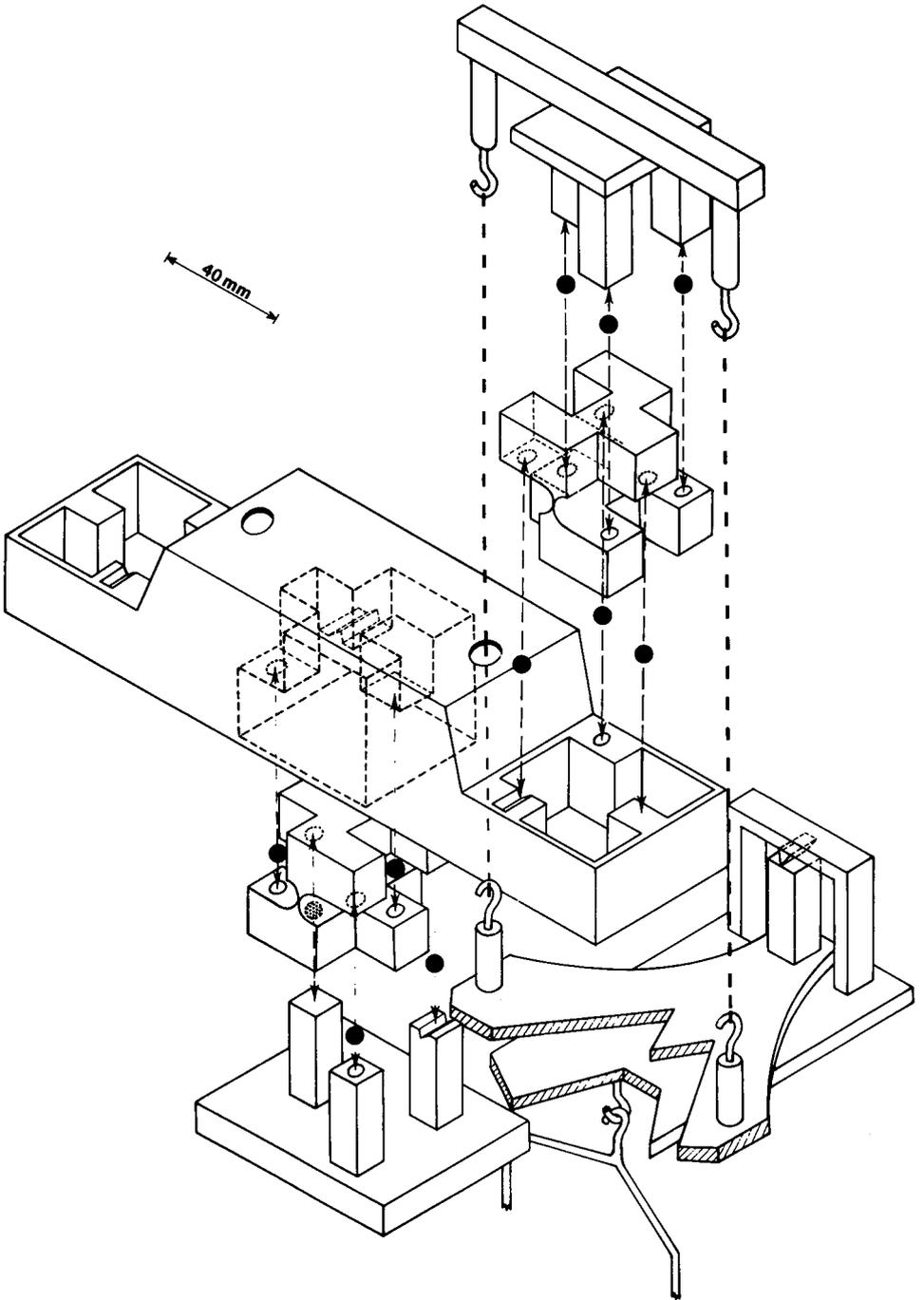


Fig. 7. - Vue éclatée d'ensemble d'un modèle de balance comportant des suspensions flexibles.

identiques sauf que leur rigidité est réduite en réduisant à la fois b et bien entendu W (voir fig. 7).

Pour attacher les plateaux aux blocs de suspension terminaux, il est nécessaire de disposer d'articulations supplémentaires dirigées vers le bas. Le montage indiqué sur la figure est provisoire.

A l'heure actuelle, la balance est montée et porte deux kilogrammes en acier inoxydable; des essais préliminaires sur le fonctionnement de la suspension vont bientôt commencer. Nous avons l'intention d'ajouter un asservissement du fléau en utilisant une détection interférentielle et une commande électromagnétique. Si ces essais préliminaires s'avèrent encourageants, nous avons l'intention de construire un fléau complet et sa suspension en bronze au béryllium. L'un des buts éventuels serait de construire une balance dont les blocs de suspension soient interchangeables; on pourrait alors les choisir selon les masses à comparer et utiliser une seule et même balance pour une large série de masses.

Les idées mises en œuvre dans la balance que l'on vient de décrire résultent de recherches préliminaires effectuées par T. J. Quinn lorsqu'il était encore au NPL à Teddington. Une balance dont la totalité du fléau et l'articulation centrale flexible sont faites d'une seule pièce est actuellement en cours de construction au NPL. L'utilisation au BIPM de trois articulations flexibles séparées constitue une amélioration dans la mesure où elle simplifie la construction du fait que les trois articulations flexibles peuvent être construites de la même façon.

Fabrication des étalons de masse en platine iridié

Un progrès important a été fait dans la mise au point d'une méthode de fabrication et d'ajustage des masses en platine iridié; cette méthode n'utilise que l'usinage à l'outil à pointe de diamant. Dans le rapport de 1979 (p. 34), nous avons dit que le poli ainsi obtenu serait sans doute suffisamment bon pour qu'il ne soit pas nécessaire de le parfaire avec un abrasif. Le tour « Hardinge Super Precision » livré en juin 1979 a été équipé (octobre 1979) d'un dispositif numérique de visualisation de cotes. Ce dispositif nous donne sur la position de l'outil une reproductibilité de $\pm 1 \mu\text{m}$ dans la direction transversale et $\pm 5 \mu\text{m}$ dans la direction longitudinale. Les paramètres d'usinage et la forme de l'outil nécessaire pour obtenir un poli spéculaire sont très critiques. Peu d'information était disponible au début de ce travail; nous sommes en effet pratiquement les seuls à nous intéresser au problème de l'usinage du platine iridié. Comme dans tous les processus d'usinage, la vitesse de coupe, la forme de l'outil, son orientation par rapport à la pièce en cours d'usinage et la vitesse d'avance dépendent des propriétés mécaniques du matériau à travailler. Néanmoins, les conseils de Johnson-Matthey nous ont bien aidés en ce qui concerne le type de lubrifiant qui convient pour l'usinage du platine et de ses alliages (une huile synthétique soluble dans l'eau). Les outils à diamant ont été choisis dans la gamme disponible chez « Diamant Boart Serod France » que nous remercions pour leurs conseils. Nous sommes maintenant capables d'obtenir, sans difficulté, un poli spéculaire sur une surface cylindrique et aussi sur une surface plane de platine iridié, directement par usinage au diamant, à condition de respecter étroitement les valeurs que nous avons déterminées pour les paramètres précédemment mentionnés.

La fabrication d'un étalon de masse de 1 kg n'est cependant pas simplement une question d'usinage. Il faut aussi pouvoir ajuster sa masse à mieux que 1 mg près. Usiner un cylindre droit pour obtenir à la fois la masse prévue et un poli spéculaire sur toute la surface demande beaucoup de soin. La méthode que nous avons développée exige d'abord que la broche du tour permette le montage et le

démontage du cylindre en platine iridié sans abîmer la surface usinée et avec une reproductibilité de la position de son axe de rotation meilleure que $10\ \mu\text{m}$. Cette dernière condition est nécessaire parce que l'ajustage de la masse du cylindre est effectué par l'usinage de chanfreins. Après chaque passe, la masse qui reste à enlever est déterminée par pesée; la profondeur de coupe nécessaire, que l'on peut alors calculer, ne sera valable que si l'axe de rotation du cylindre reste le même. Nous avons essayé cette méthode à plusieurs reprises; jusqu'à maintenant, le meilleur résultat que nous ayons obtenu est l'ajustage d'une masse de $600\ \text{g}$ à $10\ \text{mg}$ près. Nous avons maintenant installé à l'atelier une balance Mettler de portée $1\ \text{kg}$ et de résolution $0,1\ \text{mg}$ qui facilitera l'ajustage final. A l'heure actuelle, nous avons préparé plusieurs cylindres de $1\ \text{kg} + 150\ \text{mg}$. Le travail continue.

Fraction molaire de CO_2 dans l'air

L'analyseur de CO_2 à infrarouge permet de déterminer la fraction molaire x de ce gaz dans l'air et d'en tenir compte dans le calcul de la masse volumique de l'air lors des pesées. On sait qu'une augmentation de $0,000\ 1$ de cette fraction molaire entraîne une variation de la correction de poussée de l'air d'environ $5\ \mu\text{g}$ dans une comparaison entre des étalons de $1\ \text{kg}$, l'un en platine iridié et l'autre en acier inoxydable.

L'utilisation de cet appareil nous a permis d'adopter $0,000\ 55$ comme valeur moyenne de la fraction molaire de CO_2 dans l'air de la salle des balances.

Bien que le volume de cette salle soit supérieur à $500\ \text{m}^3$, la présence de visiteurs peut accroître sensiblement la fraction molaire de CO_2 (fig. 8).

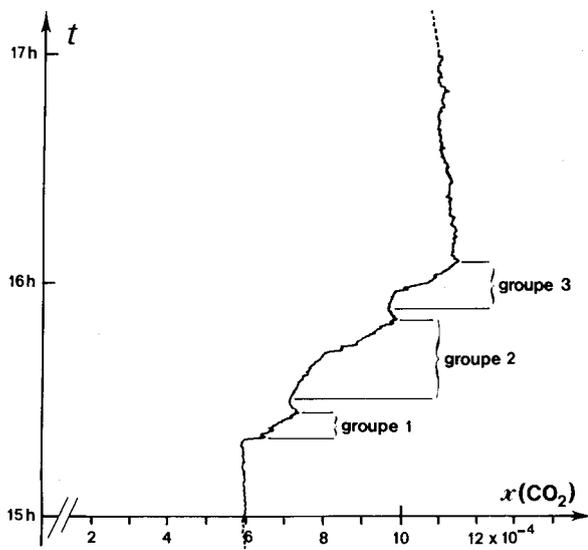


Fig. 8. — Enregistrement de la variation de la fraction molaire de CO_2 due à la visite de la salle des balances par une trentaine de personnes réparties en trois groupes, à l'occasion de la 16^e CGPM (9 octobre 1979).

Nous avons entrepris de mesurer la fraction molaire de CO_2 dans l'air de la cour du BIPM pendant une longue période. La figure 9 représente les premiers résultats obtenus.

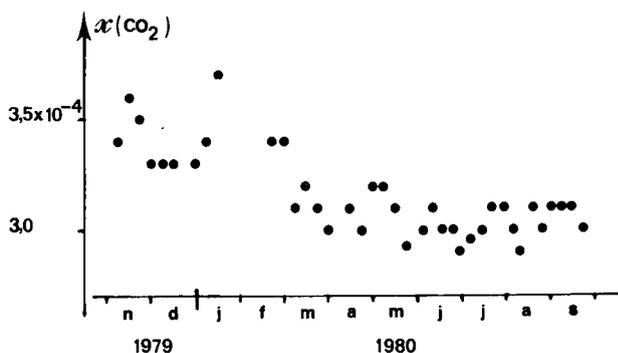


Fig. 9. - Variation de la fraction molaire x de CO_2 dans l'air de la cour du BIPM.

Études courantes et divers

- Détermination de la masse d'un étalon de 1 kg, K01, en acier inoxydable (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, République Argentine).

- Nouvelle détermination de la masse des deux étalons de 1 kg (INM2 et INM4) de l'Institut National de Métrologie (Paris) en dépôt au BIPM (Rapports 1977, p. 32 et 1979, p. 34).

- Détermination de la masse d'une pièce de 10 g en acier inoxydable (Office Fédéral de Métrologie, Suisse).

- Détermination de la masse volumique d'un échantillon d'eau du robinet du BIPM pour l'étalonnage d'un densimètre à boucle vibrante utilisé à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris) par A. Poisson dans ses travaux sur l'eau de mer.

- Détermination de la masse de trois pièces de 100, 10 et 1 mg en platine (Service des Instruments de Mesure, France).

Pour les besoins du BIPM :

- Détermination de la masse volumique des deux étalons de 1 kg en acier inoxydable (25 % Ni, 20 % Cr) achetés à Chyo Balance Corporation (Rapport 1979, p. 34). En partant des mêmes bases que pour la masse volumique de JM19 (voir ci-dessus p. 40), on a obtenu les résultats suivants :

Étalon	Masse volumique à 0 °C
J2	8 005,54 kg/m ³
J3	8 005,51 kg/m ³

La masse de ces étalons sera déterminée périodiquement pour s'assurer de sa stabilité.

- Nouvelle détermination de la masse des six séries de 100 à 1 mg en monel utilisées à la balance NBS-2 et des subdivisions du milligramme (A11, A12 et A13).

Achats effectués :

- une balance Mettler H315 de portée 1 kg (résolution 0,1 mg);

- plusieurs petites masses en monel;

- un ultrathermostat et un plongeur réfrigérant Colora pour la régulation de température du bain hydrostatique;

- un capteur de pression (spirale de quartz) pour la jauge de pression Texas Instruments utilisée à la salle des balances, (étendue de mesure 0 à 150 kPa).

Réunion sur les mesures de force

A la suite des réponses reçues au questionnaire sur les mesures de force envoyé en avril 1979 par le BIPM, celui-ci a organisé une réunion de spécialistes qui s'est tenue les 18 et 19 mars 1980 au Pavillon de Breteuil. Lors de cette réunion, on a constitué un Groupe de travail chargé de rassembler les renseignements sur les comparaisons internationales effectuées jusqu'ici, d'en évaluer les résultats et de rédiger un document qui serve de base aux comparaisons futures que le BIPM organisera. On a en outre envisagé un programme à long terme de comparaisons entre laboratoires pilotes de secteurs géographiques différents.

Échelles de Temps (J. Azoubib)

Travaux courants

Le travail courant pour établir le *Temps Atomique International* (TAI) a très peu changé depuis la 8^e session du CCDS (avril 1977).

Le LORAN-C et la télévision publique, associés aux transports d'horloges, restent les principaux systèmes qui permettent d'utiliser effectivement les données des horloges ; la zone de couverture utile est toujours limitée à l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Afrique du Nord. A l'intérieur de cette zone, quelques laboratoires supplémentaires sont venus coopérer avec le BIH. Les sources de données pour l'établissement du TAI se présentent ainsi (janvier-février 1980) :

Nombre de laboratoires participants	24
Nombre d'horloges participantes	
horloges commerciales	103
horloges de laboratoire	6
Nombre d'étalons de fréquence participants	3

Les horloges de laboratoire sont NBS-4, NRC Cs V, NRC Cs VI A, B et C, PTB CS1 ; les étalons de fréquence sont NBS-6, NRC Cs V et PTB CS1.

On rappelle, en particulier, que les liaisons horaires ne permettent pas encore d'utiliser les données de grands laboratoires de l'URSS et du Japon.

La gestion de l'échelle de *Temps Universel Coordonné* (UTC) n'a donné lieu à aucune difficulté. Une seconde intercalaire positive a été introduite à la fin de chaque année depuis 1972 mais il se pourrait qu'il n'y en ait pas à la fin de 1980 car la durée du jour a décré de 0,4 ms en octobre 1979.

Stabilité et exactitude du TAI

Le pilotage du TAI prévu par la Recommandation S 1 (1977) du CCDS a été mis en œuvre dès avril 1977 ; il a été poursuivi avec le concours du Groupe de travail du CCDS, créé selon cette Recommandation. Dans les Rapports de 1978 (tableau I, p. 40) et de 1979 (p. 37), nous avons donné les différences de fréquences normées entre l'Échelle Atomique Libre (EAL) et le TAI jusqu'à octobre 1978. La suite de ce tableau se présente ainsi :

novembre 1978 - juin 1979	$f(\text{EAL}) - f(\text{TAI}) = 9,0 \times 10^{-13}$
juillet 1979 - août 1979	8,8
septembre 1979 - octobre 1979	8,6
novembre 1979 - ...	8,4

Les problèmes rencontrés concernent deux points importants.

Le premier est relatif aux écarts systématiques entre l'EAL d'une part et les horloges primaires et étalons primaires d'autre part. Une décroissance progressive de la fréquence de l'EAL mise en évidence en 1973 par G. Becker au moyen de l'étalon PTB CS1, confirmée par d'autres étalons primaires, se poursuit actuellement. Cette dérive présente une pente moyenne (calculée sur 10 ans) de $-0,55 \times 10^{-13}/a$. Elle est attribuée à la tendance des horloges commerciales à dériver toutes dans le même sens, mais la raison de cette tendance n'est pas connue. Les corrections de pilotage appliquées à l'EAL compensent cette dérive.

Le second point est lié à l'existence de fluctuations saisonnières de la différence de fréquence entre le TAI (et l'EAL) et les étalons de fréquence, avec une amplitude de $0,5$ à 1×10^{-13} . Les considérations statistiques, à elles seules, ne permettent pas de déterminer la source de ces fluctuations. On peut exclure, comme origine unique, les comparaisons de temps, mais on ignore s'il faut incriminer les horloges de laboratoire ou les instruments commerciaux. Pour élucider ce problème et éventuellement améliorer l'EAL, le BIH a demandé à tous les laboratoires participants des informations sur les conditions d'exploitation des horloges. Nous avons l'intention de calculer une échelle libre à titre expérimental, en n'utilisant que les horloges les mieux protégées contre les perturbations extérieures.

Dans l'état actuel du calcul du TAI, l'existence des variations saisonnières, quelle qu'en soit la cause, et aussi la dérive de fréquence de l'EAL rendent difficile le pilotage du TAI, car on hésite encore à extrapoler ces effets systématiques. D'autre part, une pondération équitable des horloges est impossible. Un essai d'augmentation du poids maximal (qui passait de 100 à 500), dans l'algorithme de stabilité ALGOS conduisait à diminuer l'influence des horloges de laboratoire et à augmenter la dérive de l'EAL.

Algorithmes de stabilité

L'algorithme ALGOS n'a pas été modifié, à l'exception de quelques améliorations techniques.

Nous avons recherché sur des simulations l'influence des retraits et introductions d'horloges sur la stabilité d'une échelle de temps. Nous avons aussi déterminé, en fonction de la méthode de prédiction des marches, les valeurs du temps d'échantillonnage pour lesquelles la stabilité est la plus améliorée.

Dans le cas où il existe des variations de fréquence non aléatoires et non modélisées, l'influence de l'algorithme peut être importante.

Ces travaux font l'objet de deux documents soumis à la 9^e session du CCDS (septembre 1980).

Liaison horaire par satellite

Notre participation à la liaison horaire entre le Canada et la France par le satellite géostationnaire Symphonie a principalement consisté à faire le calcul final de UTC(NRC) – UTC(OP), à partir des résultats des liaisons intermédiaires fournis par le NRC et le LPTF, et à discuter la précision et l'exactitude. Des études de la stabilité relative de TA(USNO), TA(F) et des échelles produites par les horloges NRC Cs V et PTB CS1, depuis 1978, ont montré que l'on obtenait des résultats meilleurs en utilisant la liaison transatlantique par Symphonie au lieu de la liaison par LORAN-C. Aussi avons-nous publié dans le Rapport Annuel du BIH pour

1979 des valeurs TAI – TA(j) et UTC – UTC(j) fondées sur Symphonie alors que celles des circulaires « D » étaient fondées sur le LORAN-C. Les écarts entre les deux séries de résultats ne dépassent pas 0,20 μ s.

Gravimétrie (A. Sakuma)

Gravimètre absolu transportable BIPM-Jaeger

Après les succès obtenus avec le premier prototype de gravimètre absolu transportable, construit en collaboration avec l'IMGC (Rapport 1973, p. 51) et mis en service en 1976 (Rapports 1976, p. 50 et 1979, p. 38), le BIPM a poursuivi ses travaux en vue d'améliorer encore l'exactitude et la facilité d'utilisation d'appareils de ce genre.

Parmi les diverses modifications proposées (Rapport 1978, p. 41), la plus importante concerne la méthode de mesure. Dans le premier prototype, on utilise deux stations de mesure, une station basse et une station haute, et on détermine les instants de passage en ces stations d'un mobile (trièdre trirectangle) lancé verticalement par une catapulte, au cours de son mouvement libre ascendant puis descendant. Dans la nouvelle méthode, on utilise de même le mouvement ascendant puis descendant d'un trièdre le long d'une trajectoire verticale, mais l'observation continue de la position de ce trièdre (par comptage des franges d'interférence obtenues dans un interféromètre à laser) est utilisée pour définir un grand nombre de stations équidistantes; au moyen d'une horloge à haute résolution, on détermine les instants de passage du trièdre en ces stations. La grande quantité d'information disponible est mémorisée et traitée par un microprocesseur incorporé à l'appareil : on obtient en particulier la valeur de g qui s'adapte le mieux aux observations.

La construction d'un appareil utilisant cette méthode de mesure et bénéficiant de plusieurs autres améliorations a été réalisée en collaboration avec les États Jaeger (France) qui avaient reçu en mars 1978 du Geographical Survey Institute (GSI), Tsukuba, une première commande d'un gravimètre absolu transportable (Rapport 1979, p. 39).

Après une discussion approfondie entre le BIPM et les États Jaeger, il avait été décidé de construire au moins deux gravimètres comportant les améliorations proposées par le BIPM. Le premier, qui a permis de satisfaire la commande du Japon, a été livré en mars 1980 (fig. 10); le second, destiné au BIPM, devrait être disponible à la fin de 1980. Une présentation détaillée des résultats obtenus et une discussion des qualités de ces appareils seront données dans un prochain Rapport. Néanmoins, nous donnons ci-dessous les grandes lignes des améliorations qui ont résulté des travaux du BIPM et qui concernent la construction mécanique, l'interféromètre, le laser et la méthode de mesure.

Tout en conservant les principes de fonctionnement du premier prototype, la *construction mécanique* a été réalisée de façon plus soignée. La longueur utile maximale de la trajectoire a été portée de 0,30 m à 0,45 m. Une vanne à tiroir permet le transport de l'appareil sans qu'il soit nécessaire de rompre le vide. La construction en profilé d'alliage léger du bâti support de l'interféromètre apporte une importante diminution du poids. L'armement de la catapulte (manuel sur le prototype) a été confié à un système électromécanique et pneumatique supervisé par le microprocesseur. La seule intervention manuelle nécessaire qui subsiste concerne l'orientation du trièdre mobile; elle est réalisée par l'intermédiaire d'un moteur électrique.

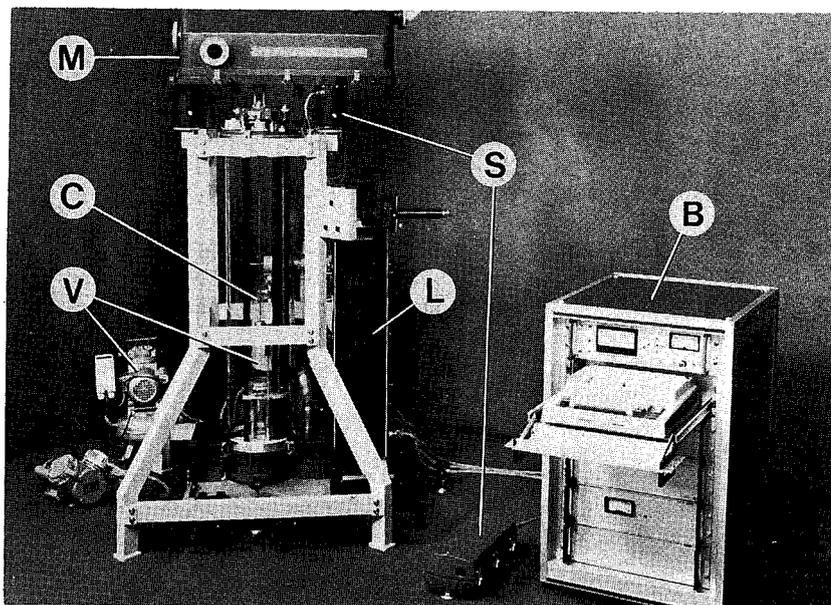


Fig. 10. – Vue générale du gravimètre absolu transportable BIPM-Jaeger en état de marche.

Masse totale 350 kg; dimensions approximatives : hauteur 1,8 m, largeur 1 m, profondeur 1 m. Cet appareil comprend six parties principales : L, laser asservi sur une raie d'absorption saturée de l'iode 127 ; M, interféromètre de Michelson dans son caisson étanche; C, catapulte et système de réception du trièdre dans leur caisson à vide; B, baie des appareils de mesure, du microprocesseur, de l'imprimante; S, sismomètre et supports piézoélectriques pour la compensation des vibrations mécaniques de l'interféromètre; V, pompes à vide.

Dans l'interféromètre, un petit trièdre escamotable peut être introduit sur le faisceau du laser, derrière la lame séparatrice; cela permet d'ajuster interférentiellement sur bain de mercure la verticalité du faisceau de mesure. Toujours avec le souci de garder l'enceinte sous vide, les points d'appui réglables de l'un des miroirs de renvoi ont été remplacés par des cales piézoélectriques; cela permet d'effectuer de l'extérieur le réglage fin de la teinte plate. L'équilibrage du sismomètre est effectué, de l'extérieur également, au moyen d'un petit moteur électrique; on peut bloquer ce sismomètre pour le transport de l'appareil.

Le laser qui équipe le gravimètre BIPM-Jaeger est un laser à He-Ne asservi sur l'absorption saturée de l'iode à $\lambda = 633$ nm, identique à ceux du BIPM décrits précédemment ⁽³⁾.

En raison des difficultés croissantes d'approvisionnement auprès des sociétés commerciales, nous avons entrepris la mise au point d'un tube laser, de qualité métrologique. Il est constitué d'une ampoule en pyrex, de forme cylindrique, de 30 mm de diamètre (fournie par les États Jaeger) qui contient une cathode froide en aluminium pur et un capillaire de 240 mm de longueur et de 1,4 mm de diamètre; les fenêtres (Spectra-Physics), à l'angle de Brewster, présentent une bonne qualité

⁽³⁾ CHARTIER (J.-M.) et AVRONS (D.), Principes technologiques. *PTB-Bericht Me-17*, 1977, pp. 13-31.

optique et sont fixées sur le capillaire à l'aide d'une colle souple (opération effectuée au BIPM). Ce tube ayant les mêmes dimensions que les tubes commerciaux utilisés jusqu'à présent dans les lasers du BIPM, nous avons utilisé le même mélange gazeux dont la composition a été déterminée antérieurement (Rapport 1979, p. 28). Le tube, ainsi construit, a fonctionné normalement de septembre 1979 à juillet 1980.

Ce laser, qui délivre une puissance utile de 200 μW , peut être asservi sur l'une quelconque des quatre composantes de structure hyperfine (d, e, f, g) de la raie R(127) de l'iode 127.

En ce qui concerne l'électronique d'asservissement, la seule modification par rapport aux lasers du BIPM est le récepteur : au lieu du récepteur ENL, type SDA004 qui n'est plus fabriqué, nous utilisons un récepteur RCA, type C30816 de caractéristiques presque identiques.

La nouvelle *méthode de mesure*, dite « méthode des stations multiples », utilise une horloge au rubidium dont la stabilité est de 3×10^{-11} par mois et un chronomètre, mis au point au BIPM, qui transmet au microprocesseur la valeur du temps t , déterminée avec un écart-type de 120 ps, chaque fois que le trièdre passe à une station. L'équidistance entre les stations étant égale à 2 048 demi-longueurs d'onde de la radiation du laser utilisé, pour une hauteur de chute de 0,40 m, environ $n = 1\,250$ valeurs de t sont finalement disponibles.

Moyennant certaines hypothèses (variation linéaire de g en fonction de l'altitude, force de freinage due à l'air résiduel proportionnelle à la vitesse du trièdre, absence de composante horizontale de cette vitesse), la cote z du trièdre par rapport au sommet de la trajectoire peut être exprimée par un développement polynomial du quatrième degré en $t - t_s$ (sans terme constant ni terme du premier degré), t_s étant l'indication (inconnue) du chronomètre à l'instant où le trièdre atteint le sommet de sa trajectoire. La valeur g_s de g en ce point, le gradient γ de g et le quotient φ de la force de freinage par la masse du trièdre et par sa vitesse constituent, avec t_s , les quatre paramètres qui figurent dans l'expression de z . Si l'on tient compte du fait que seule l'équidistance entre les stations est connue et non leur cote exacte z , on voit que l'on doit introduire deux nouveaux paramètres z_1 et z_2 qui sont par exemple les cotes par rapport au sommet de la dernière station à la montée et de la première station à la descente. Ce sont donc finalement six paramètres qu'il faut ajuster d'après les données expérimentales, c'est-à-dire d'après les n couples de valeurs $(t, z - z_1)$ ou $(t, z - z_2)$.

Les valeurs de départ, déterminées au moyen des données correspondant à un nombre non surabondant de stations, sont suffisamment précises pour que deux itérations soient suffisantes.

Les résultats préliminaires obtenus au GSI avec ce gravimètre semblent être satisfaisants. Les valeurs moyennes correspondant à des séries de dix à quinze mesures (durée 1 h environ) concordent avec la moyenne générale à $\pm 3 \times 10^{-9}$ près en valeur relative. La valeur trouvée pour l'accélération due à la pesanteur au GSI concorde à $0,4 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ près avec la valeur admise d'après le Réseau Gravimétrique International Unifié (IGSN-71).

Station gravimétrique de Mizusawa

Depuis 1972, le BIPM a poursuivi sa collaboration avec l'International Latitude Observatory, Mizusawa, Japon, en vue de la fondation d'une station permanente de mesure absolue de l'accélération due à la pesanteur. En 1978, au cours de la construction des appareils de cette station, ceux-ci ont été endommagés ou déréglés par deux tremblements de terre de forte intensité (magnitude 6,8 le 20 février et 7,4 le

12 juin 1978). A la fin de 1979, ces appareils étaient remis en état et, au début de 1980, on a réussi à faire une première série de mesures absolues de l'accélération due à la pesanteur.

Cette station est la première station permanente de gravimétrie absolue après celle du BIPM. De telles stations, bien réparties sur le Globe terrestre, permettront non seulement d'étudier les variations géodynamiques séculaires mais aussi d'assurer le fonctionnement et d'étalonner les gravimètres transportables des divers types.

Thermométrie (J. Bonhoure)

L'étude des points triples de l'argon et du méthane a, cette année encore, constitué l'activité essentielle de cette section : d'une part, on a participé à une comparaison internationale de cellules scellées considérées comme étalons de transfert de température ; d'autre part, on a poursuivi le développement d'un étalon de transfert de pression à partir d'une cellule à point triple de l'argon (*voir* p. 56).

On a aussi examiné l'effet de l'oxydation du platine sur la réponse du thermocouple platine/platine rhodié au voisinage de 800 °C et commencé les premières mesures de comparaison entre 419 °C et 630 °C par pyrométrie infrarouge.

Échelle Internationale Pratique de Température

Comparaison internationale de cellules scellées. — Lors de sa 12^e session (mai 1978), le Comité Consultatif de Thermométrie avait décidé la réalisation d'une comparaison internationale de cellules scellées au point triple de différents gaz (argon, oxygène, hydrogène, néon, méthane) avec l'IMGC (Italie) comme laboratoire pilote chargé de l'organisation. Le BIPM a participé à cette comparaison, d'abord en mettant en circulation une cellule de méthane de sa fabrication, ensuite en étudiant toutes les cellules d'argon et de méthane qui lui étaient envoyées. La comparaison n'est pas terminée : il n'est donc pas possible d'en donner ici les résultats complets qui, d'ailleurs, seront présentés d'abord à un prochain CCT par le laboratoire pilote. On peut cependant indiquer les résultats des mesures effectuées au BIPM.

Au point triple de l'argon, on a comparé six cellules, toutes d'origines différentes ; pour chaque cellule, on a réalisé trois paliers de température (cinq pour la cellule du BIPM) et on a utilisé deux thermomètres (T226321 et T226322). Dans le tableau I, on donne les résultats sous la forme de la résistance réduite du thermomètre dans des conditions comparables : intensité de courant électrique nulle dans le thermomètre, équilibre entre les phases solide et liquide de l'argon tel que la fraction liquide soit égale à l'unité. En revanche, aucune correction hydrostatique pour tenir compte de la position du thermomètre par rapport à l'interface liquide-vapeur de l'argon n'a été appliquée.

La reproductibilité d'un palier de température étant de l'ordre de 0,1 à 0,2 mK., le tableau I montre un excellent accord entre les six cellules scellées, c'est-à-dire entre six réalisations différentes du point triple de l'argon. Ce résultat est remarquable pour des cellules ayant toutes des caractéristiques différentes : dimensions géométriques, constitution de l'enveloppe (acier inoxydable, cuivre), mode de nettoyage, conditions de remplissage, origine et pureté du gaz, etc.

Au point triple du méthane, on a effectué les mesures dans des conditions tout à fait analogues, mais avec quatre cellules seulement dont deux appartenant au

TABLEAU I

*Résistances réduites de deux thermomètres
dans six cellules scellées à point triple de l'argon*

Une unité de la septième décimale correspond à 23 μ K environ

Date	Cellule	T226321	T226322	Moyenne **
nov. 1979	INM-1	0,216 039 9	0,216 071 9 071 7	0,216 071 7
déc.	NRLM-1	0,216 040 1	0,216 072 3 071 7	0,216 071 9
déc.	IMGC-2	0,216 039 8	0,216 071 9 072 2	0,216 071 8
fév. 1980	NBS-M1	0,216 040 7	0,216 070 9 071 2	0,216 071 5
mars	NRC-10	0,216 040 1	0,216 071 0 071 3	0,216 071 3
janv.	BIPM-3*	0,216 038 8 039 4 039 4	0,216 072 1 071 5	0,216 071 2
Moyenne générale		0,216 039 8	0,216 071 6	

* Cette cellule ne circule pas entre les laboratoires.

** Moyenne des résistances réduites des deux thermomètres; on a corrigé de + 0,000 031 8 les valeurs obtenues avec le thermomètre T226321 pour faire coïncider les deux moyennes générales.

TABLEAU II

*Résistances réduites de deux thermomètres
dans quatre cellules scellées à point triple du méthane*

Une unité de la septième décimale correspond à 23 μ K environ

Date	Cellule	T226321	T226322
fév. 1980	NRC-18	0,245 935 4	0,245 966 5 966 7
mars	IMGC-12	0,245 935 935	
avril	BIPM-6*		0,245 970 3 970 3
avril	BIPM-7	0,245 939 5	0,245 970 6 970 4

* Cette cellule ne circule pas entre les laboratoires.

BIPM. Les résultats sont moins satisfaisants que pour l'argon. Le tableau II montre en effet une différence systématique de 0,9 mK entre les deux cellules appartenant au BIPM d'une part et les cellules appartenant au NRC et à l'IMGC d'autre part. Cette différence provient pour l'essentiel, semble-t-il, d'une évolution des cellules du BIPM de l'ordre de 0,7 mK entre novembre-décembre 1978, date des précédentes mesures, et mars-avril 1980. Des recherches sont en cours pour expliquer cette évolution : on a, en particulier, vérifié que le « vieillissement » du méthane dans l'acier inoxydable n'était pas en cause.

Comparaison de thermocouples platine/platine rhodié chemisés et non chemisés. — On a comparé des thermocouples dont les fils sont maintenus en atmosphère inerte (argon) dans une gaine en platine rhodié à des thermocouples classiques montés avec des gaines en alumine non étanches. Le but était de vérifier si l'oxydation des fils modifiait ou non la réponse des thermocouples.

Après recuit des thermocouples, puis étalonnage à 630 °C et aux points de congélation de l'argent et de l'or, on a comparé les thermocouples chemisés et non chemisés au voisinage de 800 °C ; c'est en effet à cette température que l'écart entre la température thermodynamique et la température dans l'échelle du thermocouple (EIPT-68) est maximal. Les comparaisons n'ont fait apparaître aucun écart de température susceptible de mettre en évidence l'effet d'oxydation recherché.

Point triple de l'eau. — Il est devenu habituel d'utiliser le contrôle du R_0 des thermomètres à résistance de platine dans plusieurs cellules à point triple de l'eau pour comparer les cellules entre elles.

Le BIPM dispose de cellules d'origines différentes : cellules commerciales de fabrication américaine (N^{os} 759, 767 et 768), cellules fabriquées à l'IMGC et gracieusement cédées au BIPM (N^{os} 17 et 18), cellules fabriquées au NPL (N^{os} 52 et 53).

L'écart observé entre deux cellules est donné ci-dessous en millikelvins et on a indiqué entre parenthèses le nombre de valeurs utilisées pour le calcul de la moyenne.

$$\begin{aligned}(\text{N}^\circ 759) - (\text{N}^\circ 53) &: + 0,18 \pm 0,10 (12) \\(\text{N}^\circ 767) - (\text{N}^\circ 52) &: + 0,12 \pm 0,07 (20) \\(\text{N}^\circ 768) - (\text{N}^\circ 52) &: + 0,11 \pm 0,10 (8) \\(\text{N}^\circ 759) - (\text{N}^\circ 18) &: - 0,02 \pm 0,08 (9) \\(\text{N}^\circ 768) - (\text{N}^\circ 17) &: + 0,03 \pm 0,05 (21)\end{aligned}$$

En calculant la moyenne pondérée selon l'inverse du carré des écarts-types, on peut résumer les résultats sous la forme :

$$\begin{aligned}(\text{É.-U. d'Amérique}) - (\text{Royaume-Uni}) &: + 0,13 \pm 0,05 \\(\text{É.-U. d'Amérique}) - (\text{Italie}) &: + 0,02 \pm 0,04\end{aligned}$$

On constate ainsi que les cellules américaines et les cellules italiennes sont en parfait accord, tandis que les cellules anglaises semblent s'en écarter très légèrement. Toutefois, le point triple de l'eau reste matérialisé à 0,1 mK près par les trois types de cellules.

Études courantes

L'activité s'est limitée à la vérification de thermomètres à résistance de platine appartenant au BIPM et utilisés dans différentes sections.

Manométrie (J. Bonhoure)

Instrument de transfert de pression

Dans le Rapport de 1979 (p. 42), on indiquait les difficultés rencontrées lors de la réalisation d'un instrument de transfert de pression à partir d'une cellule à point triple de l'argon. Les fluctuations de pression observées semblaient provenir des variations de température de la phase gazeuse placée, pour sa quasi-totalité, dans un réservoir situé en dehors du cryostat. On a donc supprimé ce réservoir et on a reconstruit un instrument de transfert de pression à partir d'une cellule de type scellée. Dans la nouvelle réalisation, il n'y a plus en dehors du cryostat qu'une courte canalisation de faible section, indispensable pour assurer la liaison entre la cellule et le capteur différentiel.

Le système réalisé ne comporte pas d'échangeur de température et n'est donc plus rigoureusement adiabatique : il existe un petit flux de chaleur constant le long de la canalisation dont les extrémités sont l'une à 293 K et l'autre au voisinage de 84 K. Le palier de pression, ainsi d'ailleurs que le palier de température, se réalise naturellement, sans apports de chaleur par chauffage électrique. Les premiers résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants et fournissent la valeur $(68\,890 \pm 1,5)$ Pa pour la pression du point triple de l'argon.

Si cet instrument de transfert de pression donne satisfaction, il est cependant beaucoup trop compliqué pour être transporté facilement d'un laboratoire à un autre et servir à des comparaisons de manobaromètres ; on envisage donc de le simplifier considérablement. On doit pouvoir réaliser un instrument, peut-être un peu moins précis mais vraiment pratique, en plongeant directement la cellule contenant l'argon dans un bain d'azote liquide. Après un refroidissement suffisant de la cellule, la mise sous pression du bain d'azote liquide pour élever sa température à une température très légèrement supérieure à celle du point triple de l'argon doit permettre l'observation du palier de pression. On supprimerait ainsi tout le matériel nécessaire soit à l'introduction d'un gaz d'échange thermique (hélium) dans le cryostat, soit au maintien sous vide du cryostat. C'est dans cette direction que nous allons poursuivre nos efforts.

Études courantes

— Contrôles fréquents de l'étalonnage de la jauge de pression MKS Baratron qui est utilisée à la section des masses.

— Examen rapide de la stabilité d'une jauge Garrett qui nous a été obligeamment prêtée par les États Jaeger (Levallois, France) et qui pourrait peut-être remplacer avantagusement la jauge MKS.

Électricité (G. Leclerc, T. Witt)

Comparaisons de représentations nationales de l'ohm

Rattachement de Ω_{NPRL} à $\Omega_{69\text{-BI}}$ — Le résultat de la comparaison des étalons voyageurs du NPRL (Afrique du Sud) aux étalons de référence du BIPM (Rapport 1979, p. 43) a été le suivant

$$\text{au 15 août 1979 : } \Omega_{\text{NPRL}} = \Omega_{69\text{-BI}} + 0,44 \mu\Omega.$$

Rattachement de Ω_{IMM} à $\Omega_{69\text{-BI}}$ — Ce rattachement n'avait pas eu lieu depuis 1973. Deux étalons de 1Ω ont été apportés au BIPM ; les mesures sont en cours.

Comparaison internationale d'étalons de 1 Ω. — Bien que le Comité Consultatif d'Électricité ait décidé (14^e session, mai 1975) d'interrompre les comparaisons triennuelles des étalons nationaux de résistance (et de force électromotrice), le BIPM continue d'effectuer des comparaisons périodiques pour les laboratoires qui le souhaitent. Une comparaison d'étalons de 1 Ω a eu lieu entre le 12 novembre 1979 et le 15 février 1980, à laquelle ont participé dix laboratoires : NRC (Canada), LCIE (France), IEN (Italie), ETL (Japon), VSL (Pays-Bas), NPL (Royaume-Uni), Comité d'État de Normalisation (Bulgarie), Laboratoire de Métrologie Fondamentale (Danemark), Norske Justervesen (Norvège) et Comité Polonais de Normalisation, des Mesures et de Contrôle de la Qualité. La résistance de chaque étalon voyageur a été déterminée en fonction de Ω_{69-B1} avec un écart-type au plus égal à 0,02 $\mu\Omega$. Un rapport sur cette comparaison sera publié lorsque les participants nous auront fait connaître la valeur de leurs étalons voyageurs après retour dans leur laboratoire d'origine.

Comparaison internationale d'étalons de 10⁴ Ω

Cette comparaison a été effectuée en mars 1980; elle a réuni les étalons du VSL (Pays-Bas), du NPL (Royaume-Uni), du Norske Justervesen (Norvège) et du BIPM. Les résultats permettront d'estimer l'exactitude avec laquelle les quatre laboratoires réalisent le passage de 1 à 10⁴ Ω.

Coefficient de pression de thermomètres étalons et de sondes en platine

En utilisant le dispositif décrit dans le rapport de 1979 (p. 44), nous avons mesuré la résistance, au point triple de l'eau, de thermomètres à résistance de platine de divers types (à tige ou du type capsule), soumis à des pressions comprises entre 6 500 et 1 × 10⁵ Pa environ. Nous n'avons noté aucune variation significative, la limite de précision des mesures correspondant à quelques 10⁻⁵ K.

Coefficient de pression d'étalons de résistance de 1 Ω

Ce coefficient a été déterminé en mesurant la résistance des étalons pour plusieurs valeurs de la pression comprises entre 75 000 et 127 000 Pa environ. Tous les étalons étudiés sont en manganine.

TABLEAU III
*Coefficient de pression
des principaux étalons de résistance de 1 Ω du BIPM*

Étalon	Constructeur	Résultats obtenus	
		en 1979	en 1980
85	NBS	+ 9,2 × 10 ⁻¹¹ /Pa	+ 9,4 × 10 ⁻¹¹ /Pa
86	NBS	+ 9,2	+ 9,3
87	NBS	+ 8,8	+ 8,9
269965	Leeds and Northrup	+ 0,1	+ 0,2
L645	NPL		+ 1,8
L717	NPL		+ 1,6
L722	NPL	0,0	+ 0,1
L725	NPL	0,0	0,0
34052	ETL	+ 1,1	+ 1,0

Étalons du BIPM. — Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau III où l'on a aussi rappelé ceux de 1979 (Rapport 1979, p. 44). On constate que les résultats des deux déterminations sont en excellent accord bien qu'en 1980 les mesures aient été faites sur un intervalle de pression pratiquement double de celui des mesures de 1979 (52 000 Pa au lieu de 26 500 Pa).

Étalons voyageurs. — Le coefficient de pression obtenu pour l'étalon Leeds and Northrup N° 269965 du BIPM étant très inférieur au coefficient admis par le constructeur pour les étalons du même type ($1,5 \times 10^{-11}$ /Pa), nous avons profité de la présence de plusieurs étalons Leeds and Northrup au BIPM, à l'occasion de la comparaison internationale, pour effectuer une étude systématique du coefficient de pression de la plupart des étalons voyageurs. Les résultats sont donnés ci-dessous ; les étalons sont classés par numéro d'identification croissant, c'est-à-dire par âge décroissant.

Leeds and Northrup N°	726 258	: 0,2 × 10 ⁻¹¹ /Pa
	1 336 435	: 0,8
	1 681 957	: 1,4
	1 753 639	: 1,4
	1 753 641	: 0,9
	1 756 653	: 0,8
	1 773 191	: 1,1
	1 844 266	: 2,3
Guildline N°	20 396	: 0,1

On remarque que le plus ancien des étalons (N° 726258) a un coefficient très faible et du même ordre de grandeur que celui de l'étalon du BIPM, lui aussi très ancien. Par ailleurs, c'est l'étalon le plus récent qui a le coefficient le plus élevé.

Comparaisons de représentations nationales du volt

Rattachement de V_{NPRL} à $V_{76\text{-BI}}$. — Ce rattachement a été effectué au cours de l'été 1979 au moyen de quatre piles conservées à 30 °C dans une enceinte thermorégulée. On a obtenu

$$\text{au 9 août 1979 : } V_{\text{NPRL}} = V_{76\text{-BI}} - 0,22 \mu\text{V.}$$

Rattachement de V_{IMM} à $V_{76\text{-BI}}$. — En avril 1980, l'IMM a fait parvenir au BIPM cinq piles nues définies à 20 °C pour effectuer ce rattachement. Les mesures sont en cours.

Comparaison internationale d'étalons de force électromotrice. — Huit laboratoires ont souhaité participer à cette comparaison qui a eu lieu du 12 novembre 1979 au 8 février 1980 : NRC (4 piles à 30 °C), LCIE (4 piles à 30 °C), IEN (4 piles à 30 °C et 6 piles à 20 °C), VSL (4 piles à 30 °C et 6 piles à 20 °C), Comité d'État de Normalisation de la Bulgarie (3 piles à 20 °C), Office National des Mesures de Hongrie (4 piles à 20 °C), Norske Justervesen, Norvège (4 piles à 30 °C) et Institut National de Métrologie de la Roumanie (10 piles à 20 °C). La force électromotrice de chaque pile voyageuse a été déterminée en fonction de $V_{76\text{-BI}}$ avec un écart-type de 0,017 μV . Comme pour les résistances, un rapport sur cette comparaison sera publié dès que les résultats complets seront connus.

Conservation de l'unité de force électromotrice

La force électromotrice des piles de référence primaires qui « conservent » V_{76-BI} continue d'être régulièrement contrôlée par comparaison à la tension Josephson qui définit V_{76-BI} . Ces contrôles confirment la bonne stabilité à long terme des piles de référence.

Quelques-uns des commutateurs du comparateur de tensions donnant des signes de vieillissement, nous devons peut-être les remplacer ou bien construire un nouveau comparateur.

Installation pour la comparaison des piles étalons

Malgré d'incessantes rénovations, le potentiomètre qui servait depuis quarante ans à étudier les piles envoyées au BIPM pour étalonnage était devenu insuffisant. Pour le remplacer, nous avons acheté un potentiomètre « Julie Research » identique à celui que nous utilisons depuis quelques années pour comparer entre eux nos étalons primaires. On a contrôlé la linéarité de ce nouveau potentiomètre et ajusté certaines résistances pour avoir, sans appliquer de corrections aux lectures, une précision de quelques 10^{-6} dans toutes les gammes de mesure.

Pour nous protéger des parasites radioélectriques, nous avons construit une cage de Faraday dans la salle 4, au-dessus de la cabine climatisée qui contient le bain d'huile. Le nouveau potentiomètre et les enceintes contenant les piles à étalonner seront placés dans cette cage. L'alimentation électrique à partir du réseau est filtrée à son entrée dans la cage.

Nous envisageons aussi d'enregistrer automatiquement les résultats des mesures.

Enceintes thermorégulées pour la conservation des piles

L'enceinte pour 24 piles construite l'an dernier (Rapport 1979, p. 45) donnant satisfaction (stabilité de 1×10^{-4} K par mois depuis un an), nous avons entrepris de construire quatre enceintes plus petites (chacune pour quatre piles) de même type. Un prototype simplifié de ces enceintes a été réalisé pour six piles non saturées ; il a des dimensions assez réduites pour être transportable en avion comme bagage à main ; depuis cinq mois, la température de cette enceinte semble dériver d'environ 4×10^{-4} K par mois.

Piles étalons

Piles saturées. — Bien que conservées dans d'excellentes conditions de stabilité mécanique et thermique, les 24 piles contenues dans notre enceinte thermorégulée n'ont pas un comportement satisfaisant. Ce comportement varie d'ailleurs selon leur provenance et leur ancienneté. Tandis que la force électromotrice des huit piles d'un fournisseur augmente trop rapidement (jusqu'à $3 \mu\text{V/a}$), celle des dix piles d'un autre fournisseur diminue presque avec la même vitesse. Quant aux six autres piles, plus anciennes, de ce second fournisseur, leur force électromotrice présente des discontinuités (même à court terme) qui les rendent impropres à constituer des étalons.

Il nous est difficile de trouver dans le commerce des piles dont la stabilité réponde à nos exigences ; nous sommes donc très reconnaissants à la PTB (Braunschweig et Berlin) d'avoir généreusement offert au BIPM une trentaine de piles de haute qualité, construites dans ses laboratoires. Nous prévoyons que ces piles, qui vont être placées dans les enceintes que nous réalisons, constitueront à brève échéance nos étalons de référence primaires.

Piles non saturées. — Nous avons constaté que l'évolution de certaines piles non saturées que nous étudions depuis plusieurs années était assez linéaire en fonction du temps et qu'il était possible d'extrapoler la valeur de leur force électromotrice à quelques 10^{-8} V près. Comme ces piles sont peu sensibles aux variations de température, nous pensons qu'elles pourraient peut-être constituer de bons étalons de transfert du volt. Nous envisageons de faire des essais avec notre enceinte transportable contenant six piles non saturées.

Comparateur cryogénique de courants

Au cours du stage qu'il a effectué au NML, T. Witt, profitant des conseils techniques des spécialistes de ce laboratoire, a réalisé un comparateur cryogénique de courants (fig. 11). Ce comparateur est essentiellement constitué par dix fils de Nb-Ti recouverts d'un vernis isolant et par un fil de cuivre isolé au téflon enfermés dans une gaine en plomb. Cette gaine, isolée à son tour par un ruban de téflon, est enroulée sur un tube en laiton de 12,3 mm de diamètre et de 0,25 mm d'épaisseur (38 spires réparties en quatre couches). Un squid, du type de celui décrit par Harvey (⁴), détecte l'intensité du champ magnétique dû au courant créé dans la gaine de plomb par les courants qui parcourent les fils qu'elle contient. Un courant de 175 nA dans les 38 spires de l'un des fils suffit pour produire un quantum de flux magnétique. Tout l'ensemble est protégé des champs extérieurs par un blindage en plomb. Les fils d'entrée et de sortie du comparateur et l'entrée du squid sont aussi placés à l'intérieur de longs tubes de plomb.

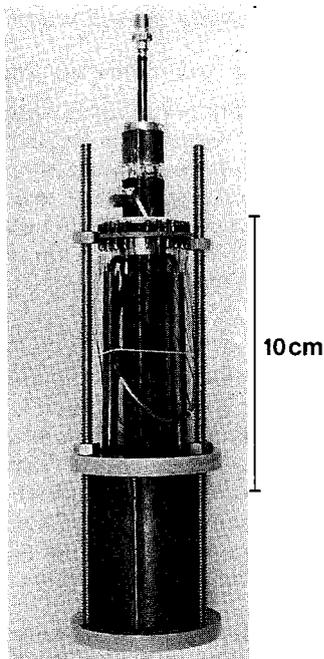


Fig. 11. — Comparateur cryogénique de courants.

(⁴) HARVEY (I.K.), Compact preset SQUID for total field measurement. *J. Phys. E. Sci. Instrum.*, 13, 1980, pp. 310-337.

Des contrôles ont montré que les erreurs sur les rapports de courants étaient inférieures à 1×10^{-9} . La somme des résistances des fils supra-conducteurs et des soudures ne dépasse pas $1 \times 10^{-11} \Omega$.

T. Witt a rapporté d'Australie un second squid, du type de celui qui est monté dans le comparateur de courants, pour l'utiliser dans d'autres applications.

Nous tenons à remercier vivement les membres du NML pour la bienveillance avec laquelle ils ont accueilli T. Witt et pour l'aide efficace qu'ils lui ont apportée dans ses travaux.

Au BIPM même, on a fait les premiers essais d'un ensemble cryogénique destiné à la comparaison des résistances étalons; mais l'essentiel reste à faire.

Équipement

Pour équiper le nouveau potentiomètre, nous avons acquis un micro-voltmètre (Keithley) et un amplificateur galvanométrique (Guildline). La section électricité a aussi acheté :

— un second pont à comparateur de courants pour la mesure des résistances (Guildline); ce pont remplacera le premier réservé désormais aux mesures de température;

— un conteneur d'hélium liquide (Cryodiffusion) à l'intérieur duquel nous pourrions réaliser certaines expériences utilisant des squids;

— un squid commercial SHE et son électronique;

— un multimètre numérique (Datron).

Selon le souhait exprimé par le Comité Consultatif d'Électricité à sa 15^e session (septembre 1978), le BIPM a commencé à s'équiper pour effectuer la comparaison des convertisseurs thermiques courant alternatif-courant continu. Nous avons d'ailleurs bénéficié d'un don important : un comparateur d'éléments thermiques fabriqué par le NBS. Ce comparateur, semblable à celui décrit par Williams⁽⁵⁾, permet d'éliminer la plupart des difficultés dues aux instabilités des sources de tension. Nous sommes reconnaissants au NBS de l'intérêt qu'il porte à nos travaux et nous le remercions de son aide généreuse et efficace.

Pour compléter notre installation, nous avons passé commande d'une source de tension alternative, d'une source de tension continue, de différents détecteurs, d'éléments thermiques et de convertisseurs de tension.

Études courantes

Indépendamment des instruments qui ont participé aux comparaisons internationales, le BIPM a étudié 17 étalons de résistance (de valeurs comprises entre 0,001 et 100 Ω) et 14 piles définies à 20 °C, pour la Bulgarie, la Suisse et la Yougoslavie.

Photométrie (J. Bonhoure)

L'activité de cette section a été extrêmement réduite au cours de la période considérée.

⁽⁵⁾ WILLIAMS (E.S.), Thermal voltage converters and comparator for very accurate AC voltage measurements. *J. Res. NBS*, 75 C, 1971, pp. 145-154.

Radiométrie et spectroradiométrie

Le BIPM dispose maintenant d'un radiomètre absolu qui lui a été obligeamment offert par le NPRL (Afrique du Sud). Cet appareil n'a pas encore été mis en service; pour le moment, on rassemble le matériel nécessaire à son fonctionnement.

On considère que cette installation pourrait constituer l'étape préalable à un développement de la spectroradiométrie au BIPM.

Études courantes

Le NPL fait circuler, pour la seconde fois, des étalons d'intensité lumineuse (2 854 K) qui sont de nouvelles lampes à incandescence d'un modèle plus robuste; on a participé à l'étude de la stabilité de ces étalons.

Rayons X et γ , électrons (A. Allisy)

Rayons X (M. Boutillon*)

Dans le domaine de 10 à 50 kV, une comparaison directe d'étalons d'exposition a été effectuée en novembre 1979 avec la Junta de Energia Nuclear (JEN), Espagne. Les principales dimensions de l'étalon de ce laboratoire sont très voisines de celles de l'étalon du BIPM (Rapport 1968, p. 62). L'accord entre les deux étalons est très bon; l'écart, pour les différents rayonnements de référence, est en effet inférieur à 0,2 %. Dans ce même domaine d'énergie, on a étalonné deux chambres de transfert pour le Statens Strålskyddsinstitut (Suède).

Dans le domaine de 100 à 250 kV, on a étalonné trois chambres de transfert de type Shonka pour la JEN; ces chambres sont destinées à servir d'étalons secondaires d'exposition.

On a entrepris des modifications dans la mesure du courant du tube à rayons X fonctionnant à 300 kV (anode à + 150 kV par rapport à la terre, cathode à - 150 kV). Le système utilisé jusqu'à maintenant (méthode d'opposition avec galvanomètre au potentiel 150 kV, couplé optiquement avec un suiveur de spot à la terre) ne donnait pas satisfaction (galvanomètre sensible aux vibrations, perte du spot par le suiveur). Il a été remplacé par le montage représenté à la figure 12.

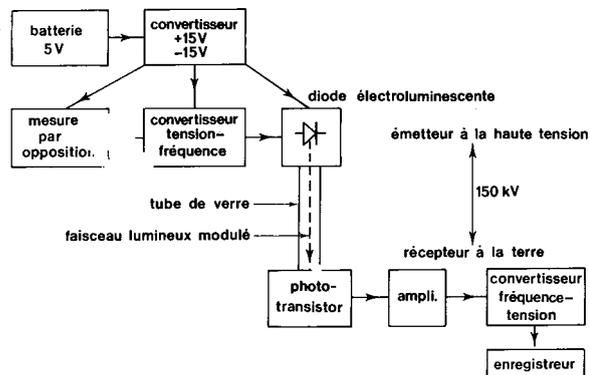


Fig. 12. — Mesure du courant du tube à rayons X fonctionnant à 300 kV. L'information est transmise par un faisceau lumineux modulé en intensité à la fréquence moyenne de 5 kHz.

Rayonnement γ du ^{60}Co (M.-T. Niatel*, M. Boutillon*)

Mesure des courants d'ionisation

Enregistrement automatique de données. — Les programmes d'exploitation des données enregistrées sur cassettes ont été écrits et mis au point. Ils permettent de calculer les courants d'ionisation, l'exposition ou la dose absorbée et les paramètres statistiques des mesures à court terme et à moyen terme.

Condensateurs pour la mesure des courants d'ionisation. — Ces condensateurs au polystyrène sont désormais conservés en atmosphère sèche dans une boîte étanche, ce qui permet d'obtenir une stabilité à long terme de quelques 10^{-5} (la correction de température étant effectuée), alors que les variations dans l'air ambiant peuvent être supérieures à 0,1 % (Rapport 1979, fig. 10, p. 55).

Mesure de l'exposition

Étalonnage de chambres d'ionisation. — On a étalonné trois chambres d'ionisation du type Shonka, de la JEN, destinées à servir à ce laboratoire d'étalons secondaires d'exposition. La courbe de saturation (variation du courant d'ionisation en fonction de la tension collectrice) a été mesurée pour l'une d'entre elles et un calcul permettant de séparer recombinaison initiale des ions et recombinaison en volume a été effectué pour déterminer la différence entre les corrections pour la recombinaison des ions au BIPM et à la JEN. Cette différence est de 0,5 %; elle est due à l'intensité du courant d'ionisation, qui est 70 fois plus forte à la JEN qu'au BIPM.

Futurs étalonnages de chambres pour la dosimétrie des neutrons. — Les chambres Exradin (type Spokas, parois équivalentes au tissu) que le groupe des neutrons utilisera pour déterminer la dose absorbée dans le tissu seront étalonnées en termes d'exposition avec les photons du cobalt 60. Il sera nécessaire de connaître le produit des facteurs correctifs tenant compte de la perturbation apportée au champ de rayonnement existant dans l'air quand on y introduit la chambre. La meilleure méthode pour obtenir ce produit semble être un calcul par la méthode de Monte-Carlo analogue à celui qu'un groupe de l'Université Yale a effectué pour d'autres types de chambres ⁽⁶⁾ et en particulier pour l'étalon d'exposition du BIPM ⁽⁷⁾; dans ce dernier cas, son résultat est en bon accord avec notre propre détermination. Nous avons donc demandé à ce groupe d'appliquer sa méthode à la chambre Spokas. Ce calcul complexe, dans lequel on suit les photons puis les électrons Compton qu'ils produisent, requiert un ordinateur beaucoup plus puissant que celui du BIPM.

Mesure de la dose absorbée dans le graphite

Influence de la masse volumique du graphite. — De nouvelles mesures ont été effectuées au moyen de huit disques de graphite du Rijks Instituut voor de Volksgezondheid (RIV), Pays-Bas. Les masses surfaciques et volumiques des régions centrales de ces disques ont été mesurées au BIPM en déterminant la transmission du rayonnement (Rapport 1976, p. 68). Ensuite, les doses absorbées mesurées en plaçant ces disques à l'avant du fantôme du BIPM ont été comparées à celles qu'on

⁽⁶⁾ BOND (J.E.), RAVINDER NATH and SCHULTZ (R.J.), *Med. Phys.* 5, 1978, pp. 422-425.

⁽⁷⁾ RAVINDER NATH, Communication privée, 1979.

obtiendrait, pour les mêmes masses surfaciques, si on utilisait le graphite du BIPM dont la masse volumique est plus faible. La figure 13 (qui est à rapprocher de la fig. 8 du rapport de 1979) confirme l'importance de l'effet dû à la masse volumique du graphite.

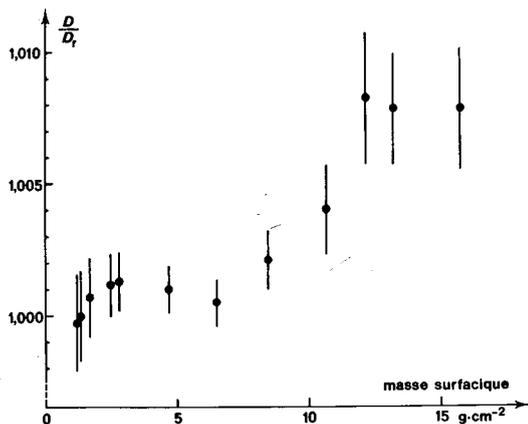


Fig. 13. — Influence de la masse volumique du graphite sur les mesures de dose absorbée.

D , D_r , doses absorbées mesurées, pour une même masse surfacique, avec des disques de graphite de masses volumiques respectives $\rho = 1,82$ à $1,89 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (graphite RIV) et $\rho_r = 1,74$ à $1,80 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (graphite BIPM).

Étalonnage de chambres d'ionisation. — Deux chambres de graphite du Statens Strålskyddsinstitut, destinées à servir d'étalons secondaires de dose absorbée dans le graphite, ont été étalonnées pour six profondeurs dans le fantôme (masses surfaciques 1 à 17 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). On a déduit de ces mesures la variation relative, avec la profondeur dans le fantôme, de la correction de perturbation k_p due à la présence de la cavité (fig. 14).

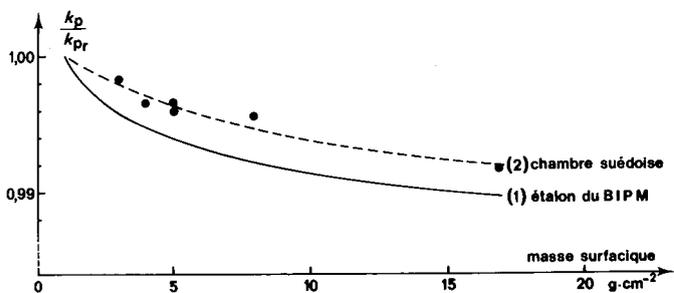


Fig. 14. — Corrections de perturbation pour deux chambres différentes en fonction de la profondeur dans le fantôme.

On a représenté la variation relative k_p/k_{p_r} , k_{p_r} étant la correction de perturbation correspondant à $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$.

La courbe (1), pour la chambre étalon du BIPM, est obtenue par calcul ; la courbe (2), pour la chambre suédoise, est déduite de l'expérience en supposant connue la courbe (1).

Cette correction varie plus lentement que dans le cas de la chambre étalon du BIPM. Les chambres suédoises et la chambre du BIPM ont une géométrie différente, les premières possédant un volume collecteur défini par les lignes de force d'un champ électrique. De plus, le plan choisi pour référence de la mesure de dose absorbée n'est pas le même dans les deux cas : plan médian pour la chambre BIPM, face avant de la cavité pour les chambres suédoises.

Correction de perturbation. — L'influence de la position du plan de référence sur la correction k_p a été étudiée pour la chambre étalon du BIPM. Expérimentalement, on a déterminé le rapport $r = k_{p_2}/k_{p_1}$ des corrections k_p pour les deux positions du plan de référence : plan médian de la chambre (1), face avant de la cavité (2). La figure 15 présente la variation, avec la profondeur dans le fantôme, de k_{p_1} obtenu par un calcul théorique (voir *CCEMRI Section I*, 1977, p. R(I)46) et de $k_{p_2} = rk_{p_1}$. Comme on pouvait s'y attendre, étant donné le déficit en photons diffusés, k_{p_2} est supérieur à 1, mais la cause de la croissance de k_{p_2} avec la profondeur n'est pas évidente. Une analyse du cas 2 pour calculer théoriquement k_{p_2} est en cours.

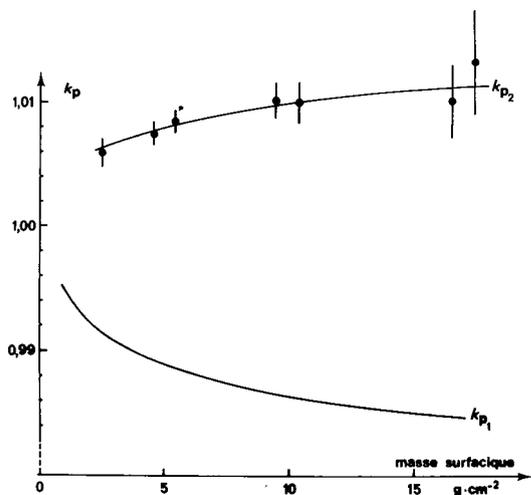


Fig. 15. — Corrections de perturbation correspondant à deux plans de référence différents pour la chambre étalon du BIPM.

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

Dose absorbée dans l'eau

Comparaison de dosimètres chimiques. — Dans sa réunion de 1979, la Section I du CCEMRI a créé un groupe de travail pour organiser une comparaison des systèmes de dosimétrie chimique. Ce type de dosimétrie est fondé sur la variation de la transmission optique de solutions de sulfate ferreux, variation due à l'oxydation provoquée par des rayonnements ionisants. La comparaison, qui est prévue pour le dernier trimestre de 1980, implique que le BIPM délivre les mêmes doses absorbées aux différents échantillons de sulfate ferreux qui seront ensuite mesurés par les laboratoires participants. Pour les irradiations au BIPM, ces échantillons seront placés dans un fantôme d'eau. On a analysé les différentes causes d'incertitude pouvant affecter la reproductibilité de ces irradiations. Il semble que l'un des

facteurs les plus critiques soit la reproductibilité de la position du dosimètre : si la profondeur dans le fantôme augmente de 0,2 mm, au voisinage de 5 g/cm² à 1 m de la source, la dose absorbée diminue d'environ 0,1 %.

Détermination de la dose absorbée dans l'eau. — La valeur de la dose absorbée qui sera délivrée aux dosimètres chimiques sera déterminée à partir de la dose absorbée mesurée dans le graphite à la même distance de la source. Cela implique de connaître pour l'eau comme pour le graphite le rapport R entre les kermas du rayonnement diffusé et du rayonnement primaire, à l'intérieur du fantôme. Des calculs sont actuellement en cours pour déterminer R dans un fantôme d'eau. Ils sont fondés sur les mêmes principes que ceux qui ont été faits précédemment dans le cas du graphite.

Nous nous proposons aussi d'effectuer des mesures dans le fantôme d'eau au moyen d'une chambre à parois équivalentes au tissu. Dans un premier temps, nous ferons des mesures relatives (exploration du champ, courbe de profondeur). Nous essaierons ensuite de faire des mesures absolues de dose absorbée dans l'eau, ce qui nécessite de déterminer la correction de perturbation (pour la présence de la cavité et celle des parois), et le rapport F des pouvoirs de ralentissement de l'eau et de l'air. On donne dans la figure 16 les valeurs de $F(h\nu, \Delta)$ pour quelques valeurs de l'énergie $h\nu$ des photons, en fonction de Δ , énergie moyenne minimale nécessaire pour traverser la cavité. Ces valeurs ont été calculées par intégration sur le spectre total

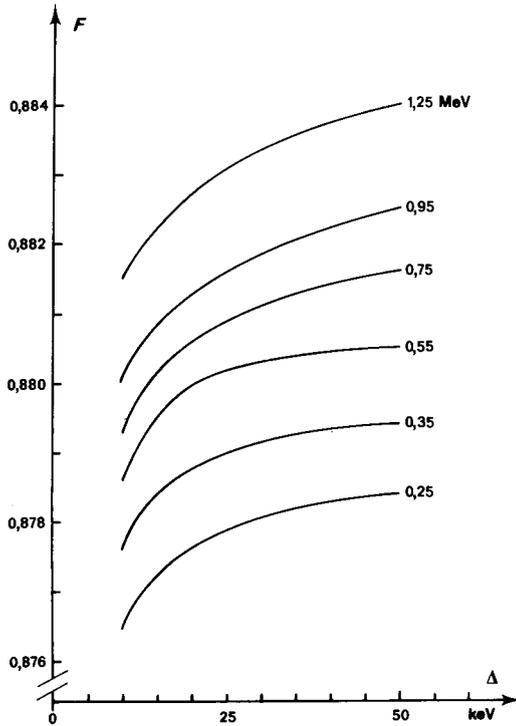


Fig. 16. — Rapport des pouvoirs de ralentissement de l'eau et de l'air pour quelques valeurs de l'énergie $h\nu$ des photons.

Les calculs ont été effectués avec les valeurs suivantes des énergies moyennes d'excitation : $I_{\text{eau}} = 75$ eV, $I_{\text{air}} = 86,1$ eV.

de ralentissement des électrons, à partir des valeurs des pouvoirs de ralentissement récemment révisées par Berger.

Électrons (A.-M. Perroche *)

Les expériences se rapportant à la mesure de W se sont poursuivies. La détermination de cette grandeur nécessite la connaissance de l'énergie des électrons, du courant d'électrons pénétrant dans la chambre d'ionisation et du courant d'ionisation qui en résulte.

Le dispositif prévu pour cette expérience est formé de trois compartiments (Rapport 1978, p. 59). Le courant d'électrons sera mesuré avec une pression d'environ 1×10^{-5} Pa dans les trois compartiments. Lors de la mesure du courant d'ionisation, une pression de 100 Pa dans la chambre entraîne une augmentation de la pression dans le compartiment intermédiaire et par suite une variation du courant d'électrons pénétrant dans la chambre. Il convient d'étudier cette variation afin de déterminer la correction à appliquer au courant d'électrons mesuré. On a effectué cette étude à l'aide d'un dispositif formé de deux compartiments C_1 et C_2 renfermant, le premier le canon, le second le collecteur, et séparés, l'un de l'autre par

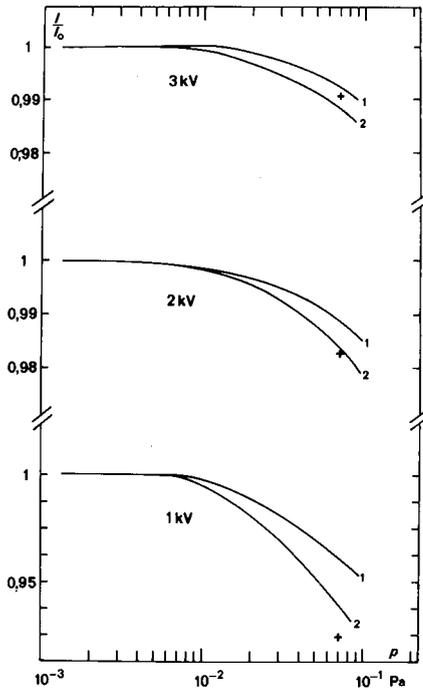


Fig. 17. — Influence de la pression p sur le courant d'électrons I_0 , pour différentes tensions accélératrices.

I_0^0 , courant d'électrons mesuré dans les conditions de vide limite.

Les mesures ont été effectuées avec $\Omega = 2 \times 10^{-4}$ sr (courbes 1) ou avec $\Omega = 0,5 \times 10^{-4}$ sr (courbes 2), quelques valeurs ont été calculées pour $\Omega = 2 \times 10^{-4}$ sr (+), Ω étant l'angle solide de collection du courant d'électrons.

un trou de 0,3 mm de diamètre. On a fait varier la pression de $1,5 \times 10^{-3}$ à 1×10^{-1} Pa en introduisant de l'azote dans le compartiment C_2 .

On a constaté que la variation de pression correspondante dans le compartiment C_1 était négligeable. La variation du courant d'électrons mesuré avec le collecteur placé dans C_2 est due à l'interaction des électrons avec le gaz introduit et on l'a étudiée pour des tensions accélératrices de 1, 2 et 3 kV, et pour différents angles solides de collection du courant d'électrons.

Les résultats sont donnés dans la figure 17; ils permettent de faire une première estimation de la correction de perte d'électrons dans le compartiment intermédiaire.

On envisage maintenant de faire la mesure du courant d'électrons dans les conditions expérimentales définitives. On a apporté des modifications au dispositif décrit dans le rapport de 1978 (p. 59), spécialement la suppression du disque tournant. Cela nous a conduits à construire de nouvelles enceintes; leur réalisation par l'atelier de mécanique a demandé un soin tout particulier. L'achat d'une pompe turbomoléculaire pour remplacer une ancienne pompe à diffusion a permis d'améliorer de beaucoup les conditions de pompage (pompage plus rapide, meilleur vide limite et suppression des remontées d'huile).

Radionucléides

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

L'achèvement de deux comparaisons internationales nous a accordé, dans les travaux d'étalonnage de sources radioactives, un certain répit qui a permis d'une part de contrôler soigneusement le fonctionnement du dispositif de comptage par coïncidences et d'autre part de mettre l'appareillage et le savoir-faire à la disposition d'un physicien de l'Institut National de Métrologie (Beijing) effectuant un stage de longue durée au BIPM.

La preuve de l'utilité des mesures relatives au moyen d'une chambre d'ionisation à puits n'est plus à faire et le système international de référence est devenu un instrument indispensable.

Comparaisons internationales de mesures d'activité

^{134}Cs . — L'analyse approfondie des résultats et commentaires reçus des 24 participants a été publiée dans le Rapport BIPM-80/2 qui a été distribué aux participants et autres personnes intéressées. Avec une dispersion de 0,68 % et un écart-type relatif de 0,17 %, l'exactitude obtenue surpasse celle de toutes les comparaisons précédentes (fig. 18). Les participants ont mis en évidence le haut niveau atteint dans l'étalonnage d'un émetteur de rayonnements β - γ à schéma de désintégration relativement complexe. La confiance dans la méthode d'extrapolation des fonctions d'efficacité est renforcée et l'estimation des incertitudes systématiques semble réaliste.

^{137}Cs . — Dix laboratoires ont participé à cette comparaison préliminaire dans le but principal de décider si ce radionucléide se prêterait aussi à une comparaison à grande échelle. Seule la méthode de l'indicateur d'efficacité pouvait prétendre à une exactitude suffisante. Son application était simplifiée par la distribution simultanée d'une solution de ^{134}Cs (deux ampoules par participant) destinée à la comparaison précédente. Les résultats obtenus ont une dispersion totale de 1,7 % et un écart-type relatif de 0,53 %. Un rapport détaillé (Rapport BIPM-80/1) a été publié et diffusé. Il

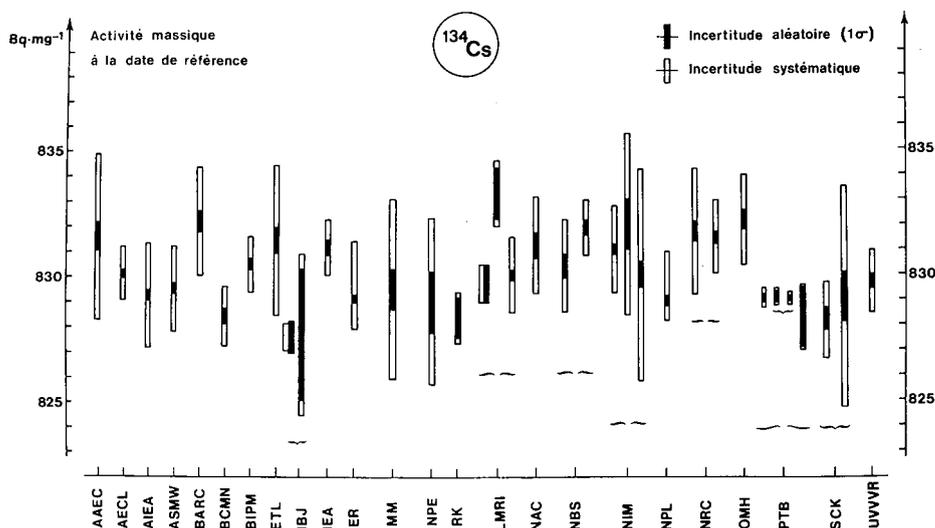


Fig. 18. — Représentation graphique des résultats de la comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de ^{134}Cs . Les sigles désignent les 24 laboratoires participants dont certains ont appliqué plusieurs méthodes.

en ressort que l'évaluation de l'activité du ^{137}Cs à partir des taux de comptage observés et la détermination de l'efficacité du détecteur de particules β posent des problèmes qui ne sont pas encore entièrement résolus.

^{55}Fe . — Cette comparaison (à laquelle le BIPM ne participe pas) a été organisée par le NPL qui se chargera aussi de la rédaction d'un rapport. Les résultats soumis par les participants font apparaître une dispersion totale de près de 5%.

Comparaisons futures. — Un groupe de travail étudie divers projets de comparaisons internationales pouvant être soumis, lors de sa prochaine réunion, à la Section II du CCEMRI.

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

Sensibilité du compteur proportionnel aux rayonnements γ . — On suppose généralement que la faible sensibilité aux photons γ du détecteur β d'un dispositif de comptage par coïncidences est négligeable, ce qui est souvent le cas. Cependant, pour certaines mesures il est nécessaire de connaître plus explicitement l'efficacité $\epsilon_{\beta\gamma}$ du détecteur β aux photons γ . L'étude de cette grandeur demande un grand nombre de mesures dans des conditions de très haute stabilité, car le rayonnement γ émis par des radionucléides est presque toujours accompagné d'une émission d'électrons auxquels le détecteur est bien plus sensible. La méthode usuelle consiste à couvrir une source convenable par des absorbeurs minces successifs, ce qui fait varier l'efficacité aux rayons β sans changer celle aux rayons γ . L'efficacité $\epsilon_{\beta\gamma}$ peut être déterminée connaissant l'effet d'un absorbeur sur les taux de comptage dans les canaux β , γ et coïncidences $\beta-\gamma$.

De telles mesures ont été effectuées au moyen de cinq radionucléides différents. Les résultats obtenus sont compatibles avec les valeurs publiées. Deux compteurs proportionnels de même forme mais de taille différente avaient été construits

spécialement pour ces expériences. Ils ont ensuite été cédés à l'Institut National de Métrologie (Beijing).

Mesures d'activité de sources de ^{60}Co à taux de comptage élevés. — En pesant des gouttes d'une même solution, on a préparé une série de treize sources dont les activités s'échelonnaient de 6 à 180 kBq. Avant chaque mesure d'activité, on a eu soin d'équilibrer les retards entre impulsions β et γ corrélées. Pour les activités inférieures à 110 kBq, l'écart entre les résultats obtenus et leur moyenne ne dépassait pas 0,2 %. Pour deux sources plus fortes, les écarts allaient jusqu'à 0,4 %, ce qui est encore très satisfaisant compte tenu de l'importance des corrections de temps mort.

On a étudié avec deux sources d'environ 8 et 80 kBq, respectivement, l'influence d'un déséquilibre des retards. En accord avec une expérience antérieure (Rapport 1978, p. 61), les résultats obtenus avec la source faible ne dépendaient que peu du retard relatif. D'autre part, pour la source plus forte, la différence des retards introduisait des erreurs appréciables à moins d'en tenir compte à l'aide d'une formule améliorée⁽⁸⁾.

Une description plus détaillée des deux études ci-dessus peut être trouvée dans le Rapport BIPM-80/5.

Étalonnage et distribution de sources solides minces. — Les stocks de sources étalonnées de ^{60}Co et ^{54}Mn ont été complétés par environ trente échantillons dont six de chaque nucléide ont été envoyés, sur demande, au Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire, Mol (Belgique). En outre, un jeu de 24 sources de radionucléides divers sur supports de type spécial a été fourni à l'Institut für Radiumforschung und Kernphysik (IRK), Vienne (Autriche). Ces sources étaient destinées à l'étalonnage d'un grand détecteur à scintillation à puits.

Détecteur à germanium compensé au lithium, Ge(Li)

Le détecteur à germanium-lithium est devenu un outil de grande importance dans la métrologie des radionucléides. Son pouvoir de résolution très élevé le rend indispensable pour certaines mesures relatives d'activité par spectrométrie γ et pour les contrôles de pureté radionucléidique. Le spectromètre récemment installé, dont le détecteur et le préamplificateur doivent constamment être refroidis par de l'azote liquide, comprend en outre une alimentation haute tension et un amplificateur spécial. Il a été entouré d'un écran de plomb de 5 cm d'épaisseur et muni d'un support léger permettant d'ajuster la distance de la source.

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

Suppression des variations de capacité. — La capacité du condensateur chargé par le courant d'ionisation se situe normalement entre 0,5 et 50 nF. Sept condensateurs couvrant ce domaine ont été gardés dans une atmosphère sèche pendant plusieurs semaines et ont ensuite été enfermés avec du gel de silice sec dans des boîtes étanches munies de traversées de bonne qualité. On a pu constater que les capacités ne varient plus et n'ont donc plus besoin d'être mesurées. En outre, les courants de fuite sont à peu près inchangés par rapport à l'état antérieur.

Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons γ . — Le bilan des cinq premières années de ce système se présente comme

⁽⁸⁾ Voir FUNCK (E.), Communication privée, 1978, et SMITH (D.), Projet de publication, 1979, et Document CCEMRI (II)/79-6.

suit : 18 laboratoires ont envoyé 232 ampoules contenant des solutions de 36 radionucléides différents ; on a obtenu 154 résultats qui sont enregistrés dans les tableaux. Le développement et les prévisions jusqu'à la fin de 1980 sont illustrés dans la figure 19. La croissance presque constante du nombre d'ampoules et de résultats exprime la confiance des laboratoires nationaux et l'importance qu'ils attachent à cette organisation.

Il est à noter aussi que les résultats des comparaisons internationales peuvent ainsi être conservés durablement et représentent des références particulièrement sûres.

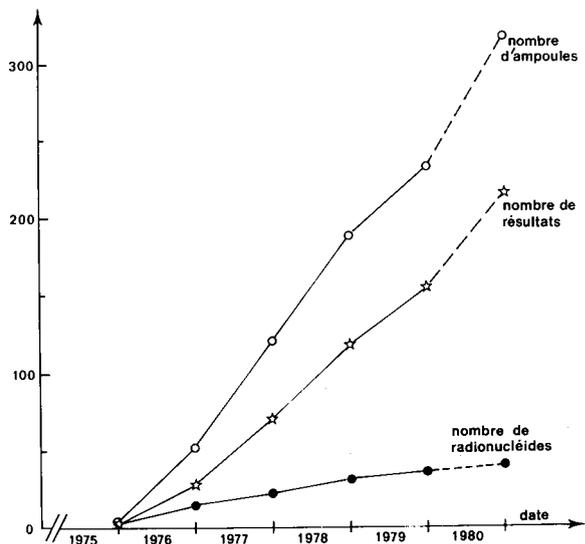


Fig. 19. - Développement du système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons γ .

Statistiques de comptage (J. W. Müller)

L'élaboration ou le perfectionnement de nouvelles méthodes de mesure est d'actualité permanente et l'on donnera d'abord quelques indications concernant la mesure de la période d'un radionucléide en tirant profit de la perturbation que la décroissance exerce sur la répartition des comptages. D'autre part, divers problèmes liés à la présentation d'incertitudes expérimentales ont aussi retenu notre attention, et il en sera question dans la seconde partie. Quelques aspects pourraient jouer un rôle dans la réunion d'experts organisée par le BIPM pour l'automne prochain, où l'on essaiera de trouver une solution nouvelle au vieux problème de l'expression de l'incertitude d'un résultat de mesure.

Perturbation des moments de comptage par la décroissance et le temps mort

Il est maintenant bien connu et confirmé par l'expérience, que la simple loi de Poisson est à modifier si l'on veut décrire la statistique d'impulsions provenant d'une source qui décroît de manière non négligeable pendant le temps d'observation. On a établi précédemment (Rapport BIPM-79/11) la loi modifiée

pour la probabilité ${}_λP(k)$ d'observer k impulsions pendant un intervalle de durée t_0 pris parmi un grand nombre d'intervalles égaux qui se succèdent sur une période totale T , pour un radionucléide de vie moyenne $1/λ$.

Une estimation fiable de $λ$ à partir de telles mesures demande que l'on tienne compte de plusieurs complications d'origine expérimentale, comme l'existence d'un mouvement propre (qui n'est pas nécessairement constant) et en particulier l'effet d'un temps mort pour les taux de comptage élevés. Leur influence sur la répartition des comptages est trop compliquée pour être incorporée de façon exacte dans les formules; il est cependant possible d'en tenir compte par des calculs numériques faits à l'ordinateur en utilisant un procédé qui s'approche d'une simulation. Pour le cas fréquent de perturbations faibles par le temps mort, on peut se servir d'une méthode approchée qui est beaucoup plus rapide.

D'autre part, on a montré que l'utilisation des deux premiers moments permet une détermination simple et sensible de la vie moyenne de la source, en particulier dans le cas d'une déformation importante de la distribution initiale de Poisson. Il arrive que les moments en question peuvent être calculés de façon rigoureuse en tenant compte de tous les effets expérimentaux.

Si le taux de comptage moyen dû à la source et au mouvement propre (taux p) suit la loi

$$r_t = \rho_0 \cdot e^{-\lambda t} + p,$$

on a après introduction d'un temps mort τ , pour $\lambda\tau \ll 1$,

$$\rho(t) = \frac{r_t}{1 + r_t\tau} \quad \text{ou} \quad \rho(t) = r_t \cdot \exp(-r_t\tau),$$

suivant que le temps mort est du type non cumulatif ou cumulatif. Pour $t = 0$, le taux de comptage non perturbé est ρ_0 .

L'évaluation des expressions de l'espérance mathématique (E) et de la variance (V) du nombre k d'impulsions enregistrées pendant t_0 a été faite, pour le cas général et les deux types de temps mort, dans les notes BIPM WPN-212 et 213. Pour simplifier l'écriture, nous nous contentons des formules valables en l'absence de mouvement propre ($p = 0$). Avec les notations

$$\theta = \lambda T, \quad b = \rho_0\tau, \quad B = b e^{-\theta}, \quad c = 1 + b \quad \text{et} \quad C = 1 + B,$$

on arrive aux expressions suivantes pour les valeurs moyennes et les variances – pour un temps mort non cumulatif :

$$E(k) = \frac{\mu_0}{b\theta} (\ln c - \ln C),$$

$${}_λV(k) = \frac{\mu_0}{b} \left[{}_λE(k) + \frac{\mu_0}{b\theta} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{C} \right) - \frac{1}{2\theta} \left(\frac{1}{c^2} - \frac{1}{C^2} \right) \right] - {}_λE^2(k);$$

– pour un temps mort cumulatif :

$${}_λE(k) = \frac{\mu_0}{b\theta} (e^{-B} - e^{-b}),$$

$${}_λV(k) = {}_λE(k) - {}_λE^2(k) + \frac{\mu_0(\mu_0 - 2b)}{4b^2\theta} [(1 + 2B) \cdot e^{-2B} - (1 + 2b) \cdot e^{-2b}],$$

toujours avec θ et $\tau \neq 0$.

En pratique, la détermination de la vie moyenne, et donc de la période $T_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$, peut se faire comme suit. L'expérience donne des valeurs numériques pour l'espérance E_{exp} et pour la variance V_{exp} . La valeur de τ et son type sont connus par des mesures indépendantes. A l'aide d'un programme d'ordinateur on détermine maintenant le taux initial ρ_0 qui, pour une période admise (donc θ connu), donne pour l'espérance théorique E_{th} (en utilisant la formule appropriée) une valeur qui coïncide avec le résultat E_{exp} . La valeur correspondante pour la variance V_{th} , obtenue avec la formule théorique, s'écarte plus ou moins du résultat expérimental V_{exp} . Par un procédé itératif, la vie moyenne est alors ajustée jusqu'à ce que les valeurs expérimentales et théoriques coïncident pour E et pour V .

Pour une distribution empirique de comptage, tout le calcul nécessaire se fait automatiquement à l'aide d'un programme d'ordinateur qui donne en même temps une estimation de l'incertitude qu'il convient d'attribuer à la valeur ainsi trouvée pour la période d'un radionucléide.

Une publication sur l'ensemble des problèmes concernant la statistique de comptage d'une source décroissante est en préparation.

Détermination d'une distribution a priori

Dans les discussions sur la manière à adopter pour indiquer les incertitudes de résultats expérimentaux, il y a des problèmes controversés qui reviennent plus ou moins périodiquement; après des échanges de vue généralement longs mais peu concluants, ils disparaissent de nouveau, tout en laissant une impression peu encourageante. La notion d'incertitude systématique, et en particulier le problème de la distribution de probabilité qu'il convient de lui associer, en fait partie. C'est pourquoi il nous semble utile d'indiquer qu'un progrès réel a été fait ces dernières années pour un problème restreint, certes, mais fondamental. Il s'agit de savoir comment choisir la densité de probabilité pour un paramètre sur lequel on ne sait rien.

Le problème qui consiste à décrire notre ignorance apparaît sous une forme particulièrement nette dans une classe de problèmes qui est liée au nom de Bayes. Il s'agit de combiner l'information provenant d'un nouveau résultat de mesure avec nos connaissances antérieures, pour en déduire de façon logique la distribution qui correspond à l'ensemble du savoir, ancien et nouveau. En particulier, il y a le cas de l'ignorance totale, et la détermination de la densité correspondante a été pendant longtemps considérée comme un problème sans solution. Dans cette situation, quelques-uns ont fait appel au « postulat » de Bayes (dont il n'est pas responsable) qui énonce que l'ignorance complète équivaut à l'attribution de probabilités égales pour tous les cas possibles. A vrai dire, cette règle est trop simpliste et elle conduit vite à des contradictions. Néanmoins, elle a aussi été utilisée dans le domaine des incertitudes systématiques où l'on ne dispose que de limites choisies de manière à ce qu'elles encadrent, avec une probabilité proche de l'unité, la valeur « vraie » dont l'emplacement à l'intérieur du domaine admis est inconnu, ce qui se traduit alors par une densité de forme rectangulaire. Or, ce raisonnement n'a jamais rencontré un accord unanime.

La notion d'ignorance totale a généralement été jugée trop vague pour être d'utilité pratique. Dans une étude tout à fait remarquable (bien que largement ignorée) le physicien Jaynes ⁽⁹⁾ montre, à l'aide d'exemples concrets, que ce n'est pas

⁽⁹⁾ JAYNES (E. T.), Prior probabilities, *IEEE Trans. Syst. Sci. and Cyb.*, SSC-4, 1968, pp. 227-241.

le cas. Une étude critique de ce qu'on entend par absence complète de connaissance et qui tire profit de toutes les symétries cachées établit que la densité de probabilité correspondante peut être bien définie. Prenons comme illustration le cas de la loi binomiale qui est donnée par

$$P(k, n|\theta) = \binom{n}{k} \theta^k (1-\theta)^{n-k}, \text{ avec } 0 \leq k \leq n,$$

où l'on considère la probabilité θ comme la grandeur recherchée. Désignons sa densité *a priori* par $f(\theta)$.

L'application du théorème de Bayes pour la densité *a posteriori* $g(\theta)$, qui tient aussi compte d'une expérience ayant donné comme résultat k « succès » pour n « possibilités », nous amène à

$$g(\theta) = \frac{P(k, n|\theta) \cdot f(\theta)}{\int_0^1 P(k, n|\theta) \cdot f(\theta) d\theta}.$$

Le résultat surprenant de Jaynes consiste à prouver que la fonction $f(\theta)$ qui correspond à notre ignorance totale de θ est donnée sans ambiguïté par la forme

$$f(\theta) = \frac{\text{const.}}{\theta(1-\theta)}, \text{ pour } 0 < \theta < 1,$$

qui est très différente d'un rectangle.

Il est vrai qu'il s'agit d'une densité « impropre », puisque non normalisable, mais cela n'a pas de conséquences fâcheuses. L'évaluation de $g(\theta)$ conduit maintenant à une fonction bêta du type

$$g(\theta) = A \cdot \theta^{k-1} (1-\theta)^{n-k-1},$$

où $A = \binom{n-1}{k-1} \cdot (n-k)$ est un facteur de normalisation.

En utilisant les moments connus de la distribution bêta, on a pour l'espérance (E) et la variance (V) du paramètre recherché

$$E(\theta) = \frac{k}{n} \quad \text{et} \quad V(\theta) = \frac{k(n-k)}{n^2(n+1)}.$$

Ces résultats correspondent bien à ce qu'on pourrait attendre. Mentionnons, d'autre part, que l'hypothèse d'une densité rectangulaire pour θ (entre 0 et 1) nous amène aux expressions

$$E(\theta) = \frac{k+1}{n+2} \quad \text{et} \quad V(\theta) = \frac{(k+1)(n-k+1)}{(n+2)^2(n+3)},$$

qui étaient toujours difficiles à interpréter.

Pour plus de détails techniques et un autre exemple qui concerne la loi de Poisson, voir le Rapport BIPM-80/6.

On peut déduire de ces résultats que l'identification de l'ignorance avec une densité de probabilité constante pour le domaine en question est un procédé mal

justifié et dangereux. Son emploi dans le contexte des erreurs dites systématiques est donc à éviter.

Les réponses de 21 laboratoires nationaux que le BIPM a reçues à son « Questionnaire sur les incertitudes » ont fait l'objet d'une brève analyse (Rapport BIPM-80/3). Quoiqu'il n'en découle pas pour le moment l'impression d'un rapprochement des opinions, parfois assez divergentes, cet exercice n'était certainement pas inutile. L'étude des réponses permettra à chaque participant d'être mieux informé sur l'ensemble des problèmes soulevés et, le cas échéant, de réfléchir à nouveau sur le bien-fondé de son attitude propre.

Pour une approche nouvelle qui, cependant, ne représente pas nécessairement l'opinion du BIPM, voir aussi notre récente petite étude. « Les incertitudes de mesures » (voir *Publications extérieures*, p. 81).

Autres travaux

Parmi les autres travaux statistiques, on peut mentionner une étude assez détaillée (Rapport BIPM-80/4) qui traite des déformations apportées à la loi de Poisson si celle-ci est perturbée par un temps mort cumulatif et pour le cas d'un compteur libre. On trouve des expressions générales pour les moments en utilisant des nombres de Stirling de deuxième espèce.

Dans l'évaluation numérique des moments empiriques pour une longue série de mesures, l'inclusion d'un nouveau résultat nécessite en général de refaire tous les calculs. Pour éviter cela, on a établi des expressions qui permettent de voir directement l'influence d'une nouvelle mesure sur les trois premiers moments (BIPM WPN-214). Dans une autre note, on traite le problème analogue pour le cas où deux échantillons, à moments connus, sont réunis en un seul (BIPM WPN-215).

Spectrométrie alpha (A. Rytz)

²⁴³Am. — Les tentatives pour mesurer l'énergie des particules α émises par ce nucléide sont restées sans résultat. La source offerte par le Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom (BCMNI), Geel (Belgique), préparée par la technique de l'« electrospaying », était trop épaisse pour que l'on puisse distinguer les raies du ²⁴³Am de celles des impuretés (²⁴¹Am et ²⁴⁴Cm). Puisque le BCMNI n'envisage pas d'autre technique de préparation, on essaiera de trouver un autre fournisseur.

²⁴⁴Cm. — Dans le but d'étudier la forme des raies que l'on peut obtenir avec des sources de haute qualité, G.C. Lowenthal (Australian Atomic Energy Commission, Sydney, Australie), a préparé pour nous une source de ²⁴⁴Cm selon un procédé spécial mis au point dans son laboratoire. Toutefois, la forme du support couramment utilisé dans nos mesures était mal adaptée à ce procédé. Les raies observées, tout en conduisant à une valeur d'énergie correcte, étaient fortement élargies. Après avoir trouvé un compromis entre les exigences de la préparation de la source et celles de son positionnement dans le spectromètre, nous ferons prochainement un nouvel essai.

²¹²Po. — Une série de mesures a été effectuée en vue de redéterminer l'énergie des particules α émises par le ²¹²Po, en utilisant une source de ²²⁸Th mise à notre disposition par l'IRK. Les résultats provisoires semblent indiquer que notre ancienne valeur était trop basse et que le désaccord avec la valeur publiée en 1974 par un groupe de l'Université Technique de Munich pourrait bien disparaître. Les mesures continuent.

Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

Dosimétrie neutronique

En attendant la décision concernant la nouvelle source de neutrons de 14,8 MeV (10^{11} s^{-1}), nous avons entrepris une étude approfondie en vue de préparer les mesures de dose absorbée dans le tissu (muscle) avec la source de neutrons (10^9 s^{-1}) dont nous disposons actuellement. D'après les publications existantes, une chambre d'ionisation de volume 1 cm^3 , ayant une paroi constituée du matériau équivalent au tissu biologique et dans laquelle circule un gaz également équivalent au tissu, donnerait un courant d'ionisation de l'ordre de $3 \times 10^{-13} \text{ A}$ si on l'irradiait avec un débit de dose absorbée de $0,5 \text{ mGy} \cdot \text{min}^{-1}$ (soit $0,05 \text{ rad} \cdot \text{min}^{-1}$) de neutrons de 15 MeV. Or, ce débit de dose absorbée correspond à un débit de fluence à 30 cm d'une source de $1,5 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$, ce qui est de l'ordre de grandeur de notre source actuelle lorsque la cible est neuve.

Rappel de la méthode des deux chambres. — En pratique, il n'existe pas de champ neutronique pur, car il y a toujours un champ de photons associé. Ces photons sont produits par la diffusion inélastique ou la capture radiative des neutrons sur les matériaux constituant la source de neutrons ou situés dans son voisinage immédiat. Ainsi, pour connaître la dose absorbée des neutrons dans un milieu donné, il est nécessaire de séparer la dose absorbée due aux photons dans ce milieu de la dose absorbée totale mesurée. Dans la dosimétrie neutronique, un des milieux les plus importants est le tissu dont la composition est définie par l'ICRU. Pour mesurer les doses absorbées séparées dues aux neutrons et aux photons dans le tissu, on utilise généralement deux dosimètres dont l'un (dosimètre T) a une sensibilité à peu près égale aux neutrons et aux photons, tandis que l'autre (dosimètre U) est sensible aux photons mais très peu sensible aux neutrons. De plus, à cause des incertitudes sur le volume utile des dosimètres (donc sur la masse de gaz dans la cavité) et des incertitudes sur les valeurs de W (énergie nécessaire pour créer une paire d'ions dans le gaz), les dosimètres utilisés ne sont pas des instruments « absolus ». Les réponses, R'_T et R'_U , des deux dosimètres dans le champ mixte de neutrons et de photons sont mesurées d'une manière relative par rapport aux sensibilités obtenues à l'aide d'une source étalonnée de rayons γ (par exemple, ^{137}Cs ou ^{60}Co). Dans ce cas, on peut exprimer les réponses, R'_T et R'_U , par les équations suivantes :

$$R'_T = k_T D_N + h_T D_G, \quad R'_U = k_U D_N + h_U D_G, \quad (1)$$

où D_N et D_G sont les doses absorbées dans le tissu, respectivement pour les neutrons et pour les photons dans le champ mixte,

k_T et k_U sont les sensibilités aux neutrons du champ mixte par rapport aux sensibilités aux rayons γ de la source étalonnée, respectivement pour les dosimètres T et U,

h_T et h_U sont les sensibilités aux photons du champ mixte par rapport aux sensibilités aux rayons γ de la source étalonnée, respectivement pour les dosimètres T et U.

Des équations (1) et (2) on peut déduire :

$$D_N = \frac{h_U R'_T - h_T R'_U}{h_U k_T - h_T k_U} \quad \text{et} \quad D_G = \frac{k_T R'_U - k_U R'_T}{h_U k_T - h_T k_U}. \quad (2)$$

Il faut souligner ici que les chambres d'ionisation ayant une paroi constituée

d'un matériau équivalent au tissu (TE) et une cavité remplie de gaz également équivalent au tissu sont, sans conteste, les dosimètres du type T les plus utilisés. Parmi les dosimètres du type U, on peut citer les chambres d'ionisation C-CO₂, Al-Ar, Mg-Ar, etc., mais le plus utilisé actuellement est le compteur Geiger-Müller.

Revenons aux équations (1). On peut exprimer de façon plus explicite les grandeurs k_T et h_T par les expressions suivantes :

$$k_T = \frac{W_C}{W_N} \cdot \frac{(S_{m,g})_C}{(S_{m,g})_N} \cdot \frac{(K/K_m)_C}{(K/K_m)_N}, \quad h_T = \frac{W_C}{W_G} \cdot \frac{(S_{m,g})_C}{(S_{m,g})_G} \cdot \frac{(K/K_m)_C}{(K/K_m)_G}, \quad (3)$$

où l'indice C se réfère aux valeurs correspondant aux conditions d'étalonnage (à l'aide d'une source étalon de rayons γ), les indices N et G se réfèrent aux valeurs correspondant respectivement aux neutrons et aux photons. W est l'énergie moyenne nécessaire pour créer une paire d'ions dans le gaz de la cavité, $S_{m,g}$ est le rapport moyen des pouvoirs de ralentissement par unité de masse surfacique des particules chargées produites par les rayonnements primaires dans la paroi et dans le gaz, et K/K_m est le rapport des kermas dans le tissu et dans le matériau de la paroi. Étant donné que l'on utilise une source de rayons γ pour l'étalonnage, h_T est généralement égal à 1.

Ainsi, en résumé, les paramètres qui interviennent dans la détermination des doses absorbées séparées dans un champ mixte de neutrons et de photons sont W_N/W_G , $S_{m,g}$, K/K_m , k_U et les facteurs d'étalonnage des dosimètres utilisés qui figurent dans R'_T et R'_U .

Préparation de l'expérience. — Nous utiliserons une chambre d'ionisation équivalente au tissu, type Spokas, modèle T2, construite par Exradin (États-Unis d'Amérique). C'est également ce type de chambre qui a été choisi par l'European Clinical Neutron Dosimetry Group (ECNEU). La figure 20 montre les dimensions et la construction d'une telle chambre, dans laquelle circulera un gaz équivalent au tissu, composé de méthane, de gaz carbonique et d'azote. Le volume de la cavité est de 0,5 cm³. L'étalonnage de la réponse de cette chambre sera étudié dans un faisceau γ du ⁶⁰Co du groupe des rayons X et γ du BIPM. Nous utiliserons un compteur Geiger-Müller du type Philips ZP1311 qui est sensible principalement aux photons (il faut néanmoins connaître sa sensibilité aux neutrons) pour séparer les deux composantes de la dose absorbée dans le champ mixte.

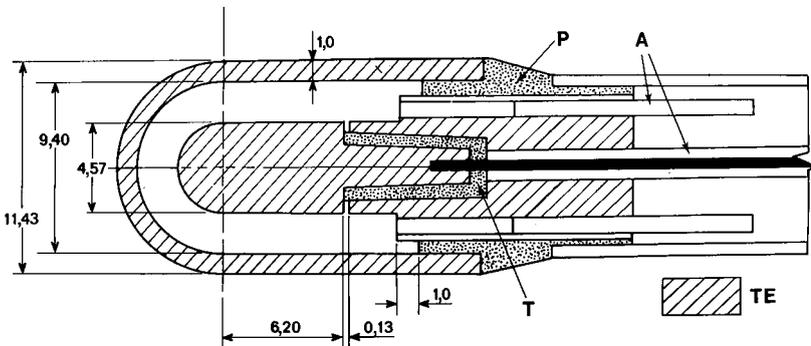
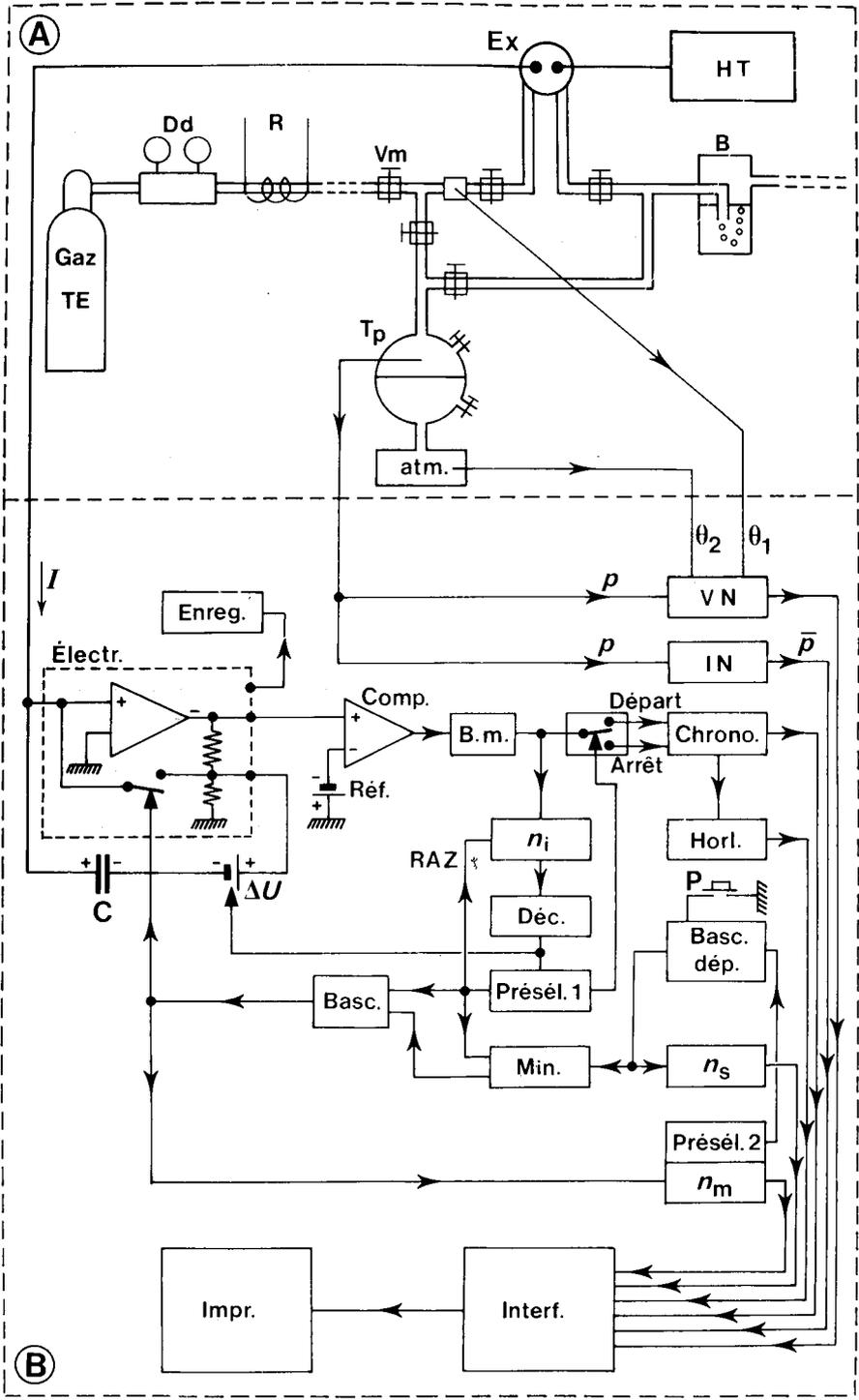


Fig. 20. — Chambre d'ionisation Exradin, modèle T2.

P, isolant en polyéthylène; A, tubes en acier inoxydable; T, isolant en téflon; TE, matériau équivalent au tissu.

Toutes les dimensions sont en millimètres.



La figure 21 donne une vue d'ensemble de la disposition des différents éléments pour le fonctionnement de la chambre ainsi que le schéma synoptique de l'appareillage permettant d'effectuer automatiquement un grand nombre de mesures de courant d'ionisation.

Pour mesurer le courant d'ionisation, nous utiliserons la méthode de Townsend dont le principe est bien connu. Sa mise en œuvre sera pratiquement identique à celle du groupe des rayons X et γ du BIPM. L'électromètre à condensateur vibrant Cary 401 est monté en intégrateur et le courant d'ionisation I charge le condensateur de mesure C. La mesure consiste à déterminer l'intervalle de temps Δt nécessaire pour faire varier la tension de charge de C d'une quantité donnée ΔU_C :

$$I = C \frac{\Delta U_C}{\Delta t}.$$

La figure 22 montre un exemple de mesure de l'intervalle de temps Δt correspondant à $\Delta U_C = 0,3 \text{ V}$; la mesure est effectuée en appliquant une tension de compensation ΔU variant par échelons de $0,1 \text{ V}$.

Remarque. — Dans le cas où nous mesurons les doses absorbées dans le tissu avec la source de neutrons actuelle (10^9 s^{-1}) du BIPM, nous disposons également de la méthode de la particule associée pour mesurer d'une façon absolue le débit de fluence de neutrons à la position où sera placée la chambre d'ionisation. Nous pouvons ainsi relier les deux grandeurs kerma et fluence, ce qui présente un avantage très important. En effet, la grandeur habituellement appelée « facteur de kerma », qui est le quotient du kerma par la fluence, est une grandeur très utile dans la dosimétrie neutronique. Un certain nombre d'auteurs ont calculé ces facteurs de kerma en fonction de l'énergie des neutrons pour différents éléments. Nous pourrions donc comparer les résultats de nos mesures avec les valeurs théoriques.

Néanmoins, il ne faut pas perdre de vue que si nous ne disposons pas d'une source plus intense au BIPM dans un proche avenir, nous perdrons la possibilité de devenir le centre de comparaison internationale des doses absorbées dans le domaine des mesures neutroniques.

Fig. 21

A. — Disposition des différents éléments pour le fonctionnement de la chambre d'ionisation.

Gaz TE, gaz équivalent au tissu (composition en masses : 56 % CO_2 , 40,5 % CH_4 , 3,5 % N_2) ; Dd, détendeur double (HBS315) ; R, réchauffeur ; Vm, vanne millimétrique ; Ex, chambre Exradin, type Spokas, modèle T2 ; HT, alimentation haute tension (John Fluke, 415B) ; B, débitmètre bulle à bulle ; Tp, transmetteur de pression (1151DP) ; atm., pression atmosphérique.

B. — Schéma synoptique de l'appareillage pour la mesure automatique des courants d'ionisation.

θ_1, θ_2, p , tensions fournies par les capteurs de température et de pression ; VN, voltmètre numérique ; IN, intégrateur numérique ; I , courant d'ionisation ; Électr., électromètre (Cary 401) ; Enreg., enregistreur (Sefram) ; C, condensateur ; ΔU , tension de compensation ; Réf., référence de tension ; Comp., comparateur ; B.m., ensemble de bascules monostables ; n_i , comptage d'impulsions ; Déc., décodeur ; Présél. 1, présélection de n_i ; RAZ, remise à zéro ; Basc., bascule ; Min., minuterie ; Chrono., chronomètre ; Horl., horloge ; P, bouton-poussoir ; Basc. dép., bascule de commande de départ ; n_s , comptage de séries ; n_m , comptage de mesures ; Présél. 2, présélection de n_m ; Interf., interface d'acquisition ; Impr., imprimante et enregistreur sur cassette.

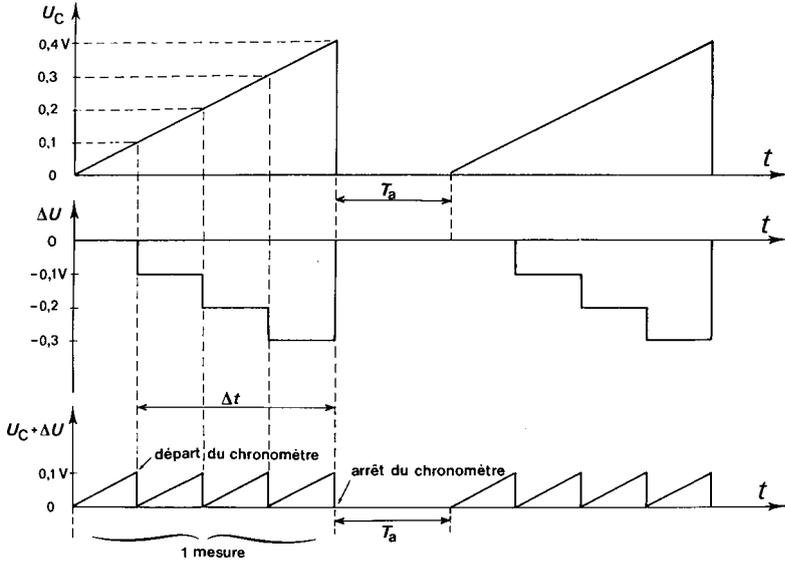


Fig. 22. — Exemple schématique d'une mesure de courant d'ionisation.

U_C , tension de charge du condensateur C; ΔU , tension de compensation; $U_C + \Delta U$, tension à l'entrée de l'électromètre; Δt , intervalle de temps nécessaire pour que U_C varie de $\Delta U_C = 0,3 \text{ V}$; T_a , durée de court-circuit prédéterminée par l'utilisateur.

Publications

Publications du BIPM (H. Moreau)

Depuis octobre 1979 ont été publiés :

- 1° *Comité Consultatif de Thermométrie*, 12^e session (1978), 180 pages.
- 2° *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, 6^e session (1979), 68 pages.
- 3° *Comptes rendus des séances de la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures* (octobre 1979), 136 pages.
- 4° *Comité Consultatif d'Électricité*, 15^e session (1978), 124 pages.
- 5° *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tome 47 (68^e session, octobre 1979), 146 pages.

Publications extérieures

Les *Comptes rendus de la 68^e École d'Été Internationale de Physique « Enrico Fermi »*, « Metrology and Fundamental Constants », Varenna, 1976, publiés par la Société Italienne de Physique (Bologna), sont parus en 1980; A. Ferro Milone, P. Giacomo et S. Leschiutta en ont assuré l'édition. Ces Comptes rendus contiennent plusieurs contributions provenant du BIPM :

TERRIEN (J.), Opening session, pp.1-7; Ulrich Stille, 1910-1976, p.8; Internationality of metrology, pp.9-13; The practical importance of systems of

units; their trend parallels progress in physics, pp. 765-769; Is the SI the best system? pp. 770-776; Volume of a sphere, pp. 777-778.

GIACOMO (P.), Length-I : Length measurement standards, pp. 114-148; Length-II : Speed of light, pp. 779-785; Some comments on mass measurements, pp. 786-793.

QUINN (T.J.), Thermometry, pp. 464-560.

ALLISY (A.), Physical quantities, pp. 14-19; Some statistical methods used in metrology, pp. 20-37.

Autres publications extérieures

GIACOMO (P.), News from the BIPM. *Metrologia*, **16**, 1980, pp. 55-61.

GIACOMO (P.), Accuracy in length measurements. *Acta Imeko 1979*, pp. 643-648.

GIACOMO (P.), The SI, a universal language. In Procès-Verbaux de la 17^e Assemblée Générale AISPO, Canberra, décembre 1979, pp. 154-157.

GIACOMO (P.), Métrologie, Science fondamentale et Science appliquée. *C.R. Acad. Sc. Paris*, **290**, 1980, Vie académique, pp. 180-188.

GIACOMO (P.), Vers une nouvelle définition du mètre. *Bulletin de la Soc. Fr. de Physique*, N° 37, juin 1980, pp. 6-7.

KEENE (B.J.), QUINN (T.J.), An apparatus to determine total normal emissivity of opaque and diathermanous liquids at high temperatures. *High Temperatures-High Pressures*, **11**, 1979, pp. 693-702.

ALLISY (A.), Concepts importants, unités et étalons en dosimétrie et en radiométrie. In Société Suisse de Radiobiologie, Assemblée annuelle 1979, Lausanne.

RYTZ (A.), Absolute measurement of the energy of alpha particles emitted by ²³⁹Pu. Atomic Masses and Fundamental Constants 6, J.A. Nolen, Jr. and W. Benenson eds., Plenum Press 1980, pp. 249-256.

MÜLLER (J.W.), Les incertitudes de mesures. In La Physique, 4^e volume de l'Encyclopédie Scientifique de l'Univers, édité par le Bureau des Longitudes, Paris (à paraître).

BONHOURE (J.) et PELLO (R.), Points triples de l'argon et du méthane : utilisation de cellules scellées. *Metrologia*, **16**, 1980, pp. 95-99.

HUYNH (V.D.), International comparison of flux density measurements for monoenergetic fast neutrons. *Metrologia*, **16**, 1980, pp. 31-49.

KOSHELJAEVSKY (N.), OBOUKHOV (A.), TATARENKOV (V.), TITOV (A.), CHARTIER (J.-M.) and FELDER (R.), International comparison of methane stabilized He-Ne lasers (à paraître dans *Metrologia*).

COSTAIN (C.C.), BOULANGER (J.-S.), DAAMS (H.), MILLER (L.G.), FREON (G.), PARCELIER (P.), AZOUBIB (J.) and GUINOT (B.), Two-way time transfers between National Research Council (Ottawa) and Paris Observatory via the « Symphonie » satellite. In Proceedings of the 33rd Annual Symposium on Frequency Control, 1979, pp. 473-476.

COSTAIN (C.C.), BOULANGER (J.-S.), DAAMS (H.), HANSON (D.W.), BEEHLER (R.E.), CLEMENTS (A.J.), DAVIS (D.D.), KLEPCZYNSKI (W.J.), VEENSTRA (L.), KAISER (J.), GUINOT (B.), AZOUBIB (J.), PARCELIER (P.), FREON (G.) and BRUNET (M.), Two-way time transfer via geostationary satellites NRC/NBS, NRC/USNO and NBS/USNO via Hermes and NRC/LPTF (France) via Symphonie. In Proceedings of the Eleventh Annual PTTI, 1979, pp. 499-519.

Monographie et Rapports internes

Ces documents peuvent être fournis sur demande.

- The application of liquid-scintillation counting to radionuclide metrology (Monographie BIPM-3, 1980, 98 pages).
- Premiers moments pour une source décroissante avec temps mort cumulatif, par J.W. Müller (BIPM WPN-213, octobre 1979, 4 pages).
- Statistiques de comptage, par J.W. Müller (Rapport BIPM-79/14, octobre 1979, 6 pages).
- Activity measurements of a solution of ^{137}Cs . An international comparison on efficiency tracing by ^{134}Cs , par A. Rytz (Rapport BIPM-80/1, mars 1980, 17 pages).
- ^{134}Cs , Report of an international comparison of activity measurements (October 1978), par A. Rytz (Rapport BIPM-80/2, 1980, 51 pages).
- Report on the BIPM enquiry on error statements (Rapport BIPM-80/3, mars 1980, 50 pages).
- On an intricate transition to the Poisson limit, par J.W. Müller (Rapport BIPM-80/4, avril 1980, 12 pages).
- Mise à jour de moments empiriques, par J.W. Müller (BIPM WPN-214, mai 1980, 8 pages).
- Moments d'échantillons superposés, par J.W. Müller (BIPM WPN-215, mai 1980, 4 pages).
- Report on some experiments carried out with the $4\pi\beta\text{-}\gamma$ coincidence counting equipment of BIPM, par X.Z. Wu, C. Veyradier, C. Colas, P. Bréonce et A. Rytz (Rapport BIPM-80/5, juin 1980, 22 pages).
- Un nouveau regard sur les probabilités *a priori*, par J.W. Müller (Rapport BIPM-80/6, août 1980, 16 pages).

Certificats et Note d'étude

Du 16 septembre 1979 au 30 septembre 1980, 53 Certificats et 2 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1979

N°

- | | |
|--|--|
| 41. Quatre étalons de force électromotrice
N ^{OS} 42493, 42495, 42502, 42523 | Centre de Recherches Techniques
de la Finlande. |
| 42. Deux étalons de 1 Ω N ^{OS} 1132427 et
1146606 | National Physical Research
Laboratory, Pretoria, Afrique
du Sud. |
| 43. Règle de 1 m N° 10230 en invar (addition) .. | Organisation Européenne pour la
Recherche Nucléaire, Genève,
Suisse. |
| 44. Etalon de 0,1 Ω N° 140113 (addition) | Comité d'Etat de Normalisation,
Sofia, Bulgarie. |
| 45. Deux étalons de 0,1 Ω N ^{OS} 140179 et 140202 . | Id. |
| 46. Trois étalons de 0,01 Ω N ^{OS} 059121, 059123
et 059384 | Id. |
| 47. Trois étalons de 0,001 Ω N ^{OS} 134491, 134546
et 200817 | Id. |
| 48. Quatre étalons de force électromotrice
N ^{OS} 31896, 31946, 32039, 32041 | National Physical Research
Laboratory, Pretoria, Afrique
du Sud. |
| 49. Cinq étalons de force électromotrice N ^{OS}
1345, 1373, 1376, 1377, 1378 (addition) ... | Office Fédéral de Métrologie,
Wabern, Suisse. |
| 50. Cinq étalons de force électromotrice N ^{OS}
47997, 48008, 48021, 48034, 48038
(addition) | Comité d'Etat de Normalisation,
Sofia, Bulgarie. |
| 51. Deux thermocouples N ^{OS} PT3, PT4 | Det Norske Justervesen, Oslo,
Norvège. |
| 52. Kilogramme prototype N° 44 (addition) | Australie. |
| 53. Kilogramme en platine iridié N° E59 | National Research Laboratory of
Metrology, Tokyo, Japon. |
| 54. Un calibre en acier de 100 mm | Meseltron S.A. Division Cary,
Corcelles, Suisse. |
| 55. Huit étalons secondaires de flux lumineux
(2353 K) N ^{OS} 201/307, 202/308, 203/309,
204/310, 205/311, 206/313, 207/314,
208/315 | Office National des Mesures,
Budapest, Hongrie. |
| 56. Six étalons secondaires de flux lumineux
(2787 K) N ^{OS} 501/346, 504/352, 508/363,
510/366, 511/367, 514/370 | Id. |

1979 (suite)

N°

57. Cinq étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N^{OS} 3/987, 4/988, 7/991, 11/995, 16/001 Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
58. Six étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N^{OS} 401/301, 402/302, 405/305, 406/306, 410/311, 411/312 Id.
59. Sept étalons secondaires de flux lumineux (2787 K) N^{OS} 301/243, 302/297, 305/300, 306/301, 311/306, 312/307, 314/309 Id.

1980

1. Ruban géodésique de 24 m N° 10058 (addition) Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
2. Ruban en acier de 25 m N° 177 Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, R.D.A.
3. Deux fils géodésiques de 24 m N^{OS} 123 et 124 Brigade Topographique Nationale du Cadastre, Paris, France.
4. Quatre étalons de force électromotrice N^{OS} T1, T2, 65048, 63270 (addition) Bureau Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie.
5. Règle de 1 m N° 0Y2222 en acier au nickel (addition) National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud.
6. Deux étalons de 1 Ω N^{OS} 1624034, 1844266 (addition) Office Fédéral de Métrologie, Wabern, Suisse.
7. Etalon de 1 Ω N° 726258 Laboratoire de Métrologie fondamentale du Danemark.
8. Quatre étalons de force électromotrice N^{OS} G3651, J8315, J9001, J9009 Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
9. Fil géodésique de 24 m N° 519 (addition) ... Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries, Strasbourg, France.
10. Quatre étalons de force électromotrice N^{OS} 40235, 40237, 40251, 40279 (addition) Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
11. Etalon de 1 Ω N° 225312 (addition) Id.
12. Etalon de 1 Ω N° 230026 Id.
13. Etalon de 10 000 Ω N° 225446 (addition) Id.
14. Cinq calibres en acier de 600, 700, 800, 900, 1 000 mm Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
15. Etalon de masse en acier inoxydable de 1 kg N° KCl Instituto Nacional de Tecnologia Industrial, Argentine.

1980 (suite)

N°

- | | | |
|-----|---|--|
| 16. | Deux étalons de 1 Ω N ^{OS} 074941, 075735 | Polski Komitet Normalizacji i
Miar, Warszawa, Pologne. |
| 17. | Deux étalons de 1 Ω N ^{OS} 40731, 41394 | Id. |
| 18. | Cinq étalons de force électromotrice N ^{OS}
348-71, 364-71, 365-71, 366-71, 320-71 | Institut National de Métrologie,
Bucarest, Roumanie. |
| 19. | Quatre étalons de force électromotrice N ^{OS}
360-71, 321-71, 326-71, 345-71 | Id. |
| 20. | Trois étalons de force électromotrice N ^{OS}
48008, 48034, 48038 (addition) | Comité d'Etat de Normalisation,
Sofia, Bulgarie. |
| 21. | Etalon de 1 Ω N° 076088 (addition) | Id. |
| 22. | Trois étalons de 1 Ω N ^{OS} 224907, 470205,
470461 | Id. |
| 23. | Etalon de 10 Ω N° 088326 (addition) | Id. |
| 24. | Deux étalons de 10 Ω N ^{OS} 086877, 210146 | Id. |
| 25. | Etalon de 100 Ω N° 146237 (addition) | Id. |
| 26. | Deux étalons de 100 Ω N ^{OS} 145401, 146368 ... | Id. |
| 27. | Neuf calibres en acier de 5, 15, 25, 40, 50,
60, 75, 90, 100 mm (addition) | Office Fédéral de Métrologie,
Wabern, Suisse. |
| 28. | Quatre étalons de 1 Ω N ^{OS} 1753639, 1753641,
1756653, 1773191 (addition) | Van Swinden Laboratorium, Delft,
Pays-Bas. |
| 29. | Deux étalons de 10 000 Ω N ^{OS} 851015,
851036 (addition) | Id. |
| 30. | Six étalons de force électromotrice N ^{OS}
66087, 66091, 66124, 66132, 67045, 67049
(addition) | Id. |
| 31. | Quatre étalons de force électromotrice N ^{OS}
42568, 42598, 42567, 52600 | Id. |
| 32. | Etalon secondaire de flux lumineux N° 211
(2353 K) (addition) | Office Fédéral de Métrologie,
Wabern, Suisse. |
| 33. | Mètre prototype N° 3C (addition) | Danemark. |
| 34. | Trois calibres en acier de 60, 70, 90 mm et
trois calibres en carbure de tungstène de
50, 75, 100 mm | National Physical Research
Laboratory, Pretoria, Afrique
du Sud. |

NOTES D'ETUDE

1979

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Quatre calibres en acier de 1 - 1 - 1,21 -
4 mm | Meseltron S.A. Division Cary,
Corcelles, Suisse. |
|----|--|---|

1980

- | | | |
|----|--|--|
| 1. | Règle de 1 m en acier nickel Poldi | Service des Instruments de
Mesure, Paris, France. |
|----|--|--|

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

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

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

L'enquête internationale effectuée par le BIPM courant 1979 sur la diffusion du SI et les progrès de la conversion métrique dans le monde a fait l'objet d'un rapport présenté en octobre 1979 à la 16^e CGPM⁽¹⁰⁾. Ce rapport fait suite aux rapports présentés depuis 1907 aux précédentes Conférences Générales.

La 4^e édition de la brochure du BIPM « Le Système International d'Unités (SI) » est en préparation. Elle tiendra compte des résolutions adoptées par la CGPM depuis la 3^e édition (1977) et des décisions prises par le Comité Consultatif des Unités à sa 7^e session (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 : ISO/TC12, UIPPA, UICPA, URSI, Comité Électrotechnique Français, Comité National Français de l'Éclairage, AFNOR.

Dans le cadre des travaux de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), H. Moreau poursuit, comme secrétaire du Comité Technique 1.1 (Terminologie) et en liaison avec le directeur honoraire J. Terrien, l'important travail que constitue la préparation de la 4^e édition du Vocabulaire International de l'Éclairage.

Au sein du Groupe de travail Symboles, Unités, Nomenclature de l'Association Internationale des Sciences Physiques de l'Océan (AISPO), G. Girard a participé à la rédaction du rapport présenté à l'Assemblée Générale de l'AISPO à Canberra (décembre 1979).

Plusieurs membres du personnel participent régulièrement aux réunions du Comité de direction ou de divers Groupes de travail du Bureau National de Métrologie français.

Voyages, visites, conférences, exposés du personnel

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

P. Giacomo s'est rendu :

— accompagné de A. Sakuma et de G. Girard ++ à Canberra, du 3 au 14 décembre 1979, pour participer à l'Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale à l'occasion de laquelle A. Sakuma a présenté un exposé sur la gravimétrie au BIPM ; il y a donné une conférence au symposium de

⁽¹⁰⁾ MOREAU (H.), Les récents progrès du Système Métrique. *Comptes rendus des séances de la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures* (1979), pp. 103-130.

l'Association Internationale des Sciences Physiques de l'Océan sur « Le SI, langage universel »; ils ont visité à cette occasion le NML à Sydney;

— à Delft, du 4 au 6 juin 1980, pour une réunion du Club de Métrologie de l'Europe de l'Ouest; il y a présenté un exposé sur « Perspectives proches pour la métrologie »; il a visité à cette occasion le Van Swinden Laboratorium;

— à l'Académie des Sciences, à Paris, le 9 juin 1980, où il a été invité à présenter une conférence sur « Métrologie, science fondamentale et science appliquée »;

— accompagné de T.J. Quinn, G. Leclerc, T. Witt et J.-M. Chartier, à Braunschweig, pour participer à la Conference on Precision Electromagnetic Measurements, 1980, du 23 au 27 juin 1980; il y a donné une conférence d'ouverture sur « Tendances pour l'avenir des unités SI ».

T.J. Quinn s'est rendu :

— à Washington, du 26 au 30 novembre 1979, pour visiter plusieurs laboratoires du NBS, participer à la réunion du Groupe de travail 3 du CCT (Températures thermodynamiques supérieures à 100 K) et participer à une discussion avec la Direction du NBS pour mettre au point un accord sur l'achat pour le BIPM de matériel américain par l'intermédiaire du NBS;

— à Ottawa, les 3 et 4 décembre 1979, pour visiter plusieurs laboratoires du NRC;

— à Heidelberg, le 11 juin 1980, pour participer chez Springer-Verlag à une réunion concernant *Metrologia*;

— à Braunschweig, pour la Conference on Precision Electromagnetic Measurements, du 23 au 27 juin 1980; le 28 juin, il a participé à une réunion du « Task Force on Fundamental Constants » de CODATA et à une réunion du « Program Committee » de la 2nd International Conference on Precision Measurements and Fundamental Constants qui aura lieu à Washington en juin 1981;

— à Anvers⁺⁺, du 30 juin au 3 juillet 1980, pour la 7th European Thermophysical Properties Conference: il y a donné la conférence d'ouverture sur « The calculation of the emissivity of blackbody cavities for high temperature pyrometry »; les comptes rendus de cette réunion seront publiés dans *High Temperatures-High Pressures*;

— à York⁺⁺, du 14 au 16 juillet 1980, pour participer à une école d'été sur le thème « Mesure des températures »; il y a donné une conférence d'ouverture sur « The phenomenon of Temperature »;

— à Cambridge, du 9 au 11 septembre 1980, pour la réunion de l'« Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols » de l'UICPA;

— à Turin⁺⁺, deux fois, pour participer au Conseil scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti;

— au NPL, Teddington, 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 été invité à la PTB⁺⁺, Braunschweig, du 12 au 14 décembre 1979; il y a animé un séminaire sur « Ionometrische Messung der Energiedosisleistung in einem mit ⁶⁰Co bestrahlten Graphitphantom. Internationale Vergleiche mit kalorimetrischen Messungen », et a visité plusieurs laboratoires.

Il a aussi participé aux réunions suivantes :

— du 21 au 28 juillet 1980⁺⁺, « Main Commission ICRU », à Helsinki;

— les 8 et 9 septembre 1980⁺⁺ : « Seventh Symposium on Microdosimetry »,

organisé à Oxford par la Commission of the European Communities and the National Radiological Protection Board, UK ; il était Rapporteur de la « Poster Session 1 : Stopping power » ;

— du 15 au 17 septembre 1980⁺⁺ : « ICRU Committee on Stopping Power », Harwell, Didcot.

A. Rytz s'est rendu à Leningrad, du 24 au 28 mars 1980, pour participer à la réunion du Comité TC-8 « Métrologie » d'IMEKO ; à l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléév, il a visité les laboratoires des radionucléides et des mesures neutroniques et discuté des problèmes de comparaisons internationales.

Du 9 au 12 juin 1980, il a participé à la réunion annuelle de l'International Committee for Radionuclide Metrology, au NPL, Teddington.

Les 17 et 18 septembre 1980 G. Leclerc et T. Witt ont visité le département « Électricité » du Van Swinden Laboratorium à Delft (Pays-Bas). Ils ont été particulièrement intéressés par le dispositif de comparaison automatique des piles étalons et par l'installation de comparaison des étalons de transfert courant continu-courant alternatif.

A. Sakuma a présenté un exposé sur la gravimétrie au BIPM au Bureau des Longitudes, Paris, le 7 novembre 1979.

Il s'est rendu :

— du 25 novembre au 18 décembre 1979, au NPL, New Delhi, à l'Université de Singapour, à l'Assemblée Générale de l'UGGI, Canberra, et au NML, Sydney ;

— du 27 février au 13 avril 1980⁺, au Japon, au Geographical Survey Institute, à l'ETL et au NRLM, Tsukuba, à l'International Latitude Observatory, Mizusawa, et à la société Nikon, Tokyo.

J.W. Müller a participé, du 4 au 8 février 1980, au « First international workshop on activation analysis with short-lived nuclides », à Vienne, où il a fait une conférence intitulée « Counting statistics of short-lived nuclides » ; les comptes rendus de cette réunion seront publiés dans le Journal of Radioanalytical Chemistry.

J. Bonhoure a apporté son concours à la session de perfectionnement FORPHESCO organisée par le LCIE à Fontenay-aux-Roses ; il a fait un exposé sur la photométrie le 19 novembre 1979.

Les 7 et 8 mai 1980, il a participé à la réunion organisée à Teddington par le NPL et le Sira : New developments and applications in optical radiation measurement.

Les 12 et 13 septembre 1980, à Vienne, il a assisté à la réunion du Comité Technique 2.2 (DéTECTEURS) de la Commission Internationale de l'Éclairage.

T. Witt a terminé le 30 novembre 1979 le stage qu'il faisait au NML depuis le 15 mars 1979 (Rapport 1979, p. 76).

Il a séjourné au NBS (Gaithersburg) du 26 décembre 1979 au 11 janvier 1980 pour étudier le fonctionnement du comparateur de convertisseurs thermiques que le NBS a offert au BIPM.

Accompagné de D. Reymann, il s'est rendu au LCIE, le 11 février 1980, pour discuter avec M. Knosp du problème de la comparaison des tensions alternatives aux tensions continues et avec F. Delahaye de celui des mesures cryogéniques.

Il a visité le NPL, les 20 et 21 février 1980 ; il s'est entretenu avec A. Hartland de la question des mesures cryogéniques, avec S. Harkness de celle des piles étalons,

avec B. Kibble de celle des condensateurs calculables, avec Ph. Martin et R.B. Knight de celle du passage tension continue-tension alternative.

Il est allé à Berlin, du 5 au 9 mai 1980, pour assister à la conférence « I.C. SQUID » et pour visiter l'Institut de Berlin de la PTB; à cette occasion, il a rapporté une partie des piles étalons que cet Institut a offertes au BIPM.

V.D. Huynh et L. Lafaye ont visité, les 12 novembre et 7 décembre 1979, respectivement, le Service de Protection Sanitaire du CEN, Fontenay-aux-Roses, et le LMRI, CEN, Saclay, pour discuter avec les personnes qui utilisent les chambres d'ionisation en matériau équivalent au tissu musculaire.

G. Girard s'est rendu du 14 novembre au 21 décembre 1979 au Japon et en Australie : il a séjourné du 14 au 23 novembre, au NRLM, Tokyo, puis à Kyoto où il a rendu visite à Chyo Balance Corporation; du 24 au 30 novembre, au NML, Sydney, où il a visité en particulier la section des masses et s'est intéressé aux travaux effectués sur une nouvelle détermination de la masse volumique de l'eau; du 1^{er} au 14 décembre, à Canberra⁺⁺ (Assemblées Générales de l'UGGI et de l' AISPO); du 15 au 21 décembre, à nouveau au NRLM, Tokyo et Tsukuba où il a visité la section des masses et s'est intéressé aux travaux sur la masse volumique de l'eau. Au NRLM et au NML, il a déposé puis repris des étalons de masse qui participent à une comparaison internationale (voir p. 41).

J.-M. Chartier s'est rendu, les 5 et 6 décembre 1979, au NPL, Teddington, où il a assisté à un séminaire sur les travaux récents effectués sur les lasers stabilisés du NPL.

J. Azoubib⁺⁺ a participé, du 5 au 7 février 1980, à Berlin, au Symposium « Symphonie » organisé par le Comité Exécutif Symphonie et, le 1^{er} juillet 1980, à Bonn, à la réunion de travail du Groupe Utilisation Symphonie.

J. Hostache⁺⁺ s'est rendu, du 19 mars au 5 avril 1980 et du 27 juin au 4 juillet 1980, au Geographical Survey Institute, Tsukuba, Japon, au titre de l'assistance technique pour la mise au point d'un gravimètre BIPM-Jaeger.

D.J.E. Knight, du NPL, Teddington, en stage au BIPM, a présenté le 22 avril 1980 à l'Institut d'Électronique Fondamentale, Université de Paris VI, Orsay, un exposé sur « Une nouvelle détermination de la fréquence du laser à He-Ne asservi sur l'absorption saturée du méthane ($f = 88$ THz) avec une incertitude de $\pm 3 \times 10^{-11}$ ».

Le 20 mai 1980, il a présenté, au BIPM, un exposé sur « Mesures de la vitesse de la lumière ».

Du 23 au 27 juin 1980, il s'est rendu à Braunschweig⁺, à la « CPEM-80 »; le 23 juin, il y a présenté une communication de G.J. Edwards, P.R. Pearce, N.R. Gross et lui-même sur « A 3 parts in 10^{11} measurement of the frequency of the methane stabilized, helium-neon laser at 88 THz ». Pour cette communication, les auteurs ont reçu le « Prix Helmholtz 1980 ».

Visites et stages au BIPM

Plusieurs visites ont été organisées pour des groupes d'enseignants (Université d'Angers, le 20 mai 1980), d'étudiants (Université de Paris-7, Sciences de la Terre, le 12 février 1980; École Supérieure de Métrologie, Paris, le 29 avril 1980; Lycée Royal d'Anvers, le 9 mai 1980; École Supérieure de Physique et Mathématiques, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando, le 2 juillet 1980; Lycée de

Munich, le 3 juillet 1980); ou d'ingénieurs (Brigade Topographique du Cadastre, le 17 janvier 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 γ , électrons).

Mr X.Z. Wu (Institut National de Métrologie, Beijing) a terminé, le 31 mai, son stage au cours duquel il a étudié les différentes techniques couramment utilisées au BIPM pour la mesure des radionucléides et des rayons X et γ . Il a pu compléter ses connaissances par des séjours de plusieurs semaines au NPL et au LMRI (Saclay).

Mr D.J.E. Knight (NPL, Teddington) a poursuivi son stage à la section interférométrie (lasers asservis sur l'absorption saturée du méthane).

Mr F.G. Perey, Oak Ridge National Laboratory (É.-U. d'Amérique), nous a fait, le 23 octobre 1979, une conférence sur « Le traitement des incertitudes ».

Profitant de leur passage au BIPM à l'occasion du transport d'étalons électriques, plusieurs spécialistes ont visité la section d'électricité : MM. S. d'Emilio et M. Negro (IEN), le 25 octobre 1979; S. Harkness (NPL), le 29 novembre 1979; G. Bosco et V. Lacquaniti (IEN), le 18 mars 1980; N.V. Stoudentsov, Adjoint au Directeur Général, et Mme Petrossian (IMM), le 24 avril 1980; C. Harmans et P. de Waard (VSL), le 9 juin 1980.

Mr F. Melchert (PTB, Braunschweig) a apporté les piles étalons offertes au BIPM par son laboratoire. Les 5 et 6 novembre 1979, il a visité la section d'électricité et a examiné avec nous la question de la conservation des unités électriques et la meilleure façon d'exprimer la précision des résultats de mesure.

Mr R. Kaarls (VSL) a discuté, les 7 et 8 novembre 1979, du rattachement des représentations de l'ohm et du volt du VSL à celles du BIPM, de la comparaison circulaire d'étalons de transfert courant continu-courant alternatif dont le VSL est le laboratoire pilote, de la méthode à utiliser pour calculer la précision des résultats.

MM. A. Brosed et C.E. Granados (Junta de Energía Nuclear, Madrid) sont venus, du 9 au 26 novembre 1979, participer à la comparaison de leur étalon d'exposition avec celui du BIPM (rayons X du domaine 10 à 50 kV) et à l'étalonnage de trois chambres de transfert de leur laboratoire (rayons X du domaine 100 à 250 kV et cobalt 60).

Mr L. Grimm (PTB, Braunschweig) a passé quelques jours, du 19 au 28 novembre 1979, dans la section d'électricité; il a participé aux mesures Josephson, à la vérification du comparateur de tensions, à la mise au point et aux premiers essais d'un comparateur de courants cryogénique.

Mme Cerutti, du CEN Cadarache, accompagnée de Mr Itié, du LCIE, et de Mr Poitreau, du CEN Fontenay-aux-Roses, est venue, du 21 au 24 janvier et du 9 au 11 juin 1980, mesurer les sensibilités de deux chambres à fission construites au CEN Cadarache, en utilisant notre faisceau étalonné de neutrons de 14,68 MeV.

MM. A. Clairon et Lacharney (LPTF, Paris) ont apporté au BIPM un laser à He-Ne stabilisé sur l'absorption du méthane et ont participé, du 13 au 20 février 1980, à sa comparaison avec les lasers du BIPM.

MM. Guo You Guang, Huang Da Lun, Zhang Guang Yuan, Fang Yong Yuan et Gao Jing Long (NIM, Beijing) ont fait au BIPM, du 30 mars au 5 mai 1980, une mesure absolue de l'accélération due à la pesanteur au moyen d'un gravimètre construit dans leur pays.

MM. Shen Nai Cheng, Li Cheng Yang, Sun Yimin et Wang Chu (NIM, Beijing) ont participé, du 31 mars au 5 mai 1980, aux comparaisons de leurs lasers à He-Ne asservis sur le méthane et sur l'iode avec ceux du BIPM; ils ont visité les sections des longueurs, d'interférométrie et de gravimétrie.

Mr R. Balhorn (PTB, Braunschweig) a effectué, du 21 au 24 avril 1980, un stage à la section des masses et a visité la section des longueurs.

MM. J.-B. Picotto et S. Fontana (IMGC, Turin), au cours de leur séjour du 2 au 13 juin 1980, se sont familiarisés avec les techniques de remplissage de tubes de lasers à He-Ne et ont participé au sauvetage de quatre tubes appartenant à leur laboratoire.

Mr B.N. Taylor (NBS) nous a informés, le 20 juin 1980, de l'état d'avancement de la détermination absolue de l'ohm en cours dans son laboratoire et a discuté avec nous des mesures de capacité et de résistance.

Nous avons profité du passage au BIPM de Mr R.D. Cutkosky (NBS), les 30 juin et 1^{er} juillet 1980, pour contrôler avec lui le fonctionnement de notre pont de comparaison de condensateurs de faibles valeurs, pour recueillir ses avis sur les mesures de capacité et les enceintes thermorégulées.

Mr E. Williams (NBS) nous a conseillés pour la mise en marche d'une partie du dispositif de passage « tension continue — tension alternative », le 8 juillet 1980.

Mr Ullrich (PTB, Braunschweig) a rapporté au BIPM, le 18 août 1980, la règle divisée N° 12924 qui est utilisée pour la comparaison internationale en cours; du 18 au 22 août, au cours de son séjour au BIPM, il a pu discuter avec nous des résultats de cette comparaison et participer à quelques séries de mesure de la règle.

Mr J. Nicolas (Service Belge de la Métrologie) s'est renseigné sur la mise en œuvre de l'Effet Josephson pour constituer une référence de tension, le 8 septembre 1980.

Mr Torner (Det Norske Justervesen) s'est informé en détail des mesures de résistance, de la construction des enceintes thermorégulées, de la conservation des piles étalons et de l'utilisation de l'effet Josephson, le 8 septembre 1980.

Nous maintenons des relations régulières avec MM. P. Cérez, A. Brillat (LHA, Orsay), G. Camy (LPL, Villetaneuse), et avec MM. Dutitre, Gain et Colas (Éts Jaeger, Levallois).

Le Comité ICRU « High Energy Electron Beam Dosimetry » s'est réuni au BIPM les 13 et 14 janvier 1980.

Parmi les visites de courte durée, nous mentionnerons encore celles de :

- Mr A. Dmitruk (Instituto Nacional de Tecnología Industrial de la Rép. Argentine), le 29 octobre 1979 (électricité, masses);
- Mr Chyo, Président de Chyo Balance Corporation (Japon), les 1^{er} et 2 novembre 1979 (masses);
- Mme Lia Zerbino (Centro de Investigaciones Opticas, La Plata, Rép. Argentine), le 7 décembre 1979 (longueurs, lasers);
- Mr J.M. Endters (Meseltron, Le Locle), les 19 décembre 1979 et 11 avril 1980 (mesures de longueurs et spécialement de calibres);
- Mr F. de la Barre (La Radiotechnique, Paris), le 22 janvier 1980 (entretien sur les diverses utilisations des photomultiplicateurs au BIPM);
- Mr A. Michel (Établissement Technique Central de l'Armement, Paris), les 28 janvier, 31 mars et 9 avril 1980 (discussions sur les mesures de calibres);

- Mr P. Bouchareine (INM, Paris), le 6 février 1980 (mesures de longueurs d'onde);
- Mr Gaillard (Microcontrôle, Paris), le 25 février 1980 (interférométrie);
- Mr R.L. Macklin (Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge), le 28 février 1980 (rayonnements ionisants, gravimétrie, masses, longueurs).
- Mr J. Thomas (Laboratoriet for Fundamental Metrologi, Lyngby), le 17 mars 1980 (remise au BIPM du Mètre prototype N° 3C du Danemark);
- Mr J.G. Ulrich (Office Fédéral de Métrologie, Berne), le 18 mars 1980 (transport de calibres);
- Mr J. Skakala (Institut Métrologique Tchecoslovaque, Bratislava), le 19 mars 1980 (remise au BIPM d'une boîte de calibres);
- Mr G. Basile (IMGC, Turin), les 17 et 18 avril 1980 (lasers et discussion sur la mesure de la maille du silicium);
- Mr MacFarlane (NML), le 12 mai 1980 (effet Josephson);
- Mr Naito (Yokogawa Electrical Works, Japon), le 12 mai 1980 (mesures cryogéniques);
- Mr W. Kündig (Université de Zurich), le 27 mai 1980 (rayonnements ionisants);
- Mr N. Kusters (NRC), le 11 juillet 1980 (visite générale du BIPM);
- Mr Elberg (Société Matra), le 26 août 1980 (longueurs, échange de vues sur la détermination de la stabilité dimensionnelle d'éprouvettes en fibre de carbone);
- Mr R.M. Schoonover (NBS), le 22 septembre 1980 (masses) et Mr R.S. Davis (NBS), les 22 et 23 septembre 1980 (masses, électricité);
- Mr I. Johansson (Institut F. Elektrisk Mattekensk, Göteborg) le 23 septembre 1980 (électricité, gravimétrie, longueurs, masses).

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 1979.

Compte I. - Fonds ordinaires

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1979	7 197 155,31
Recettes budgétaires	<u>8 412 235,72</u>
Total	<u><u>15 609 391,03</u></u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires	7 304 304,24
Versement au compte « Remboursement aux États »	40 598,00
Différences de change	406 996,21
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1979	<u>7 857 492,58</u>
Total	<u><u>15 609 391,03</u></u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :

		francs-or
au titre de l'exercice 1979	6 836 426,00	} 7 444 910,00
au titre des exercices antérieurs	584 603,00	
au titre de l'exercice 1980	23 881,00	
Intérêts des fonds		605 820,64
Taxes de vérification		23 096,18
Remboursements des taxes sur les achats		328 490,15
Recettes diverses		<u>9 918,75</u>
Total		<u><u>8 412 235,72</u></u>

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	3 220 285,99	3 600 000	379 714,01	—
2. Allocations familiales	220 045,52	250 000	29 954,48	—
3. Sécurité sociale	237 188,35	225 000	—	12 188,35
4. Assurance-accidents	32 891,89	35 000	2 108,11	—
5. Caisse de retraites	600 000,00	600 000	—	—
	4 310 411,75	4 710 000		
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Bâtiments (entretien et réparations) ..	793 571,97	730 000	—	63 571,97
2. Mobilier	38 417,25	30 000	—	8 417,25
3. Laboratoires et Ateliers	564 848,73	610 000	45 151,27	—
4. Chauffage, eau, énergie électrique	163 989,85	160 000	—	3 989,85
5. Assurances	20 427,19	20 000	—	427,19
6. Impressions et publications	78 273,50	75 000	—	3 273,50
7. Frais de bureau	104 910,91	125 000	20 089,09	—
8. Voyages et transports d'appareils	118 772,01	187 000	68 227,99	—
9. Bureau du Comité	12 000,00	18 000	6 000,00	—
	1 895 211,41	1 955 000		
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires	760 702,73	900 000	139 297,27	—
2. Atelier de mécanique	110 253,53	60 000	—	50 253,53
3. Atelier d'électronique	14 318,83	50 000	35 681,17	—
4. Bibliothèque	33 864,42	30 000	—	3 864,42
	919 139,51	1 040 000		
D. Frais divers :	179 541,57	215 000	35 458,43	—
E. Utilisation de monnaies non convertibles	0	50 000	50 000,00	—
Totaux	7 304 304,24	7 970 000	811 681,82	145 986,06

Compte II. - Caisse de retraites

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1979	1 661 363,00
Intérêts des fonds	167 068,39
Retenues sur les traitements	169 140,45
Virement du Compte I	600 000,00
Total	<u>2 597 571,84</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	518 547,70
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1979	2 079 024,14
Total	<u>2 597 571,84</u>

Compte III. - Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique

Ce compte n'a enregistré en 1979 aucun mouvement en recettes ou dépenses. Comme au 1^{er} janvier 1979, il se présente ainsi :

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1979	<u>441 792,00</u>

Compte IV. - Caisse de prêts sociaux

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1979	19 096,90
Virement du Compte I (12 883,09 FF)	7 100,00
Amortissements partiels des prêts (86 694,93 FF)	47 778,44
Total	<u>73 975,34</u>

DÉPENSES

	francs-or
Prêts consentis (116 000 FF)	63 928,75
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1979 (18 229,73 FF)	10 046,59
Total	<u>73 975,34</u>

BILAN

AU 31 DÉCEMBRE 1979

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	7 857 492,58
Compte II « Caisse de retraites »	2 079 024,14
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	441 792,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	10 046,59
	<hr/>
ACTIF NET	10 388 355,31
	<hr/> <hr/>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française	660 659,96
2° En monnaie U.S.A.	5 121 834,30
3° En monnaie suisse	2 316 673,46
4° En monnaie britannique	29 028,43
5° En monnaie allemande	2 374 536,71
6° En monnaie hongroise	11 069,28
7° En monnaie polonaise	59 287,30

b. Espèces en caisse	29 077,87
	<hr/>
Total	10 602 167,31
	<hr/> <hr/>

A déduire :

Provision pour remboursement aux États ^(*)	213 812,00
	<hr/>
ACTIF NET	10 388 355,31
	<hr/> <hr/>

(*) *Compte « Remboursement aux États »*. — Ce compte était créditeur de 173 214,00 francs-or au 31 décembre 1978. Il a été crédité en 1979 de 40 598 francs-or, représentant le recouvrement sur le Chili (solde 1977 et acompte 1978). Le solde créditeur du compte au 31 décembre 1979 est de 213 812 francs-or. Il sera débité le 1^{er} janvier 1980 pour compenser les remboursements aux États des avances faites pour l'Uruguay de 1966 à 1978, remboursements qui viendront en déduction des contributions de 1980.

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS
(7^e Session – 1980)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par S. GERMAN, Rapporteur
assisté de H. MOREAU

Le Comité Consultatif des Unités (CCU) a tenu sa 7^e session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres ; cinq séances ont eu lieu du 28 au 30 mai 1980.

Étaient présents :

J. DE BOER, Secrétaire du CIPM, président du CCU.
H. JENSEN, Membre du CIPM, président par délégation de cette session du CCU.

Les délégués des laboratoires et organismes membres :

Commission Électrotechnique Internationale [CEI] : Comité d'Études N° 25 (O. BAGER, Ch. H. PAGE).

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (A. ALLISY).

National Bureau of Standards [NBS], Washington (D. T. GOLDMAN).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington [O. C. JONES, R. J. BELL].

Organisation Internationale de Métrologie Légale [OIML] (F. ROTTER).

Organisation Internationale de Normalisation [ISO] : Comité Technique 12 (Mme V. SIMONSGAARD).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (S. GERMAN).

Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée [UICPA] : Commission STU (D. H. WHIFFEN⁽¹⁾).

⁽¹⁾ Mr Whiffen n'a pu assister qu'aux deux séances du 28 mai 1980.

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée [UIPPA] :
Commission SUN-AMCO (L. VILLENA ⁽²⁾).

L'un des membres nominativement désignés :

L. VILLENA ⁽²⁾, Madrid.

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités : State Bureau of Metrology, Beijing (JIANG Youlu);
M. L. McGLASHAN, University College, London; T. J. QUINN, sous-
directeur du BIPM, H. MOREAU et P. CARRÉ (BIPM).

Excusés : P. HONTI, membre du CIPM; J. TERRIEN (CIE); Conseil
National de Recherches, Ottawa; National Research Laboratory of
Metrology, Tokyo; Amt für Standardisierung, Messwesen und Wa-
renprüfung, Berlin (invité).

Absent : Comité d'État des Normes du Conseil des Ministres de
l'U.R.S.S., Moscou ⁽³⁾.

Mr *de Boer* souhaite la bienvenue aux participants. Il présente les
excuses de MM. Honti et Terrien qui sont dans l'impossibilité d'assister à
cette session pour raison de santé, ainsi que celles des représentants du
NRC (Canada), du NRLM (Japon) et de l'ASMW (Rép. Dém. Allemande).

Quelques instants de silence sont observés à la mémoire de
E. G. Rudberg, décédé le 2 janvier 1980, et de G. D. Bourdoun, décédé le
12 avril 1980. E. Rudberg avait participé à toutes les sessions du CCU
depuis sa création, d'abord comme président de la Commission SUN de
l'UIPPA puis comme invité à partir de 1976; G. Bourdoun avait présidé,
dès sa création en 1954, la « Commission du Système d'Unités » jusqu'à sa
transformation en CCU en 1964.

Mr German est désigné comme rapporteur, assisté de H. Moreau
comme secrétaire.

Mr *de Boer*, incomplètement remis d'une maladie, demande à Mr Jensen
de bien vouloir assurer la présidence de cette session du CCU.

L'ordre du jour proposé est adopté, le point 7c étant discuté au début de
la 2^e séance.

1. Résolutions adoptées
par la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures
(octobre 1979)

a) *candela, sievert, litre*

Le *Président* se réfère à la lettre du BIPM envoyée aux membres du
CCU le 19 octobre 1979; cette lettre donnait le texte des résolutions

⁽²⁾ Mr Villena n'a pu assister à la dernière séance du 30 mai 1980.

⁽³⁾ Par une lettre datée du 29 mai 1980 et reçue au BIPM le 2 juin, le Comité des Normes
de l'U.R.S.S. a communiqué son opinion sur les points 1b, 5 et 7 de l'ordre du jour (voir à
l'Annexe U 1).

adoptées par la 16^e CGPM concernant la nouvelle définition de la *candela* (Résolution 3), l'adoption du nom spécial *sievert* pour l'unité SI d'équivalent de dose dans le domaine de la radioprotection (Résolution 5) et l'adoption des symboles l et L pour le *litre* (Résolution 6) (voir Annexe U 2, p. U 17). A de légères modifications près, ces résolutions sont en accord avec les propositions faites par le CCU.

Dans la Résolution 3, les modifications concernent la forme rédactionnelle et non le contenu. Dans la Résolution 6, un paragraphe supplémentaire invite le CIPM à suivre le développement de l'emploi des deux symboles l et L pour le litre et à proposer à la 18^e CGPM la possibilité de supprimer l'un d'eux; le CCU estime qu'une discussion sur ce point est actuellement prématurée.

Au sujet de la Résolution 5 sur le *sievert*, Mr *Goldman* mentionne une lettre d'un professeur de l'Université de Californie, Berkeley, critiquant le texte de cette Résolution. Cette critique, qui rejoint celle qui avait déjà été faite à la 16^e CGPM (voir *Comptes rendus*, p. 75), n'est pas retenue par le CCU.

b) *candela et lumen*

A sa 19^e session (Kyoto, août 1979), la CIE a adopté la résolution suivante concernant le remplacement de la *candela* par le *lumen* comme unité SI de base pour la photométrie :

« La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) reconnaît les raisons qui ont motivé la décision récente du CIPM de maintenir la *candela* comme unité SI de base pour la photométrie, mais elle désire insister sur les avantages techniques de l'adoption du *lumen* comme unité de base.

« La CIE considère que les progrès dans la mesure de la lumière seraient favorisés si le CIPM donnait quelque indication sur la date où ce changement pourrait être effectué. »

Le *Président* rappelle que ce problème a déjà fait l'objet d'une discussion détaillée au CCU en 1978 en présence de Mr Terrien (CCU, 6^e session, 1978, p. U 9). Entre-temps, la nouvelle définition de la *candela* a été adoptée par la 16^e CGPM (Résolution 3). Cette situation devra être portée à la connaissance de la CIE par une réponse écrite.

2. Formulation d'une nouvelle définition du mètre

Le *Président* introduit la question et indique qu'il existe actuellement quatre propositions pour une nouvelle définition du mètre. Ces quatre propositions peuvent être formulées comme suit (voir aussi les documents CCU/80-2, 4, 16, 20).

Soit $\xi = 299\,792\,458$ et $v = 9\,192\,631\,770$, de sorte que $c = \xi$ m/s, $f_{Cs} = v$ Hz, $T_{Cs} = v^{-1}$ s.

- a) Terrien-de Boer (I-1972) CCDM (1979) $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ m} = c \cdot \xi^{-1} \text{ s} = c \cdot (v/\xi) T_{Cs} \\ \text{(trajet parcouru par la lumière pendant } \xi^{-1} \text{ s} = \\ (v/\xi) T_{Cs} \end{array} \right.$
- b) Terrien-de Boer (II-1972) $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ m} = \lambda(\xi \text{ Hz}) \\ \text{(longueur d'onde } \lambda \text{ d'une radiation de fréquence} \\ \text{ce } \xi \text{ Hz)} \end{array} \right.$
- c) H. Jensen (1973) CCU (1974) $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ m} = (v/\xi) \cdot \lambda(v \text{ Hz}) = (v/\xi) \cdot \lambda(f_{Cs}) \\ \text{((v/\xi) fois la longueur d'onde } \lambda \text{ d'une radiation} \\ \text{de fréquence } f_{Cs} = v \text{ Hz)} \end{array} \right.$
- d) Jones (1980) Hall-Ramsey-Purcell (1980) $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ m} = (f/\xi) \cdot \lambda(f \text{ Hz}) \\ \text{((f/\xi) fois la longueur d'onde } \lambda \text{ d'une radiation} \\ \text{de fréquence } f \text{ Hz, où } f \text{ est un nombre arbitraire)} \end{array} \right.$

Le *Président* explique que les trois questions suivantes doivent être considérées :

1. Un changement de la définition du mètre est-il souhaitable ?
2. Si oui, quelle définition doit-on préférer (définition par un temps de vol ou définition par une longueur d'onde) ?
3. Si la préférence est donnée à une définition par une longueur d'onde, doit-on utiliser la fréquence de transition du césium ou doit-on laisser la fréquence indéterminée ?

La discussion a montré que les raisons suivantes militent en faveur d'un changement : les progrès technologiques permettent d'effectuer des mesures plus précises (*Page*); les métrologistes qui effectuent maintenant des mesures dont la précision est supérieure à celle de la définition actuelle du mètre seraient contraints à s'écarter du SI (*Jones*); après la première étape qui a consisté à fixer la valeur de la vitesse de la lumière en mètres par seconde, une seconde étape devrait suivre pour établir une corrélation logiquement correcte entre le mètre, la seconde et la vitesse de la lumière (*de Boer*). L'opinion générale était qu'aussi bien du point de vue de l'expert que du point de vue psychologique, il s'agit d'améliorer la précision plutôt que d'effectuer un changement radical.

Au cours de la discussion, on a fait l'inventaire des avantages et des inconvénients des divers types de définitions (par exemple en ce qui concerne les effets relativistes et la dispersion). Une définition qui ferait appel à une longueur d'onde serait préférable car elle apparaîtrait plus facilement comme une amélioration de la définition actuelle; elle présenterait en outre d'autres avantages tels qu'une structure analogue à celle de la définition de la seconde et par suite un comportement semblable en ce qui concerne les effets relativistes possibles.

Un résumé des conclusions auxquelles est parvenu le CCU est donné dans le texte ci-après qui rassemble les arguments les plus importants. Ce

texte sera présenté au CIPM et au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM). Il suggère en particulier que la nouvelle définition du mètre à proposer finalement au CIPM soit établie conjointement par le CCU et le CCDM.

Au cours de sa session de mai 1980, le CCU a examiné les diverses formulations proposées pour une nouvelle définition du mètre.

Le CCU a en particulier étudié la définition proposée par le CCDM en 1979 :

« Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par les ondes électromagnétiques planes pendant une durée de $1/299\,792\,458$ de seconde. » (CCDM, 6^e session, 1979, Recommandation M 2 (1979), p. M 17.)

Il a toutefois exprimé sa préférence pour une définition fondée sur une longueur d'onde plutôt que sur le trajet parcouru par une onde électromagnétique en un temps donné. L'une des premières raisons de cette préférence est qu'une définition fondée sur une longueur d'onde ressemble davantage à la définition actuelle, fondée sur la longueur d'onde étalon du krypton 86. Cela rendrait la définition plus facilement compréhensible pour le public et le changement de l'ancienne à la nouvelle définition paraîtrait certainement moins radical.

L'attention du CCU est aussi attirée sur le fait, pour ce qui est des effets relativistes, qu'une définition du mètre fondée sur une longueur d'onde et une définition de la seconde fondée sur une fréquence atomique sont de nature semblable et entraînent le même genre de considérations relativistes, tandis qu'une définition fondée sur le trajet parcouru par une onde électromagnétique peut conduire à des considérations relativistes plus élaborées.

Les deux définitions suivantes, toutes deux fondées sur une longueur d'onde, ont été discutées en détail :

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. » (CCU, 4^e session, 1974, p. U 11-12.)

2. « Le mètre est la longueur égale à $f/299\,792\,458$ longueurs d'onde dans le vide d'une onde électromagnétique plane infinie dont la fréquence, exprimée en hertz, a la valeur numérique f . » (Jones (1980), Hall-Ramsey-Purcell (1980) : documents CCU/80-16 et 80-20.)

Le CCU propose d'avoir une réunion commune avec le CCDM afin d'étudier ces propositions dans le but d'arriver à une proposition finale qui serait présentée au CIPM.

Au cours de la discussion au CCU, les avantages et inconvénients suivants des deux définitions ont été signalés :

La définition 1 a l'inconvénient de relier la définition du mètre à la définition *actuelle* de la seconde. En revanche, elle a l'avantage de montrer de façon claire que, si l'on fixe la valeur numérique de la vitesse de la lumière, *un étalon et un seul* (dans le cas présent la transition spécifiée de l'atome de césium) peut être choisi pour définir la seconde et le mètre.

La définition 2 a l'avantage d'être reliée à la définition de la seconde indépendamment de l'étalon choisi pour cette définition, à quelque époque que ce soit. Du

point de vue métrologique, il en résulte un autre avantage : il devient plus évident qu'il est légalement acceptable de réaliser le mètre au moyen de chaque transition atomique ou moléculaire dont la fréquence est connue par comparaison directe ou indirecte avec celle de la transition qui sert à définir la seconde. Les *inconvenients* de la définition 2 sont *a*) qu'elle admet implicitement que la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide est indépendante de leur fréquence (pas de dispersion), *b*) qu'il est difficile pour un non-spécialiste de comprendre qu'une unité dont la définition comporte une fréquence arbitraire peut cependant être définie de façon non équivoque. Cela pourrait être expliqué facilement dans la résolution finale, mais il serait difficile de l'inclure dans la définition elle-même. L'inconvénient (*a*) peut ne pas être important, puisque des expériences avec le rayonnement de pulsars montrent que la variation de la vitesse dans le domaine de fréquence en question n'est pas significative dans le contexte actuel (*Phys. Rev. D*, 5, 1972, p. 796). L'inconvénient (*b*) est toutefois plus réel et mérite un examen supplémentaire.

Mr *McGlashan* souligne la nécessité de bien faire apparaître dans la nouvelle définition que le mètre reste une unité de base du SI, autrement une certaine confusion pourrait se produire dans l'enseignement.

3. Unités supplémentaires

(*radian, stéradian*)

Conformément à la Résolution 3 qu'il a adoptée à sa 8^e Réunion plénière (Copenhague, septembre 1978), l'ISO/TC12 a demandé au CCU de clarifier la position des unités supplémentaires radian et stéradian (document CCU/80-3). Plusieurs autres documents concernaient des discussions antérieures (CCU/80-5a, b, c, d, e) et des considérations récentes (CCU/80-6, 17, 19) sur cette question. Mme *Simonsgaard* déplore la situation confuse qui dure depuis une trentaine d'années.

Le *Président* commente le document CCU/80-6 qui montre qu'il est possible en principe de traiter les unités radian et stéradian comme des unités de base, mais que cela entraînerait des conséquences considérables pour les mathématiques, la physique et la technologie. De plus, il en résulterait des changements importants dans les Normes internationales ISO 31 où ces deux unités sont traitées comme des unités dérivées. Mr *McGlashan* ajoute que dans la littérature on n'a jamais traité jusqu'à maintenant ces unités comme des unités de base, ni demandé un tel traitement.

Le *Président* résume la situation. Lorsque le SI fut introduit par la 11^e CGPM en 1960, la classe des unités supplémentaires fut établie sans donner d'indications sur leurs caractéristiques particulières. Une première déclaration plus précise fut faite par le CIPM dans sa Recommandation 1 (1969). Sur la base de cette Recommandation, le problème est maintenant de rendre la situation encore plus claire puisque, dans certains cas, la façon d'écrire les équations dans le SI reste contestable.

Le document CCU/80-6 montre qu'un traitement du radian comme unité de base et de l'angle plan comme grandeur de base oblige à remplacer l'équation bien connue $\alpha = s/r$ définissant l'angle plan, par l'équation $\alpha = \alpha_0 \cdot s/r$ dans laquelle α_0 est un facteur dimensionnel. L'équation $\alpha = s/r$ définit l'angle plan comme une grandeur dérivée sans dimension, tandis que l'équation $\alpha = \alpha_0 \cdot s/r$ permettrait de considérer l'angle plan comme une grandeur de base. Dans le cadre du SI et sur la base du calcul des grandeurs, de nombreuses équations devraient être écrites différemment si le radian et le stéradian étaient considérés comme des unités de base.

Une solution du problème pourrait être la suivante : la classe des unités SI supplémentaires peut être conservée sans changement, avec toutefois une explication complémentaire du CIPM sur la nature de ces unités. Cela n'entraîne aucune conséquence en dehors du SI.

En conclusion de la discussion et bien que deux délégués aient exprimé des réserves, le CCU adopte sans avis contraire la *Recommandation* U 1 (1980), p. U 12, déclarant que la liberté initialement admise de traiter les unités radian et stéradian comme des unités de base menacerait la cohérence interne du SI qui est fondé sur sept unités de base seulement. Les unités supplémentaires sont par conséquent des unités sans dimension pour lesquelles la CGPM n'a pas décidé si elles doivent ou non être explicitées dans les expressions des unités dérivées.

4. Révision de la 3^e édition (1977) de la brochure du BIPM sur le SI

Le document CCU/80-7 préparé par le BIPM est examiné. Ce projet de la 4^e édition de la brochure sur le SI tient compte des décisions de la 16^e CGPM, du CIPM et du CCU, et d'un certain nombre d'amendements rédactionnels proposés par le BIPM. D'autres suggestions sont faites dans les documents CCU/80-15 et 18.

Au cours de la discussion, les points suivants ont été soulignés :

1. Le CCU confirme la position qu'il avait prise en 1978 (CCU, 6^e session, p. U 3), à savoir que les recommandations de l'ISO/TC12 pour les noms des grandeurs sont suivies dans les éditions en français et en anglais de la brochure sur le SI, mais que seule l'édition en français constitue le document officiel. L'autorisation donnée pour les traductions en langue anglaise se réfère seulement au fond et non à la forme ; ces traductions sont faites sous la responsabilité des traducteurs.

2. L'unité spéciale « rem » a été ajoutée dans le tableau 10 afin de donner son équivalence en sievert.

3. Le paragraphe II.3 (Unités SI supplémentaires) sera modifié conformément aux décisions prises au point 3 ci-dessus.

4. Une note au sujet de la rationalisation sera ajoutée à la fin du paragraphe I.2.

5. Les recommandations de l'ISO, par exemple dans le paragraphe II.2.2., continueront à être citées. Cela constituera en quelque sorte une reconnaissance de ces recommandations par les organes de la Convention du Mètre ; ces recommandations seront présentées de façon telle que l'on puisse bien distinguer les domaines de compétence respectifs.

5. Puissances de 10

A la suite des propositions faites à sa session de 1976 (CCU, 5^e session, p. U 8-9 et document CCU/80-9), le CCU avait chargé l'ISO/TC12 d'effectuer une enquête auprès de ses membres sur la manière satisfaisante d'exprimer les puissances de 10.

Mme *Simonsgaard* présente les conclusions de cette large enquête (document CCU/80-8) qui n'a fait apparaître aucune préférence marquée pour un certain mode d'écriture des puissances de 10. Les milieux du traitement de l'information n'ont pas réservé un accueil favorable aux propositions faites.

Le *Président* constate toutefois que plusieurs grands pays ont en fait approuvé les notations « dex » et « nex ». Il serait donc souhaitable de poursuivre la discussion avec ces pays et peut-être de commencer avec une solution uniforme.

Au cours de la discussion, Mr *Jiang* présente un document dans lequel il expose le point de vue de son pays : « La République Populaire de Chine n'est pas en faveur d'utiliser un nouveau mode d'écriture des puissances de 10 à la place des préfixes SI qui constituent un puissant talisman pour expliquer et favoriser l'emploi du SI en Chine. La suppression des préfixes SI serait beaucoup plus ressentie qu'un éventuel remplacement de la candela par le lumen comme unité de base. »

6. Masse et poids

Dans le document CCU/80-10, Mr *German* expose les problèmes résultant de l'ambiguïté du mot « poids » (« weight »). Il souligne que, pour cette raison, de nombreuses organisations nationales de normalisation évitent d'employer le mot poids. Une terminologie plus précise, en accord avec la Déclaration de la 3^e CGPM (1901), serait utile. Mme *Simonsgaard* remarque que c'est un problème international ; c'est une cause fréquente de confusion, même dans l'enseignement.

La discussion montre que le problème n'est évidemment pas le même dans toutes les langues. En espagnol, les différents concepts peuvent être distingués (*Villena*) ; en français, il est admis que le poids est une force (*Giacomo, Allisy*). Le *Président* et Mr *Goldman* notent que dans certains milieux des États-Unis d'Amérique on n'accepte aucune forme d'altération du mot « weight ».

Après un échange de vues général, le CCU estime que le document CCU/80-10 doit être étudié plus à fond, indépendamment de la Déclaration de 1901. Les grandeurs décrites dans le document serviraient pour une enquête auprès des instituts métrologiques à qui l'on demanderait le nom qu'ils utiliseraient pour ces grandeurs. L'étude ultérieure de cette question serait ensuite laissée au Comité Consultatif pour les Masses dont le CIPM a décidé la création.

7. Questions diverses

7a. Abrogation de la tolérance d'emploi des symboles « °K » et « deg »

Le CCU est d'accord pour mettre un terme à l'emploi des symboles « °K » et « deg » dont l'utilisation temporaire restait admise d'après le point 4 de la Résolution 3 de la 13^e CGPM (1967).

Il demande au CIPM de déclarer que cette tolérance doit être maintenant abrogée et que les symboles « °K » et « deg » ne doivent plus être employés à partir d'une certaine date.

7b. Emploi de l'électronvolt (eV), du barn (b) et de l'unité de masse atomique unifiée (u)

Le document CCU/80-12 concerne l'emploi de ces unités et leur remplacement par des unités SI. Le CCU s'est déclaré d'accord pour n'apporter aucun changement dans la brochure sur le SI. La question du « barn » a déjà été discutée à la précédente session (CCU, 6^e session, 1978, p. U 3). Les unités « électronvolt » et « masse atomique unifiée » doivent être conservées dans les tableaux pour le moment car elles sont utiles dans certains domaines spécialisés.

7c. Définition de la mole

Mr *Whiffen* commente la proposition faite par l'UICPA (document CCU/80-13) : quelques précisions devraient être ajoutées à la définition de la mole afin de spécifier explicitement l'état de référence de l'atome de carbone 12.

Pour Mr *McGlashan*, il est difficile de concevoir une définition qui soit parfaite à tous égards; par exemple, le mot « non lié » (« unbound ») se réfère en principe à un atome isolé, ce qui ne peut naturellement être réalisé dans la pratique des mesures. Le CCU estime que la définition de la mole doit rester inchangée. Dans la brochure sur le SI, la note suivante sera toutefois ajoutée à la fin du paragraphe II.1.1.f :

« Dans cette définition, il est entendu que l'on se réfère à des atomes de carbone 12 non liés, au repos et dans leur état fondamental. »

7d. *Informations sur l'adoption des unités SI dans le monde*

Mr *Giacomo* présente le rapport établi par le BIPM pour la 16^e CGPM (octobre 1979) (*). Ce rapport sur l'expansion continue et l'adoption du SI dans le monde, dans les normes et les réglementations légales, montre que les progrès sont parfois rapides, parfois lents.

Mr *Bager* observe qu'aucun pays ne s'écarte du SI. Le *Président* remarque que la plus importante décision prise dans les dix dernières années a été la conversion au SI dans les pays anglo-saxons.

7e. *Unité « einstein »*

Au nom du « Department of Plant Sciences » (Université de Leeds, Royaume-Uni), Mr *Bell* présente un document proposant que le CCU se prononce sur le nom spécial « einstein » pour la quantité d'énergie rayonnante qui correspond à une mole de photons de fréquence spécifiée, et que ce nom d'unité soit inclus dans le Tableau 8 (Unités en usage avec le SI).

Le CCU ne voit pas l'utilité de cette unité. Il estime aussi que la grandeur physique en question n'est pas clairement définie et il ne donne pas suite à cette proposition.

7f. *Unités de viscosité (centipoise et centistokes)*

Mr *Goldman* remarque que si l'emploi dans l'industrie pétrolière des unités « centipoise » et « centistokes », sous-multiples des unités CGS, reste légalement admis jusqu'au 31 décembre 1985 dans les pays membres de la Communauté Économique Européenne (CEE), ce qui se passera ensuite n'apparaît pas clairement. L'industrie pétrolière a un intérêt essentiel à l'emploi des unités SI mais, étant donné que les unités SI dérivées et leurs sous-multiples sont peu commodes, des discussions ultérieures seront nécessaires pour le passage aux unités SI (voir aussi *CCU*, 6^e session, 1978, p. U 6).

7g. *Unités « cohérentes »*

Une brève discussion a lieu sur le concept de cohérence dans le cadre du SI. Le centimètre, par exemple, est-il une unité SI ? Selon la Recommandation 1 (1969) du CIPM, seules les unités SI de base, supplémentaires et dérivées forment un ensemble cohérent ; le mètre est l'unité « cohérente » de longueur du SI, mais son sous-multiple décimal, le centimètre, n'est pas une unité SI cohérente. Il est important que cette notion soit correctement présentée dans l'enseignement.

Afin de bien préciser ce point, un paragraphe sera ajouté dans la brochure sur le SI, à la fin de la Section I.2, expliquant le principe de la cohérence des unités et des équations.

(*) H. MOREAU, Les récents progrès du Système Métrique. *Comptes rendus des séances de la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures* (1979), pp. 103-130.

7h. Noms spéciaux pour mètre carré et mètre cube

Mr Page revient sur la question de l'attribution de noms spéciaux pour les unités « mètre carré » et « mètre cube » (CCU, 4^e session, 1974, p. U 13 et 6^e session, 1978, p. U 12). Mr de Boer pense que cette question pourrait être considérée par le CIPM.

Résumé des conclusions

A. — Parmi les diverses possibilités pour une nouvelle définition plus précise du mètre, la préférence est donnée à celles qui sont fondées sur une longueur d'onde. Les discussions seront poursuivies conjointement avec le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM) (point 2).

B. — En ce qui concerne les unités supplémentaires, la Recommandation U 1 (1980) a été adoptée. Cette Recommandation déclare que la cohérence interne du SI, fondé sur sept unités de base seulement, serait menacée si les unités radian et stéradian étaient traitées comme des unités de base. Ces deux unités supplémentaires doivent être considérées comme des unités sans dimension pour lesquelles la CGPM n'a pas décidé si elles doivent ou non être explicitées dans les expressions des unités dérivées (point 3).

C. — La révision de la 3^e édition (1977) de la brochure sur le SI a été examinée en tenant compte des décisions de la 16^e CGPM, du CIPM, du CCU et de propositions du BIPM (points 4, 7a, b, c et g). Un projet de la 4^e édition sera soumis au CCU.

D. — Il est recommandé que le CIPM fasse le nécessaire pour que l'emploi des symboles « °K » et « deg » ne soit plus admis (point 7a).

*
* *

Le Président Jensen rend la présidence à Mr de Boer qui indique que Mr Moreau, dont la retraite du BIPM est prochaine, assiste pour la dernière fois à une session du CCU.

Mr de Boer remercie vivement Mr Moreau pour le travail consciencieux et minutieux qu'il a effectué pendant de nombreuses années pour le secrétariat du CCU. Il lui souhaite une bonne fin de carrière et une heureuse retraite. Mr Moreau, très touché de cette marque d'estime, remercie le CCU.

*
* *

Au moment de clore cette 7^e session du CCU, Mr de Boer remercie Mr Jensen d'avoir accepté de présider la session par délégation.

Au nom de tous les participants, Mr Page remercie le Président Jensen pour la patience dont il a fait preuve au cours des discussions qui ont permis de résoudre avec succès certains problèmes difficiles.

(Juin 1980)

**Recommandation
du Comité Consultatif des Unités
présentée
au Comité International des Poids et Mesures**

Unités supplémentaires radian et stéradian

RECOMMANDATION U 1 (1980) **

Le Comité Consultatif des Unités,
prenant en considération la Résolution 3 adoptée par l'ISO/TC12 en 1978 *,

considérant

– que les unités radian et stéradian sont introduites usuellement dans des expressions des unités pour des besoins de clarification – notamment en photométrie où le stéradian joue un rôle important pour distinguer les unités correspondant aux diverses grandeurs,

– que dans les équations utilisées on exprime généralement l'angle plan comme le rapport entre deux longueurs et l'angle solide comme le rapport entre une aire et le carré d'une longueur, et par conséquent que ces grandeurs sont traitées comme des grandeurs sans dimension,

– que l'étude des formalismes en usage dans le domaine scientifique montre qu'il n'en existe aucun qui soit à la fois cohérent et convenable, et dans lequel les grandeurs angle plan et angle solide soient considérées comme des grandeurs de base,

considérant aussi

– que l'interprétation donnée par le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) en 1969 pour la classe des unités supplémentaires introduite dans la Résolution 12 de la 11^e Conférence Générale des Poids et Mesures en 1960 laisse la

* « The Plenary Meeting of ISO/TC12 (Copenhagen, September 1978) instructs the Secretariat to ask the Comité International des Poids et Mesures through the Comité Consultatif des Unités to take all possible actions to arrive at a decision that would make it clear whether the radian and the steradian are derived units or base units, ... »

** A sa 60^e session (octobre 1980), le CIPM a adopté la Recommandation 1 (CI-1980) qui reprend, avec quelques modifications, cette Recommandation U 1.

Les modifications apportées par le CIPM sont les suivantes :

– au début de la Recommandation, lire :

« Le Comité International des Poids et Mesures,

prenant en considération la Résolution 3 adoptée par l'ISO/TC 12 en 1978 et la Recommandation U 1 (1980) adoptée par le Comité Consultatif des Unités (CCU) à sa 7^e session »;

– au 2^e considérant, 2^e alinéa : remplacer « menace » par « compromet »;

– à l'alinéa final : remplacer « recommande au CIPM » par « décide »; ajouter « dérivées » après « comme une classe d'unités »; remplacer « ne décide pas si elles doivent être introduites » par « laisse la liberté de les utiliser ».

liberté de traiter le radian et le stéradian comme unités de base dans le Système International,

— qu'une telle possibilité menace la cohérence interne du Système International fondé sur sept unités de base seulement,

recommande au CIPM d'interpréter la classe des unités supplémentaires dans le Système International comme une classe d'unités sans dimension pour lesquelles la Conférence Générale des Poids et Mesures ne décide pas si elles doivent être introduites ou non dans les expressions des unités dérivées du Système International.

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
(13^e Session – 1980)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par M. DURIEUX, Rapporteur

Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) s'est réuni pour sa 13^e session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu cinq séances les 17, 18 et 19 juin 1980.

Étaient présents :

H. PRESTON-THOMAS, membre du CIPM, président du CCT.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],
Berlin (H. MAAS).

Bureau National de Métrologie, Paris : Institut National de Métrologie [INM] du Conservatoire National des Arts et Métiers
(A. MOSER, G. BONNIER).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (R. E. BEDFORD).
Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (L. CROVINI,
F. PAVESE).

Kamerlingh Onnes Laboratorium [KOL], Leiden (M. DURIEUX).
National Bureau of Standards [NBS], Washington (J. F. SCHOOLEY,
R. P. HUDSON).

National Measurement Laboratory [NML], Lindfield
(W. R. G. KEMP, L. M. BESLEY).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (P. B. COATES,
R. L. RUSBY, J. R. GOTT).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(W. THOMAS).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités : Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (LING Shan-Kang); Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (P. BLOEMBERGEN).

Assistaient aussi à la session : T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM, J. BONHOURE et G. GIRARD (BIPM).

Excusés : J. DE BOER (Amsterdam), F. G. BRICKWEDDE (Pennsylvania), J. SKAKALA (Bratislava), C. A. SWENSON (Ames), membres nominativement désignés ; Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie (invité).

Absents : Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad ; Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques [IMPR], Moscou ; National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tokyo ; M. COLOMINA (Madrid), membre nominativement désigné.

Les points principaux qui ont été discutés au cours de la session, ainsi que les conclusions auxquelles le CCT est parvenu, sont résumés ci-après.

Remplacement de l'Échelle Internationale Pratique de Température (EIPT)

L'échéance de 1987, retenue lors de la précédente session pour le remplacement de l'EIPT, semble pouvoir encore être tenue. Toutefois, cela dépend de la solution apportée à temps à un certain nombre de problèmes importants. Les membres du CCT sont tous d'accord pour penser qu'il ne faut pas sacrifier la qualité d'une nouvelle version de l'EIPT à la satisfaction d'un calendrier déterminé à l'avance ; les laps de temps nécessaires pour trouver des solutions à des problèmes particuliers risquent d'entraîner des retards dans la mise en œuvre d'une nouvelle échelle.

Rapports des Groupes de travail

GT1 : Ce Groupe a étudié un projet préliminaire des Renseignements complémentaires à l'EIPT-68. On pense que ce projet pourra, dans une large mesure, être valable aussi avec la nouvelle version de l'EIPT.

GT2 : Ce Groupe a donné quelques mises à jour concernant les points de référence secondaires. Il a discuté l'exactitude et la précision d'un certain nombre d'échelles secondaires de température, en mettant l'accent sur les échelles définies au moyen des thermocouples en différents alliages platine-rhodium dans le domaine de 0 °C à 1 800 °C.

GT3 : Ce Groupe a rendu compte des travaux en cours concernant la mesure des températures thermodynamiques au-dessus de 100 K. Il a parlé de la situation actuelle au NBS des thermomètres à résistance pour les hautes températures et de l'emploi éventuel de ces thermomètres comme instruments de mesure appropriés dans la nouvelle EIPT.

GT4 : Ce Groupe a discuté des points suivants : réalisations dans différents laboratoires de l'EPT-76 qui a été promulguée en 1978, travaux en cours pour la mesure des températures thermodynamiques au-dessous de 100 K, formes que pourrait revêtir une nouvelle EIPT dans le domaine de température inférieur à 100 K.

GT5 : Ce Groupe a passé en revue les avantages et les inconvénients des différents thermomètres utilisés à des températures inférieures à 30 K, en insistant en particulier sur les thermomètres à résistance, le thermomètre à gaz à volume constant et les thermomètres magnétiques.

Thermomètres à résistance de platine pour les hautes températures

Depuis plus d'une décennie le CCT pense qu'on ne devrait pas utiliser le thermocouple platine à 10 % de rhodium comme instrument d'interpolation de l'EIPT ; le thermomètre à résistance de platine, susceptible de mesures plus exactes, devrait le remplacer sur tout ou presque tout le domaine de température, de 630 °C à 1 064 °C. Dans la pratique, toutefois, en dépit de nombreux essais, on n'a pas réussi à produire, pour le domaine de 630 °C à 1 064 °C, de thermomètres à résistance de platine assurant une bonne exactitude, durables et d'un prix raisonnable.

Un nouveau modèle conçu au NBS promet maintenant de modifier cette situation. Le CCT en a discuté très longuement ; il en est arrivé à la conclusion que ce modèle semblait promettre d'être à la fois satisfaisant et disponible pour la promulgation d'une nouvelle EIPT en 1987 ; le CCT a chaudement encouragé la mise au point finale, la production à petite échelle et les essais de ce thermomètre. Les résultats du programme d'essais devraient permettre au CCT de déterminer si la température de jonction avec le pyromètre optique devrait être maintenue à 1 064 °C ou devrait être ramenée à 960 °C.

Extension de l'EIPT vers les basses températures

L'EPT-76 couvre le domaine de 0,5 K à 30 K, et la limite inférieure actuelle de l'EIPT se situe approximativement à 14 K. Le CCT a passé un temps considérable à discuter de ce domaine de température et du choix de la limite inférieure de température pour la prochaine version de l'EIPT.

Un groupe de travail présentera à la prochaine session du CCT un rapport portant sur cette discussion et sur la poursuite de l'étude de cette question. Les contributions apportées à ce groupe de travail par les experts intéressés seront particulièrement appréciées.

Réalisations secondaires de l'EIPT

Le CCT a longuement discuté la possibilité d'avoir diverses réalisations secondaires de l'EIPT. Tout le monde a été d'accord pour dire qu'on

devrait fournir des conseils pour des réalisations de ce genre ; mais on ne s'est pas mis d'accord sur la façon précise dont cela devrait être fait. A partir de cette discussion et des renseignements fournis par le rapport du GT2, le CCT a recommandé l'utilisation du thermocouple platine/platine à 13 % de rhodium comme base d'une réalisation secondaire de l'EIPT entre 0 °C et 1 100 °C environ, et le thermocouple platine/platine à 30 % de rhodium entre 1 000 °C et 1 800 °C environ. Ce sujet sera approfondi et un rapport sera présenté au CCT par un groupe de travail.

Comparaison de cellules scellées à point triple

F. Pavese, coordonnateur de la comparaison, a rendu compte d'une réunion des représentants de divers laboratoires participants qui s'est tenue juste avant la session du CCT. Les résultats provisoires indiquent que les cellules fonctionnent mieux que prévu, probablement suffisamment bien pour être utilisées pour des réalisations primaires de points fixes.

Les résultats font apparaître aussi un accord satisfaisant entre les réalisations de l'EIPT dans les différents laboratoires. Étant donné ces résultats favorables, le champ de la comparaison a été élargi ; toutefois, on espère encore achever cette comparaison d'ici à la fin de 1981.

Réorganisation des Groupes de travail

Les tâches assignées aux Groupes de travail du CCT au cours des dernières années sont, ou presque, achevées avec succès. Les Groupes de travail ont par conséquent été reconstitués afin de faciliter l'accomplissement d'une nouvelle série de tâches, comportant en particulier celles qui ont trait à la mise au point du texte, aux définitions techniques et à la documentation nécessaire pour la nouvelle EIPT envisagée. Les Groupes de travail sont maintenant au nombre de quatre (au lieu de cinq) et les tâches ont été réparties comme suit :

GT1 : Préparation des grandes lignes du projet d'une nouvelle EIPT sous une forme permettant sa discussion par le CCT en 1982.

Préparation d'un document contenant les renseignements complémentaires à l'EIPT, document devant être prêt à publier après discussion par le CCT en 1982, avec révisions périodiques ultérieures.

GT2 : Poursuite de l'étude des températures de référence secondaires (celles disponibles et celles proposées).

Préparation d'un document décrivant une bonne pratique en thermométrie, portant sur les techniques secondaires, y compris les réalisations secondaires de l'EIPT mais excluant les sujets traités dans le document du GT1. Un premier projet doit être présenté au CCT en 1982.

GT3 : En vue de la nouvelle EIPT, préparation des équations d'interpolation pour le domaine de température (éventuellement de 14 K à 1 064 °C) couvert par les thermomètres à résistance de platine.

Choix d'une température de jonction entre le domaine du thermomètre à résistance de platine et celui du pyromètre optique.

Choix des points fixes dans le domaine du thermomètre à résistance de platine.

Choix, en liaison avec le GT4, d'une limite inférieure pour le domaine de température dans lequel le thermomètre à résistance de platine définira l'EIPT.

Organisation d'une comparaison et évaluation du comportement des thermomètres à résistance de platine aux températures élevées, actuellement à l'étude ou de ceux prochainement construits.

Étude des mesures de température thermodynamique supérieures à 14 K.

GT4 : Établissement des recommandations sur tous les aspects du changement de l'EIPT au-dessous du domaine du thermomètre à résistance de platine et concertation avec le GT3 pour déterminer la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine.

(Septembre 1980).

Recommandation
du Comité Consultatif de Thermométrie
présentée
au Comité International des Poids et Mesures

RECOMMANDATION T 1 (1980)

Le Comité Consultatif de Thermométrie,

1. *considérant*

- qu'il a la charge de la rédaction d'une nouvelle version de l'Échelle Internationale Pratique de Température,
- que dans plusieurs domaines de température les informations actuelles sur les températures thermodynamiques ne sont pas suffisantes, soit parce que les résultats expérimentaux sont trop rares, soit parce que les incertitudes sont excessivement grandes, et que l'on a un besoin urgent de ces informations,

recommande que les travaux sur la mesure des températures thermodynamiques soient développés, principalement dans les domaines de température de 14 à 90 K et de 0 à 1 100 °C.

2. *considérant* que la possibilité de définir une nouvelle échelle pour la mesure des hautes températures est limitée par le manque de thermomètres à résistance de platine dont les caractéristiques soient bien définies et bien reproductibles,

recommande que l'on entreprenne des travaux visant à la construction et à l'étude des thermomètres à résistance de platine pour les températures Celsius jusqu'à 1 100 °C, puis des comparaisons internationales de ces thermomètres.

3. *considérant* que la méthode actuelle de détermination des températures dans l'Échelle Internationale Pratique de Température entre les points fixes de définition n'est pas suffisamment précise et qu'elle est à certains égards discontinue,

recommande que des recherches soient entreprises pour trouver entre les points fixes des méthodes d'interpolation qui améliorent la précision et la continuité des échelles à venir en fonction de la température thermodynamique.

4. *considérant* le besoin d'un point fixe de référence entre 7 et 14 K,

recommande que l'on étudie le point de transition du niobium de l'état normal à l'état supraconducteur.

ANNEXE I

**RAPPORT
SUR LA RÉUNION CONCERNANT LES MESURES DE PRESSION**

(20-21 mars 1979)

par P. R. STUART, Rapporteur

A la suite d'une proposition du Bureau International des Poids et Mesures, une réunion s'est tenue au Pavillon de Breteuil les 20 et 21 mars 1979 pour étudier les problèmes posés par les mesures de pression et pour discuter d'éventuelles comparaisons internationales.

Assistaient à cette réunion les représentants des laboratoires suivants :

Aeronautical Research Institute [ARI], Bromma, Suède (L. RYDSTRÖM).
Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [BEV], Vienne, Autriche
(R. LEWISCH).

Bureau National de Métrologie [BNM], Paris, France (M. PRIEL).

Bureau National de Métrologie [BNM], Sofia, Bulgarie (R. D. RADEV).

Centre d'Essais en Vol [CEV], Brétigny, France (G. CONGÉ).

Comité d'État des Normes [GOST], Moscou, U.R.S.S. (V. KOSLOV).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin, Italie (A. CALCATELLI).

Institut Métrologique Tchèque [CSMU], Bratislava, Tchécoslovaquie
(A. KEPRT).

Institut National de Métrologie [INM], Paris, France (P. RIÉTY).

Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], San Martín, République
Argentine (G. HARTMANN).

Laboratoire National d'Essais [LNE], Paris, France (R. TOUZIN).

National Bureau of Standards [NBS], Washington, États-Unis d'Amérique
(C. R. TILFORD).

National Institute of Metrology [NIM], Beijing, République Populaire de Chine
(SHIH Chang-Yen, SHYU Kiang-Yung).

National Measurement Laboratory [NML], Lindfield, Australie (G. A. BELL).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington, Royaume-Uni
(P. R. STUART).

Office Fédéral de Métrologie [OFM], Wabern, Suisse (A. PERLSTAIN,
membre du CIPM).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig, République
Fédérale d'Allemagne (J. JÄGER, G. MESSER).

Le Directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Étaient également présents : T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM, J. BONHOURE, G. GIRARD, A. SAKUMA (BIPM).

P. Giacomo, présidant la réunion, accueille les représentants des laboratoires nationaux et ouvre les débats. P. R. Stuart (NPL) est désigné comme Rapporteur. L'ordre du jour est approuvé.

Le *Président* rappelle les divers documents qui ont été diffusés en 1978 ou distribués à l'ouverture de cette réunion et qui serviront de documents de travail (voir liste p. A7).

Exposé d'introduction du Président

Après avoir exposé brièvement les rôles respectifs du CIPM, du BIPM et des Comités Consultatifs existants, le *Président* dit qu'il est éventuellement question de créer un nouveau comité consultatif chargé des domaines des masses, des pressions et des forces. Trois Groupes de travail existent déjà pour étudier les problèmes propres aux étalons de masse. A la suite d'une enquête sur les pressions, on a le sentiment qu'il serait utile d'établir des groupes de travail pour le domaine des pressions. On est en train de préparer un questionnaire sur les mesures de force et il se peut qu'une réunion se tienne au cours du premier semestre de 1980 pour étudier les réponses à ce questionnaire.

Le *Président* précise la position du BIPM en ce qui concerne les comparaisons internationales. Il n'est pas nécessaire que le BIPM ait une activité expérimentale effective dans chacun des domaines pour lesquels des comparaisons internationales ont lieu. Le BIPM a une certaine expérience dans le domaine des mesures de pression barométrique car ces mesures interviennent dans certaines de ses activités, comme les mesures de température et de masse. Dans d'autres domaines, au contraire, le BIPM n'a ni compétence ni activité expérimentale. C'est le cas par exemple des mesures électriques aux hautes fréquences; un Groupe de travail du Comité Consultatif d'Électricité organise cependant des comparaisons fructueuses dans ce domaine; le BIPM n'y intervient que pour en assurer le secrétariat.

Organisation des travaux de cette réunion

Afin de faciliter la discussion on décide de considérer séparément les domaines de pression suivants :

- 1) domaine des pressions moyennes allant de 1 kPa à 1 MPa,
- 2) domaines des basses pressions et du vide, à partir de 1 kPa et au-dessous,
- 3) domaine des hautes pressions, à partir de 1 MPa et au-dessus.

Ces domaines sont en partie déterminés par les types d'instruments utilisés, et il est évident que des chevauchements partiels sont souhaitables. Dans le domaine des pressions moyennes, les pressions absolues aussi bien que les pressions relatives sont d'un grand intérêt. On se met d'accord pour ne pas considérer comme de première priorité pour la réunion la mesure des pressions différentielles à haut niveau de pression, puisque l'importance industrielle de ce sujet résulte essentiellement de son lien avec les mesures de débit. Comme il semble que le NPL soit le seul laboratoire qui souhaite envisager une comparaison internationale d'étalons de pression dynamique, il est aussi convenu que la présente réunion s'en tiendra aux pressions statiques.

Étude des besoins dans le domaine des pressions moyennes

La précision demandée est plus grande dans ce domaine que dans les autres, essentiellement à cause des besoins de l'industrie et de l'aviation ; c'est la raison pour laquelle la plupart des laboratoires représentés souhaitent prendre part à des comparaisons internationales. Une autre raison est que dans ce domaine, à l'inverse de ce qui existe dans les domaines des hautes pressions et du vide, il n'y a en fait aucune organisation professionnelle qui joue le rôle de forum pour les discussions. On considère comme particulièrement important de vérifier les estimations des incertitudes systématiques des étalons nationaux, estimations dont la plupart ont été établies de façon indépendante. Pour les baromètres étalons primaires à mercure, on utilise en effet des méthodes différentes pour lire la hauteur de la colonne ; il est possible aussi que la masse volumique du mercure utilisé diffère d'un baromètre à l'autre : les différences (relatives) pourraient atteindre 6×10^{-6} suivant la provenance du mercure.

On discute de deux types d'éventuels étalons de transfert, la balance de pression à air (jauge à piston) et le manomètre à capsule Crouzet. En France et en Australie des jauges à piston CEC sélectionnées, utilisées par des opérateurs habiles, ont donné des reproductibilités de 2 à 3×10^{-6} .

Étude des besoins dans le domaine des basses pressions

Au cours de la discussion il s'est avéré commode de scinder ce domaine en deux :

- 1) basses pressions (1 Pa à 10^3 Pa au moins),
- 2) très basses pressions (10^{-4} Pa à 1 Pa).

Le premier domaine est le plus important du point de vue industriel ; les types de jauges les plus fréquemment utilisées font appel à des diaphragmes ou membranes élastiques dont la déformation est soit détectée par variation de capacité électrique soit annulée par l'action de forces électromagnétiques. La reproductibilité est généralement de l'ordre de $\pm 0,1 \%$ dans le premier cas et de $\pm 0,01 \%$ dans le second. Le nombre des jauges de ce genre étalonnées par le CEV (France) est en augmentation de 50% par an.

Dans le domaine des très basses pressions, il y a des besoins importants pour la lyophilisation, la métallurgie sous vide, le dépôt de couches minces, les accélérateurs de particules, l'analyse de gaz et la détection de fuites. On a récemment eu besoin d'étalonnages avec de l'hydrogène pour des travaux sur la fusion nucléaire ; les étalonnages avec de l'oxygène, du gaz carbonique ou de l'oxyde de carbone suscitent un intérêt croissant. La détection de fuites est importante pour des raisons juridiques et de sécurité, en particulier en liaison avec le transport de gaz naturel liquéfié et de déchets nucléaires. On s'accorde pour reconnaître que l'étalonnage de fuites est très important mais que c'est essentiellement un problème de mesure de débit et que la présente réunion ne doit pas l'étudier en première priorité. On évoque la comparaison de jauges à ionisation organisée par le Bureau de Référence de la Communauté Économique Européenne (BCR). Bien que cette comparaison ait donné des résultats très utiles, les jauges utilisées ne se sont pas révélées entièrement sûres. En revanche, des jauges à ionisation étalonnées au NPL (Grande-Bretagne) et ensuite au NML (Australie) ont fait preuve d'une reproductibilité qui semble être comprise entre 1% et 2% .

Étude des besoins dans le domaine des hautes pressions

Les utilisations principales se trouvent dans l'industrie et la défense, mais aux très hautes pressions on s'intéresse aussi à l'autofrettage et à l'étude de l'hydrogène métallique. On cherche à atteindre maintenant des incertitudes d'étalonnage de $\pm 0,01\%$. L'instrument le plus couramment utilisé est la balance de pression à huile (jauge à piston); la principale cause d'incertitude aux pressions élevées provient de la variation de l'aire efficace avec la pression, variation caractérisée par le coefficient de distorsion. Au-dessus de 200 MPa, les jauges à piston à jeu contrôlé conviennent bien mais elles sont très onéreuses et peu de laboratoires en possèdent. On utilise les jauges à résistance de manganine comme étalons secondaires et comme instruments de transfert, mais elles sont sensibles à la température. Une autre solution consiste à utiliser un changement d'état tel que la fusion du mercure qui fournit une relation reproductible entre la pression et la température.

Considération générale sur l'organisation des comparaisons internationales

Le *Président* pense que, si une comparaison internationale a pour but essentiel d'améliorer l'uniformité des étalons dans le monde, elle devrait comporter dix à quinze participants et sa durée s'étalerait sur deux ans. Les chaînes d'étalonnage, dans chaque pays, doivent être suffisamment bien organisées pour que les étalons industriels soient rattachés aux étalons nationaux correspondants et que les comparaisons internationales ne s'effectuent qu'entre les étalons les plus exacts que possède chaque pays.

Étant donné le temps nécessaire pour accomplir une comparaison internationale, l'exigence de stabilité de l'étalon de transfert est très grande et la confiance dans cet étalon est impérative. Dans la mesure du possible, le laboratoire pilote devra fournir un étalon de transfert bien caractérisé et, comme tout étalon de transfert de précision nécessite des manipulations très soigneuses, le mieux serait qu'un technicien bien entraîné l'accompagne; c'est malheureusement une solution très onéreuse. Une autre solution serait d'envoyer l'étalon de transfert, accompagné d'une série d'instructions très précises, seulement à des laboratoires qui ont déjà l'expérience de l'utilisation de ce type d'instrument. Cela risque toutefois de réduire nettement le circuit de comparaison. Il appartiendra au laboratoire pilote de décider de la forme du circuit de comparaison, en étoile, en marguerite ou en polygone. Le BIPM doit être informé de la marche de la comparaison internationale; il est prêt à en assurer le secrétariat.

Organisation de comparaisons internationales dans le domaine des pressions moyennes

On estime qu'une comparaison internationale dans ce domaine serait utile si la reproductibilité de l'étalon de transfert était meilleure que 1 Pa. Une balance de pression CEC à air, pour pressions moyennes, pourrait constituer un éventuel étalon de transfert; des exemplaires sélectionnés de cet appareil ont fait preuve d'une cohérence de 4×10^{-6} sur deux ans.

Un Groupe de travail est constitué avec pour participants les représentants des laboratoires suivants : NML (Australie), CSMU (Tchécoslovaquie), INM (France), NPL (Grande-Bretagne), NBS (États-Unis d'Amérique); P. R. Stuart (NPL, Grande-Bretagne) est nommé président.

Organisation de comparaisons internationales dans le domaine des très basses pressions

Bien que la comparaison faite sous l'égide du Bureau de Référence de la Communauté Économique Européenne ait montré que les jauges à ionisation sont très utiles en tant que jauges de transfert jusqu'à 10^{-4} Pa, on a le sentiment que l'on devrait envisager une jauge plus robuste, telle qu'une jauge à membrane ou une jauge moléculaire à suspension diamagnétique. G. Messer (PTB) propose d'utiliser une jauge moléculaire à suspension diamagnétique qui présente une répétabilité à court terme meilleure que $\pm 7 \times 10^{-4}$ et une répétabilité à long terme meilleure que $\pm 1\%$ entre 10^{-4} Pa et 1 Pa.

Un Groupe de travail est constitué avec pour participants les représentants des laboratoires suivants : NIM (Rép. Pop. de Chine), CSMU (Tchécoslovaquie), PTB (Rép. Féd. d'Allemagne), LNE (France), NPL (Grande-Bretagne), IMGC (Italie); G. Messer (PTB, Rép. Féd. d'Allemagne) est nommé président.

Organisation de comparaisons internationales dans le domaine des basses pressions

On passe en revue les étalons de transfert possibles suivants :

- a) jauge à membrane
- b) jauge à diaphragme à détection capacitive
- c) manomètre interférentiel
- d) jauge de McLeod de précision.

Un Groupe de travail est constitué avec des représentants des laboratoires suivants : NML (Australie), BEV (Autriche), CEV (France), NPL (Grande-Bretagne), NBS (États-Unis d'Amérique); C. R. Tilford (NBS, États-Unis d'Amérique) est nommé président.

Organisation de comparaisons internationales dans le domaine des hautes pressions

Les jauges à piston à huile constitueraient des étalons de transfert convenables jusqu'à 100 MPa. A cette pression, toutefois; les effets de déformation modifient les surfaces effectives de plusieurs 10^{-5} et jusqu'ici on a utilisé seulement deux méthodes pour en évaluer l'importance. Il faudrait beaucoup de préparation pour une comparaison et il est souhaitable qu'une jauge complète soit transportée.

Au-dessus de 1 GPa les mesures deviennent très difficiles et l'utilisation de points fixes de changement d'état serait plus facile que l'emploi d'une jauge de transfert. On décide que le Groupe de travail ne doit pas essayer de définir dès maintenant des points fixes, mais doit suivre le problème pour que le BIPM puisse intervenir rapidement si cela s'avère nécessaire.

Un Groupe de travail est constitué avec les représentants des laboratoires suivants : BEV (Autriche), CSMU (Tchécoslovaquie), PTB (Rép. Féd. d'Allemagne), LNE (France), NPL (Grande-Bretagne), IMGC (Italie), NBS (États-Unis d'Amérique), GOST (U.R.S.S.); G. F. Molinar (IMGC, Italie) est proposé comme président.

Règles générales pour les Groupes de travail

Le Président expose les règles générales suivantes qui s'appliquent aux Groupes de travail :

- 1) Ce sont les laboratoires et non les personnes qui doivent être membres des

Groupes de travail : les fonctions d'une personne peuvent ainsi être transmises à une autre si la première quitte le laboratoire.

2) Il n'est pas nécessaire de faire partie d'un Groupe de travail pour prendre part à une comparaison internationale. Tout laboratoire peut transmettre ses avis et ses propositions à tout Groupe de travail. Le BIPM doit être tenu au courant des activités de chaque Groupe de travail, comme s'il en était membre; les propositions de chaque Groupe de travail seront soumises par l'intermédiaire du BIPM à tous les participants de la réunion et éventuellement au Comité Consultatif s'il est créé par le CIPM.

3) Chaque Groupe de travail devra envoyer au BIPM un rapport d'une ou deux pages chaque année, avant le 1^{er} mai. Ce rapport sera multicopié par le BIPM et transmis à tous les laboratoires qui ont répondu au questionnaire.

4) Il n'est pas nécessaire que les Groupes de travail subsistent indéfiniment. Ils peuvent proposer leur propre dissolution.

Divers

Le rapport sur cette réunion sera soumis pour approbation aux participants; il sera ensuite envoyé à ceux qui n'ont pu être présents, ainsi qu'au CIPM avant les discussions sur la création éventuelle d'un nouveau Comité Consultatif.

Il serait prématuré de prévoir une autre réunion. On attendra que les Groupes de travail soient parvenus à des conclusions.

L'ordre du jour étant épuisé, le *Président* remercie les participants et clôt la réunion.

G. A. Bell propose une motion de remerciements pour le *Président* ainsi que pour T. J. Quinn, P. R. Stuart et le personnel du BIPM. Il pense que la réunion s'est très bien déroulée et a conduit à des résultats positifs. Cette proposition est approuvée à l'unanimité.

12 avril 1979

Ordre du jour

1. Désignation d'un rapporteur.
 2. Approbation de l'ordre du jour.
 3. Exposé du *Président* sur la création possible d'un Comité Consultatif des Masses, Forces et Pressions auprès du CIPM; rôle du BIPM.
 4. Organisation du travail de ce Comité.
 5. Examen des réponses au questionnaire sur la mesure des pressions.
 6. Travaux de recherche et concertation entre les laboratoires nationaux.
 7. Organisation de comparaisons internationales.
 8. Choix des instruments de transfert.
 9. Constitution de trois Groupes de travail : vide, pression barométrique, très hautes pressions.
 10. Questions diverses, publication des documents, réunion ultérieure.
-

Liste des documents de travail

- Non numéroté Enquête sur les mesures de pression réalisée par le BIPM (mars 1978) : questionnaire, réponses, résumé présenté au CIPM en septembre 1978.
- » Projet d'ordre du jour.
- RP/79-1 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Autriche) : Terminologie für die Grössen der Druckmessung.
- 79-2 Bureau National de Métrologie (France) : Bulletin N° 28, spécial « Pressions ».
- 79-2 bis Bureau National de Métrologie (France) : Bulletin N° 29, p. 5, Mesures dans le domaine du vide.
- 79-3 Enquête du BIPM : Réponse au point 9 du questionnaire ; Comparaisons internationales déjà réalisées.
- 79-4 Enquête du BIPM : Réponse au point 10 du questionnaire ; Comparaisons internationales souhaitées.
- 79-5 Enquête du BIPM : Réponse au point 11 du questionnaire ; Laboratoires pilotes.
- 79-6 National Institute of Metrology (Chine) : An outline of pressure standards at the National Institute of Metrology.
- 79-1 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Autriche) : Behelf für den Gebrauch der Masseinheit Kilopascal (kPa).
- 79-8 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Autriche) : Nährwertangaben leicht verstanden.
- 79-9 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Rép. Féd. d'Allemagne) : Short remarks to a proposal of a transfer instrument for intercomparison measurements.
-

ANNEXE II

RAPPORT SUR LA RÉUNION CONCERNANT LES MESURES DE FORCE

(18-19 mars 1980)

par A. BRAY, Rapporteur

A la suite d'une proposition du Bureau International des Poids et Mesures une réunion s'est tenue au Pavillon de Breteuil les 18 et 19 mars 1980 pour étudier les problèmes posés par les mesures de force et pour discuter d'éventuelles comparaisons internationales.

Assistaient à cette réunion :

Les délégués des laboratoires suivants :

- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [BEV], Vienne, Autriche (R. LEWISCH).
- Bureau National de Métrologie [BNM], Paris, France (R. TOUZIN).
- Comité d'État de Normalisation [CEN], Sofia, Bulgarie (H. KUTCHOUKOV).
- Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa, Canada (G. CHAPMAN).
- Institute for Mechanical Constructions [TNO], Delft, Pays-Bas (H. WIERINGA).
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas [IPT], São Paulo, Brésil (W. LINK).
- Istituto di Metrologia « G. Colonnetti » [IMGC], Turin, Italie (A. BRAY).
- Laboratoriet for Fundamental Metrologi [LFM], Lyngby, Danemark (J. THOMAS).
- National Bureau of Standards [NBS], Washington, États-Unis d'Amérique (P. PONTIUS).
- National Institute of Metrology [NIM], Beijing, République Populaire de Chine (SHI Chang-Yan).
- National Institute of Metrology [NIM], Chengdu, République Populaire de Chine (ZANG Jian).
- National Physical Laboratory [NPL], Teddington, Royaume-Uni (O.C. JONES).
- Office Fédéral de Métrologie [OFM], Wabern, Suisse (J.-G. ULRICH).
- Office National des Mesures [OMH], Budapest, Hongrie (F. PETIK).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig, République
Fédérale d'Allemagne (W. WEILER).
Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft, Pays-Bas (P. van't KLOOSTER).

Le Directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Étaient également présents : T.J. QUINN, sous-directeur du BIPM, J. BONHOURE,
G. GIRARD, Mme M.-J. COARASA (BIPM).

Étaient excusés :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, République
Démocratique Allemande.
Institut Métrologique Tchèqueoslovaque, Bratislava, Tchèqueoslovaquie.
Institut National de Métrologie, Bucarest, Roumanie.
National Aeronautical Establishment, Ottawa, Canada.
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield, Australie.
National Physical Laboratory, New Delhi, Inde.

1 et 2. — *Ouverture de la réunion; désignation d'un rapporteur; ordre du jour*

Mr Giacomo, président de la réunion, accueille les délégués des laboratoires et ouvre les débats, Mr Bray (IMGC) est désigné comme Rapporteur.

Aucune remarque n'est faite sur l'ordre du jour provisoire qui est approuvé et qui correspond aux différents paragraphes du rapport.

Le *Président* rappelle les divers documents qui ont été diffusés ou distribués à l'ouverture de la session et qui serviront comme documents de travail (*voir* liste p. B 9).

3. — *Introduction du Président sur la création par le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) d'un Comité Consultatif pour les masses et grandeurs apparentées; rôle du BIPM*

Le *Président* expose brièvement le rôle et les attributions du BIPM, tels qu'ils sont décrits et illustrés dans une brochure distribuée aux participants, intitulée « Le Bureau International des Poids et Mesures : 1875-1975 ».

Il indique qu'à la suite du vote de la Résolution 3 de la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), un Comité Consultatif chargé des mesures de masse et des grandeurs apparentées, a été créé par le CIPM; c'est le 8^e Comité Consultatif. Le *Président* rappelle aux participants de la réunion les tâches principales qui incombent à un Comité Consultatif : il lui revient en particulier de formuler des propositions et des suggestions à soumettre au CIPM, de conseiller le BIPM sur son activité visant à améliorer l'uniformité des mesures entre les laboratoires nationaux, en particulier au moyen de comparaisons internationales des étalons matérialisant les unités de mesure.

Il arrive qu'un Comité Consultatif estime nécessaire d'organiser une comparaison internationale dans un domaine où le BIPM n'a pas de compétence particulière; on fait alors appel à un « laboratoire pilote » pour prendre la responsabilité scientifique et technique de la comparaison. Le secrétariat est assuré par le BIPM.

Le *Président* souligne que le rôle d'un Comité Consultatif est essentiellement d'ordre technique et scientifique, bien que les comparaisons internationales puissent avoir des conséquences d'ordre pratique au niveau des centres d'étalonnage ou de la métrologie légale.

4. — Organisation des travaux du Comité Consultatif pour les masses

Le Comité Consultatif pour les masses sera probablement divisé en sous-comités, chargés par exemple des mesures de masse, de force et de pression. Chaque sous-comité pourra lui-même confier certaines tâches à des groupes de travail. Il existe actuellement quatre groupes de travail pour les mesures de pression : hautes, moyennes, basses et très basses pressions. Des experts de chaque domaine en font partie. Ces groupes de travail deviendront vraisemblablement des Groupes de travail du Comité Consultatif pour les masses. La coordination et le secrétariat sont assurés par le BIPM.

En ce qui concerne les mesures de force, le *Président* résume les objectifs de la présente réunion : recenser les besoins de coopération internationale et les problèmes à étudier ; déterminer en particulier si des comparaisons internationales s'avèrent nécessaires ; prendre les dispositions appropriées, telles que le choix et la mise au point des étalons de transfert ; choisir des laboratoires pilotes ; faire une étude préliminaire des facteurs entrant en jeu dans la détermination de l'incertitude des étalons.

Comme, dans la pratique, les comparaisons internationales demandent beaucoup de moyens et de personnel, le *Président* indique qu'à son avis, il est préférable de commencer par des comparaisons limitées à un petit nombre de laboratoires et de les étendre ensuite à un plus grand nombre.

5. — Discussion sur les réponses au « Questionnaire sur les mesures de force »

Les participants commentent le contenu des réponses qu'ils ont envoyées au BIPM et donnent des indications sur ce qui a été fait tant au niveau national qu'international.

Mr *Weiler* signale plusieurs comparaisons internationales qui ont été effectuées entre des laboratoires européens ; une de ces comparaisons se déroule dans le cadre des programmes de la Communauté Économique Européenne (CEE).

Mr *Thomas* mentionne un travail effectué en coopération entre le Laboratorium for Fundamental Metrologi et le Jydsk Teknologisk Institut pour la construction d'une balance dynamométrique (10 N à 300 N).

Pour compléter les indications données dans les réponses au questionnaire, Mr *Link* résume la situation des étalons de force au Brésil, où il existe :

- 1) des balances dynamométriques (traction et compression), ayant une exactitude de 2×10^{-5} dans les domaines de 0,1 à 10 kN, de 1 à 40 kN et de 2 à 300 kN ;
- 2) une machine hydraulique, ayant une exactitude de 1×10^{-3} , dans le domaine de 10 kN à 5 MN.

L'industrie brésilienne dans son ensemble ne demande pas d'exactitude supérieure à 1×10^{-3} pour l'étalonnage des étalons de travail.

Les étalons qui existent en France se trouvent au Laboratoire National d'Essais (LNE), à l'Établissement Technique Central de l'Armement (ETCA) et à l'Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques (ONERA). Mr *Touzin* indique qu'au LNE et à l'ETCA on utilise les étalons pour effectuer les étalonnages demandés par l'industrie, tandis qu'à l'ONERA on effectue essentiellement des recherches sur l'amélioration des étalons et sur les étalons de transfert. L'ONERA a construit une cellule dynamométrique à trois composantes que l'on a utilisée pour comparer trois machines d'une capacité de 250 et 300 kN ; actuellement il travaille à la construction d'une cellule dynamométrique de 50 kN.

Mr *Chapman* indique que les étalons canadiens servent essentiellement aux travaux d'étalonnage demandés par l'industrie.

Les étalons du NBS servent à étalonner les machines de contrôle. Mr *Pontius* signale que depuis cinq ans maintenant des recherches sont faites sur des effets, tels que le fluage et l'hystérésis dans les cellules dynamométriques. Généralement les recherches sont faites sur des cellules fabriquées aux USA destinées pour la plupart à des systèmes de pesage. Les cellules sont étalonnées selon la norme ASTM E 74-78 qui est très semblable aux normes correspondantes DIN ou BSI.

Mr *Jones* dit que le NPL effectue beaucoup de travaux d'étalonnage pour les besoins industriels. Le NPL a pris part à trois comparaisons internationales et des recherches ont été faites pour déterminer la sensibilité des cellules dynamométriques au moment de flexion. Récemment, on a porté davantage d'intérêt à la technique d'amplification hydraulique. Aujourd'hui on peut faire des mesures de force jusqu'à 30 MN avec la méthode d'addition. Des techniques interférométriques avec des sources laser ont été récemment utilisées pour mesurer les contraintes mécaniques dans les cylindres hydrauliques, les cellules dynamométriques, etc.

Mr *Bray* expose les recherches effectuées depuis un certain nombre d'années par l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC) dans les domaines suivants :

- a) détermination des effets parasites qui risquent de jouer sur les cellules dynamométriques et les installations de vérification (VDI-Berichte N° 312, 1978);
- b) stabilité des valeurs des masses selon le type de matériau utilisé et les conditions de leur conservation;
- c) détermination des effets jouant sur le facteur d'amplification dans les machines étalons de force du type hydraulique;
- d) mesure de la valeur absolue de l'accélération due à la pesanteur avec un appareil transportable construit à l'IMGC en coopération avec le BIPM.

L'Office Fédéral suisse de Métrologie utilise des étalons de force essentiellement pour les activités du service. Mr *Ulrich* dit que les masses en béton employées pour la machine étalon ont montré, sur une période de 10 ans, une stabilité de (1 à 1,5) kg/10 000 kg. La variation la plus grande a été trouvée au cours de la première année après la construction. Par la suite, les variations ont diminué et c'est pour cette raison que l'étalonnage a été effectué après la première année.

Mr *van't Klooster* indique que le Van Swinden Laboratorium (VSL) travaille essentiellement pour le service d'étalonnage dans le domaine légal. Il utilise des cellules dynamométriques de sa propre fabrication qui ont un facteur de résolution élevé (1×10^{-6}). Le laboratoire a pris part à une comparaison internationale.

De son côté Mr *Wieringa* dit que le TNO effectue des travaux de recherche dans le domaine des mesures de force. Pour le moment, ces recherches visent à déterminer l'effet de fluage dans les cellules dynamométriques. Quelques résultats ont montré que le fluage dépend du type de cellule et qu'avec certaines d'entre elles il peut durer 20 minutes. Ce dernier résultat montre l'importance de cet effet et la nécessité, quand on organise une comparaison internationale, de tenir compte du type de cellule et du genre de machine que l'on utilise.

Le Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) assure une activité de service dans le domaine légal. Mr *Lewis* indique qu'à côté d'étalonnages statiques de machines, des étalonnages dynamiques sont également faits au BEV. Les travaux de recherches consistent essentiellement à étudier les forces en régime alternatif ou en impulsion.

Mr *Shi Chang-Yan* indique que les étalons de force de la République Populaire de Chine sont installés dans deux laboratoires, l'un à Beijing, l'autre à Chengdu, qui

appartiennent au National Institute of Metrology. Les étalons sont utilisés par le service d'étalonnage. Dans le cadre d'un accord de coopération intergouvernemental, une comparaison sera faite avec les étalons de la PTB. Pour le moment les laboratoires chinois ne disposent pas d'étalons de transfert; ils ne peuvent par conséquent pas jouer le rôle de laboratoire pilote.

Les étalons du Comité d'État de Normalisation (CEN) sont utilisés par le service d'étalonnage. On ne dispose pas en Bulgarie d'étalons de transfert. Mr *Kutchoukov* souligne que les experts bulgares souhaitent participer aux comparaisons internationales.

Les étalons installés à l'Office National des Mesures (OMH) sont utilisés par le service d'étalonnage. D'après Mr *Petik*, les travaux de recherches visent essentiellement à améliorer la connaissance et, par conséquent, le fonctionnement des étalons-existants. Des cellules dynamométriques de type commercial, ayant une exactitude de 1×10^{-3} , sont fabriquées en Hongrie. Une comparaison a été faite avec un laboratoire français. Dans le cadre du COMECON aucune comparaison internationale ne se déroule pour le moment.

6. — *Travaux de recherche et accords entre les laboratoires nationaux*

Le *Président* aborde le sujet en évoquant les problèmes qui résultent des opinions exprimées au sujet des étalons primaires et des étalons de transfert au cours du premier échange de vues. A son avis, la première chose à faire est de rassembler tous les renseignements sur l'expérience acquise lors des comparaisons internationales, afin de spécifier les moyens, méthodes et conditions nécessaires pour engager correctement une comparaison. L'étape suivante consisterait à inciter certains laboratoires à étudier les étalons de transfert, même d'un type industriel, qui semblent les plus prometteurs compte tenu de leurs qualités métrologiques. Une fois les étalons de transfert choisis, il conviendrait de commencer une comparaison d'étalons primaires entre un petit nombre de laboratoires qui pourraient se situer dans différents secteurs géographiques. Une discussion générale s'ensuit et tout le monde convient qu'il est souhaitable de poursuivre l'action entreprise par le BIPM, avec l'espoir d'arriver à une comparaison au niveau mondial, même si cela demande beaucoup de temps.

7. — *Organisation des comparaisons internationales*

Pour commencer, on décide de créer un Groupe de travail chargé de rassembler des renseignements sur les comparaisons internationales effectuées jusqu'ici, d'évaluer les résultats qui existent et de préparer un document qui serve de base aux futures comparaisons que le BIPM organisera. Les laboratoires suivants font partie de ce Groupe de travail : PTB (Weiler), NPL (Jones), IMGC (Bray), BNM (Touzin), TNO (Wieringa), OMH (Petik). *Président* : Mr Bray.

Le Groupe devra présenter un rapport chaque année et l'envoyer avant l'été au BIPM, afin que le CIPM, qui se réunit généralement en octobre, puisse être tenu informé de l'avancement des travaux. Le rapport sera envoyé à tous les laboratoires qui ont répondu au Questionnaire.

8. — *Choix des instruments de transfert*

Le choix des instruments de transfert est discuté sur la base des propositions faites par MM. Wieringa, Weiler et Bray. L'accord se fait sur les points suivants :

a) Comme le fluage s'est avéré un facteur important au cours des programmes

d'essais, les laboratoires qui ont l'intention de participer aux comparaisons internationales avec leurs propres étalons peuvent envoyer ceux-ci, jusqu'à une capacité de 500 kN, au TNO pour que les effets de fluage y soient contrôlés.

b) Le Groupe de travail jugera s'il convient de classer les machines étalons d'après leur type ou leur domaine de mesure. Pour le moment, l'opinion générale semble ne pas souhaiter un tel classement; dans l'avenir et selon l'expérience tirée des comparaisons en cours, la possibilité d'un classement sera reconsidérée.

c) En ce qui concerne l'influence de la rotation sur les étalons de transfert et les interactions avec la machine étalon, les participants conviennent de choisir autant que possible des cellules dynamométriques peu sensibles à la rotation. Lorsque les résultats de recherches actuellement en cours au BNM (France) et à l'IMGIC (Italie) auront été analysés, on en tirera les conclusions chiffrées.

d) Le NBS (U.S.A.) et le NPL (Royaume-Uni) ont entrepris une comparaison de leurs étalons; par ailleurs une comparaison a lieu dans le cadre de la CEE. Les participants présents à la réunion demandent que les résultats de ces comparaisons soient portés à la connaissance du Groupe de travail lorsque les travaux seront terminés.

e) D'après l'expérience acquise, il est reconnu que pour obtenir des résultats fiables au cours d'une comparaison, il convient de ne jamais dissocier la cellule dynamométrique de son indicateur.

Après s'être mis d'accord sur les points précédents, les participants discutent des travaux à long et à court termes. On convient que ces derniers concerneront le choix des étalons de transfert, des laboratoires pilotes, des méthodes et des domaines de mesure. Ces renseignements sont nécessaires pour entreprendre sans tarder des comparaisons selon les secteurs géographiques.

Parmi les travaux à long terme on envisage des comparaisons entre laboratoires représentatifs de secteurs géographiques différents.

Il est convenu qu'un groupe de laboratoires sera constitué comme suit : PTB (Rép. Féd. d'Allemagne), BNM (France), NRC (Canada), NIM (Rép. Pop. de Chine), NBS (États-Unis d'Amérique), ASMW (Rép. Dém. Allemande), PKNIM (Pologne), NML (Australie), NRLM (Japon), IPT (Brésil).

La PTB joue le rôle de laboratoire pilote dans le cadre de la CEE et Mr *Weiler* parle de la comparaison entreprise avec la Chine, dont les résultats pourraient être comparés avec ceux de mesures faites au Japon. On demandera soit à la Pologne, soit à la République Démocratique Allemande de représenter le secteur du COMECON. Une autre comparaison pourrait être faite entre les U.S.A. et le NML (Australie). Au terme de ces comparaisons « régionales », la PTB pourrait jouer le rôle de laboratoire pilote pour une comparaison entre les laboratoires représentatifs des différents secteurs géographiques.

Enfin, il est convenu de réserver aux balances dynamométriques l'intervalle de mesure du domaine de 100 à 500 kN qui doit être couvert par trois cellules dynamométriques de 100, 200 et 500 kN.

9. — Divers

Mr *Petik* demande si le BIPM a l'intention, dans le cadre du Comité Consultatif pour les masses, de s'intéresser à la dureté en tant que grandeur faisant appel à une mesure de force. Le *Président* répond que pour le moment on a déjà entrepris beaucoup de travaux que le BIPM a de la peine à suivre. A son avis, on ne peut ajouter le travail supplémentaire qu'impliquerait la demande de Mr *Petik*. Par

ailleurs, le BIPM doit choisir en priorité les domaines qui ont les fondements scientifiques les plus sûrs.

10. — *Publication des documents*

Le *Président* indique que les rapports de la présente réunion et du Groupe de travail sur les forces seront envoyés aux membres par l'intermédiaire du BIPM. En général, les rapports sont publiés dans les Procès-Verbaux du CIPM et les résultats les plus significatifs dans « *Metrologia* ». Il demande que les propositions des participants soient adressées au président du Groupe de travail, avec copie au BIPM. D'une façon générale, pour que le BIPM puisse jouer son rôle de coordination, il est nécessaire qu'il soit tenu au courant de l'avancement des travaux. Dans ce but, la règle simple et efficace est d'envoyer au BIPM une copie de toutes les correspondances qui intéressent un Groupe de travail, en particulier de celles qui lui permettront de suivre le déroulement des comparaisons.

11. — *Réunion future*

Le *Président* indique qu'une réunion peut être envisagée d'ici deux ans; en 1981 un rapport sera rédigé sur les travaux et sur les comparaisons en cours.

Jun 1980

Documents

Questionnaire du BIPM sur les mesures de forces

1. Réalisez-vous les étalons nationaux de force statique ?; si oui, fournissez-vous une référence pour un service national d'étalonnage ?
2. Si vous ne réalisez pas les étalons nationaux de force statique, quelle est votre activité dans ce domaine des mesures de force et à quel étalon vos mesures de force sont-elles rattachées ?
3. Dans quels domaines faites-vous des mesures de force ?
 - a) en traction
 - b) en compression
 - c) avec quelle incertitude (exactitude) ?
 - d) cette incertitude est-elle satisfaisante pour vos travaux ?
4. Si vos appareils sont décrits dans PTB-Bericht : PTB-Me-22 « Force Standard Machine of the National Institutes for Metrology » by Weiler and Sawla, ont-ils été modifiés depuis la date de préparation de ce document ?
Si vos appareils ne sont pas décrits dans ce document, prière d'en donner une brève description.
5. a) Quel genre d'étalonnages fournissez-vous pour des utilisateurs extérieurs à votre laboratoire ?

- b) Approximativement combien par an ?
- c) Et dans quelle proportion pour des utilisateurs d'autres pays ?
- 6. Avez-vous entrepris un programme de recherches ?
Si c'est le cas, quels sont vos principaux domaines de recherche ?
Quels autres problèmes devraient être étudiés ?
- 7. Avez-vous déjà participé à des comparaisons d'étalons nationaux de force avec d'autres laboratoires ?
 - a) dans quels domaines de force ?
 - b) l'accord était-il satisfaisant ?
- 8. Existe-t-il des étalons de transfert suffisamment exacts et fiables dans tous les domaines de mesure de force ?
- 9. De futures comparaisons internationales d'étalons de force sont-elles nécessaires ?
 - a) dans un proche avenir
 - b) à intervalles réguliers.
- 10. Souhaitez-vous participer à des comparaisons internationales ?
 - a) dans quels domaines ?
 - b) en utilisant quels étalons de transfert ?
- 11. Pourriez-vous jouer le rôle de laboratoire pilote dans un domaine bien déterminé ?
Pourriez-vous fournir des étalons de transfert ?
- 12. Quelle est l'activité de votre laboratoire dans le domaine des mesures de force dynamique ?
- 13. Votre réponse est-elle le reflet du point de vue national ou seulement la position de votre laboratoire ?
- 14. Faut-il envoyer ce questionnaire à d'autres laboratoires de votre pays ?
- 15. Estimez-vous souhaitable une réunion de spécialistes, au BIPM, pour discuter de ces problèmes, en particulier des points 9, 10 et 11 ?
- 16. Autres suggestions.

23 avril 1979

Rapport du BIPM
d'après les réponses à l'enquête sur les mesures de force

(document CIPM/79-11 et RF/80-3)

Le BIPM a envoyé en avril 1979 un questionnaire à 42 laboratoires de 35 nations différentes pour savoir s'il pourrait rendre des services dans le domaine des mesures de force. Au 15 juillet 1979, 31 réponses nous étaient parvenues ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ En dehors des laboratoires présents ou excusés à la réunion des 18 et 19 mars 1979, le BIPM avait reçu des réponses du National Research Laboratory of Metrology (Japon), du Polski Komitet Normalizacji y Miar (Pologne), du Service de la Métrologie Belge (Belgique), de l'Instituto Nacional de Pesos y Medidas (Brésil), du Technical Research Center (Finlande), du Direccão-Geral de Qualidade (Portugal).

Les domaines dans lesquels se font les mesures de force sont très différents d'un laboratoire à l'autre :

En traction, les mesures s'effectuent en moyenne entre 100 N et 10 MN mais peuvent descendre jusqu'à 0,001 N tandis qu'en compression elles s'échelonnent de 0,1 N à 10 MN. Les incertitudes observées, de l'ordre de 1×10^{-4} à 2×10^{-5} sont en général satisfaisantes.

Ces laboratoires ont un programme de recherches parmi lesquelles on peut citer :

- influence des conditions ambiantes, des effets parasites (par exemple composante transversale),
- amélioration de la précision des capteurs actuels,
- nouveaux types de capteurs et caractéristiques mécaniques des nouveaux alliages pour capteurs,
- méthodes d'étalonnage,
- extension du domaine de mesure,
- linéarité et hystérésis des jauges de contrainte,
- développement des étalons de force,
- développement des systèmes hydrauliques,
- interaction entre banc de référence et dynamomètre.

Certains de ces laboratoires ont participé à des comparaisons d'étalons de force avec d'autres laboratoires ; ces comparaisons ont été jugées enrichissantes et l'accord entre les résultats satisfaisant.

L'opinion exprimée dans les réponses indique que des comparaisons internationales sont nécessaires dans un proche avenir ; on souhaite qu'elles soient ensuite répétées en tenant compte des enseignements tirés de la première comparaison. Une très grande majorité des laboratoires désire participer à ces comparaisons, certains dans un domaine restreint. Les étalons de transfert utilisés actuellement sont satisfaisants pour certains mais pas pour d'autres.

Douze laboratoires acceptent d'être laboratoire pilote, certains sous réserve de connaître ce qui leur sera demandé et d'autres ne proposent leur collaboration que dans un domaine défini.

Huit laboratoires proposent des étalons de transfert.

L'activité de ces laboratoires dans le domaine des mesures de force dynamiques n'est pas très importante et se limite quelquefois à des travaux ponctuels.

Une réunion de spécialistes au BIPM, pour discuter des mesures de force et plus particulièrement de l'organisation de comparaisons internationales est souhaitée par tous les laboratoires sauf un. Le BIPM a suggéré, pour cette réunion, la période du 18 au 20 mars 1980, à Sèvres.

26 septembre 1979

Liste des documents de travail

Outre le questionnaire et les réponses diffusés en 1979, les documents suivants ont été distribués avant ou pendant la réunion du Groupe de travail :

RF/80-1 NPL (Royaume-Uni). — Sources of measurement error during an intercomparison of force standard machines, by R. C. DEBNAM and R. F. JENKINS.

RF/80-2 NPL (Royaume-Uni). — The provision of national standards of force in the range 0.5 MN to 30 MN in compression, by R. C. DEBNAM, R. F. JENKINS and N. R. BENTLEY.

80-3 CIPM. — Enquête sur les mesures de force (CIPM/79-11).

80-4 Liste des laboratoires ayant répondu au questionnaire du BIPM envoyé en avril 1979.

80-5 Rapport du BIPM. — Résumé des réponses à la question 10 du questionnaire du BIPM.

80-6 NBS (États-Unis d'Amérique). — Characterizing the creep response of load cells, by R. A. MITCHELL and S. M. BAKER.

80-7 BNM (France). — Bulletin d'information *Spécial « Forces »*, n° 34, octobre 1978.

Document arrivé après la réunion :

80-8 ASMW (Rép. Dém. Allemande). — Additional remarks and further details to part of our answers of June 1979 (to the questionnaire of the BIPM of April 23rd, 1979) in preparation of the meeting of experts in the BIPM in March 1980.

ANNEXE III

RAPPORT SUR L'ENQUÊTE DU BIPM CONCERNANT L'EXPRESSION DES INCERTITUDES *

1. Introduction

Sur la suggestion de Mr E. Ambler (NBS), membre du Comité International des Poids et Mesures (CIPM), le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) a préparé un « questionnaire sur les incertitudes ». Ce questionnaire a été adressé à un bon nombre de laboratoires et d'institutions que l'on a pensé particulièrement intéressés par ces problèmes. On leur a demandé de donner des réponses qui, dans une certaine mesure, pourraient être considérées comme reflétant les opinions de leur pays respectif (voir Document I).

Nous rappelons que le but principal de cette enquête était de permettre au BIPM de parvenir à faire un choix des problèmes spécifiques qui, à un stade ultérieur, pourraient être discutés utilement par un Groupe de travail approprié. Pour plus de détails voir l'introduction du Document I.

Compte tenu du large éventail des points de vue sur ces questions, on a considéré comme nécessaire de faire le tri des problèmes les plus urgents et les réponses reçues ont confirmé cette opinion. Bien qu'en fait il n'ait pas été demandé aux laboratoires de prendre position sur une question donnée, mais seulement d'indiquer si, à leur avis, ce problème devait faire l'objet de discussions ou non, on n'a pas été surpris de constater que de nombreuses réponses contenaient également un certain nombre d'arguments ou d'affirmations qui doivent refléter, au moins partiellement, l'attitude qui prévaut à l'heure actuelle dans un laboratoire vis-à-vis de certains des problèmes essentiels dans ce domaine.

Le but de ce document est de résumer les renseignements concernant l'expression des incertitudes dans la mesure où l'on peut les tirer des réponses reçues. Ce faisant, nous ne devons pas perdre de vue le fait que, pour les questions les plus difficiles, un fort pourcentage de réponses n'exprime pas de préférence nette. On a souvent l'impression que cette « majorité silencieuse » ne s'est pas encore fait sa propre opinion, mais cherche plutôt clarification et conseils. On peut par conséquent espérer que la diffusion des différentes opinions reçues, bien que parfois difficiles à concilier, fournira d'utiles renseignements complémentaires. Il se peut qu'une compréhension plus large et plus profonde des différents aspects contribue à

* Une version anglaise avec des annexes dans leur langue originale figure dans le Rapport BIPM-80/3 intitulé « Report on the BIPM enquiry on error statements »; elle peut être obtenue sur demande.

Tableau 1
Pays dont nous avons reçu des réponses
(par ordre alphabétique en anglais)

- (1) Afrique du Sud
National Physical Research Laboratory, Pretoria
- (2) Amérique (États-Unis d')
National Bureau of Standards, Washington
- (3) Australie
National Measurement Laboratory, Lindfield
- (4) Brésil
Réponses rassemblées par L. Cintra do Prado, São Paulo (membre du CIPM)
- (5) Canada
Conseil National de Recherches, Ottawa
- (6) Chine
Institut National de Métrologie, Beijing
- (7) Tchécoslovaquie
Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava
- (8) Danemark
Technical University, Dept. of Physics, Lyngby
- (9) France
Bureau National de Métrologie, Paris
- (10) Allemande (République Démocratique)
Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin
- (11) Allemagne (République Fédérale d')
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
- (12) Grande-Bretagne
National Physical Laboratory, Teddington
- (13) Hongrie
Office National des Mesures, Budapest
- (14) Italie
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin
- (15) Japon
National Research Laboratory of Metrology, Tokyo
- (16) Corée (République de)
Korea Standards Research Institute, Séoul
- (17) Pays-Bas
Van Swinden Laboratorium, Delft
- (18) Pologne
Résumé des réponses données par quatre organismes
- (19) Roumanie
Institutul National de Metrologie, Bucarest
- (20) Suède
Statens Provningsanstalt, Borås
- (21) URSS
Réponse provenant vraisemblablement du Gosstandard, Moscou (reçue par l'intermédiaire de l'OIML, Paris)

découvrir de nouvelles façons d'aborder et éventuellement de résoudre les problèmes actuels. Élaborer des directives qui puissent être utilisées et acceptées par une majorité d'utilisateurs ne sera pas une tâche facile, mais essayer sérieusement d'atteindre cet objectif vaut certainement la peine.

Le Tableau I donne la liste des pays et des organismes d'où sont parvenues les réponses (à fin 1978); dans la suite nous nous y référons selon le numéro correspondant (entre parenthèses).

2. Réponses aux questions

On se bornera à reproduire les questions. Pour des indications complémentaires sur les problèmes, qui figuraient dans le questionnaire, voir Document I.

Pour certains laboratoires, dont les réponses sont particulièrement instructives, la totalité du document reçu est reproduite à la fin de ce rapport. Ceci concerne

- (2) NBS, Washington voir Document II
- (9) BNM, Paris voir Document III
- (11) PTB, Braunschweig voir Document IV
- (12) NPL, Teddington voir Document V

Il convient d'indiquer qu'il n'a pas toujours été facile de faire une classification des réponses simplement par « oui » ou par « non », en particulier lorsqu'elles ont été données avec un nombre appréciable de commentaires. En se reportant aux réponses complètes données ci-après, le lecteur peut se faire une idée de la proportion d'arbitraire qui a pu intervenir. Dans l'ensemble aucune distorsion sérieuse des résultats ne devrait en résulter.

Passons maintenant aux différentes questions.

a) Question 1 : *Faut-il recommander l'usage de l'écart-type pour caractériser une incertitude aléatoire ?*

Cette question d'introduction était assez simple et on peut grouper les réponses comme suit :

— « oui » : (1) (5) (6) (7) (18) (19) (21).

— « oui », mais en demandant que soit ajouté le nombre de degrés de liberté : (2) (4) (8) (9) (16).

— Plusieurs laboratoires hésitent à indiquer une nette préférence ou laissent le choix libre : (10) (11) (12) (13) (14) (17) (20).

Enfin (15) demande que « soit clairement indiqué si l'écart-type représente la répétabilité, la replicabilité ou la reproductibilité »; sept sortes différentes d'incertitudes aléatoires sont distinguées. (3) dit « oui pour les comptes rendus dans les revues scientifiques, non pour les rapports et certificats d'étalonnage ».

Pour des commentaires complémentaires voir (2) (Document II) et (12) (Document V).

b) Question 2 : *Faut-il recommander l'usage d'une probabilité conventionnelle et des limites de confiance correspondantes (au lieu de l'écart-type) ?*

Cette question est bien entendu liée à la précédente; en conséquence nos commentaires ci-après concerneront les deux.

Parmi les réponses on ne trouve aucun « oui » sans restrictions. Par ailleurs, les laboratoires suivants donnent un « non » clair : (1) (2) (5) (8) (9) (16) (18) (21).

Une majorité de réponses sont assez confuses ou « sans décision ». Nous trouvons parmi celles-là : (3) (4) (6) (7) (10) (12) (13) (14) (15) (17) (19) (20). Toutefois, lorsqu'elles sont indiquées, les raisons des hésitations sont très variées. Dans plusieurs réponses il est indiqué que les solutions suggérées ne constituent pas des alternatives réelles, mais ont chacune leur champ utile d'application. (15) recommande : « le processus de mesure doit être conduit de telle façon que les variations aléatoires des résultats soient conformes à la distribution normale ». Enfin, (7) suggère d'utiliser « les limites de l'étendue vraie des erreurs » car cette grandeur « est finie en comparaison avec l'étendue infinie d'une distribution normale ». Il convient de noter la remarque pertinente de (9) (voir Document III).

Commentaires du BIPM sur les questions 1 et 2 : Il semble se dégager de l'ensemble des réponses une nette préférence pour l'écart-type, à condition qu'il soit accompagné du nombre de degrés de liberté (ou du nombre de mesures effectuées). Les limites de confiance ont trouvé peu d'adeptes et plusieurs réponses rappellent à juste titre qu'un tel intervalle ne contient pas plus d'information que l'écart-type estimé, mais de surcroît suppose une population normale. Son utilisation doit par conséquent être limitée aux cas où l'on a besoin d'une décision statistique.

c) Question 3a : *Y a-t-il une différence essentielle entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques ?*

Cette question d'apparence anodine a donné lieu à une large gamme de réponses comme il fallait s'y attendre. Un simple « non » a été donné par (1) (3) (14) (19). Les réponses « oui » sont plus nombreuses, mais elles sont assez différentes les unes des autres dans les cas où des explications sont fournies. Des réponses « oui » sont données par (5) (8) (13) (17) (18). Tandis que pour (21) une erreur systématique est équivalente à une correction, (16) fait remarquer qu'une « erreur aléatoire à un niveau donné pourrait être considérée comme une erreur systématique au niveau suivant dans la hiérarchie des étalonnages ».

Toutefois, le groupe le plus important est constitué par ceux qui ne donnent pas de réponse nette (ou suffisamment simple), auxquels on peut adjoindre les hésitants. C'est le cas des réponses comme celles de (2) (4) (6) (7) (9) (10) (11) (12) (15) (20). Parmi celles-ci (6) et (15) notent explicitement qu'« elles peuvent changer de type » et (9) ajoute qu'« il y a aussi tous les cas intermédiaires ». (12) suggère une nouvelle subdivision selon la méthode de dérivation (voir Document III), tandis que (2) dit que « la différence essentielle... devient évidente quand l'incertitude... est effectivement utilisée » (voir Document II). Enfin, (20) trouve qu'« il existe une zone plus ou moins large où l'on ne peut dire avec confiance qu'une incertitude de mesure doit être considérée comme systématique ou aléatoire ».

d) Question 3b : *Faut-il recommander une règle pratique permettant de savoir à quel type d'erreur on a affaire ?*

Là aussi, cette question est liée à la précédente, comme il ressort des réponses.

Les « non » proviennent des mêmes laboratoires que précédemment.

Les « oui » viennent de (7) (12) (13) (17) (18) (21).

(2) (4) (5) (6) (8) (9) (10) (11) (15) (16) (20) n'ont pas exprimé de position nette. Il faut remarquer en particulier les commentaires donnés par (2) et par (9) (voir Documents II et III).

Commentaires du BIPM sur les questions 3a et 3b : A en juger d'après la variété des réponses, c'était une bonne question. Toutefois, comme les opinions sont encore très divergentes, cela serait un sujet dangereux pour une discussion censée aboutir à une conclusion pratique dans un délai limité. Il semble qu'il y ait encore besoin de plus de réflexion, tant sur l'aspect fondamental que pratique, avant d'avoir un réel espoir de trouver une solution satisfaisante à ce difficile problème. Cette réflexion est probablement déjà en cours dans différents laboratoires, mais elle prendra du temps car le problème est très récent pour beaucoup d'expérimentateurs. De plus, il se peut que la solution soit en désaccord avec leur pratique actuelle.

e) Question 4 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression des erreurs systématiques ?*

Comme on ne demandait pas de formuler explicitement une éventuelle « règle pratique », il était parfaitement légitime de répondre simplement par oui ou non. Ont donné un « oui » sans autre commentaire (3) (11) (13) (21), alors que (7) ajoute qu'il faudrait différentes recommandations selon le type de mesure, la façon dont on obtient les corrections pour les effets systématiques et le but de la mesure. Nous pouvons également comprendre (20) qui dit : « il semble extrêmement difficile d'arriver à une règle qui ait de bonnes chances d'être appliquée et interprétée de façon uniforme ».

Un laboratoire seulement (8) répond « non », ajoutant qu'« il est préférable de n'avoir aucune règle qu'une qui soit ambiguë, mal définie ou même fallacieuse ».

Dans quelques réponses on recommande le concept de « limite maximale », par exemple dans (10) (17) et aussi dans (14), bien qu'avec précaution. Finalement (18) est favorable à quelque chose comme un écart-type.

Aucune réponse nette à la question telle qu'elle est posée n'est donnée par (4) (5) (6) (9) (19). Un regroupement en deux catégories différentes (données expérimentales ou appréciation personnelle) est suggéré par (2) et (16), tandis que (12) préférerait décrire l'incertitude au moyen d'une expression subjective (voir Document V).

Commentaires du BIPM : Nous sommes là nettement confrontés à l'un des problèmes fondamentaux. La plupart des laboratoires seraient heureux de disposer d'une « règle pratique », mais les propositions faites jusqu'ici ne convergent guère. Les limites de confiance (pour différents niveaux de probabilité) et les limites maximales ainsi que les écarts-types ont chacun leurs adeptes. Le problème de choisir une forme donnée est évidemment lié aux questions 3a et 3b et il a d'importantes implications pratiques. A l'évidence, toute solution suggérée devrait également être jugée en fonction de son utilité éventuelle pour le traitement ultérieur des résultats ; il est aussi fait allusion à certains des problèmes impliqués dans les questions 5 à 7.

f) Question 5 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner entre elles les erreurs systématiques ?*

Comme il peut y avoir plus d'une erreur systématique, il est évident qu'il est vraiment nécessaire de disposer d'une règle pour les combiner. Et en effet, personne n'a répondu par un simple « non ». Toutefois, la plupart des laboratoires ont bien vu que toute réponse dépend de la réponse donnée à la question 4 et qu'une solution simple et générale est loin d'être évidente.

Ont donné comme réponse « oui », généralement sans autre commentaire, (3) (4) (10) (11) (13) (17) (19) (21). Des réponses positives, mais plus sceptiques ou restrictives, ont été données par (5) (8) (9) (14) (20). En particulier, (2) discute diverses

combinaisons possibles (linéaire, quadratique), mais sans recommander une règle donnée (voir Document II). La simple addition des variances est suggérée par (6). La plupart des réponses toutefois sont difficiles à regrouper. Ainsi (16) : « on pourrait proposer plusieurs règles pratiques au lieu d'une seule », est quelque peu moins pessimiste que (7) : « il est possible d'obtenir quelques dizaines de cas différents ». Il se peut que tout cela soit vrai, au moins dans une certaine mesure, mais ce n'est certainement pas le type de règle que la plupart des gens recherchent.

(12) décrit cinq méthodes utilisées couramment et ajoute : « Ce qu'il faut c'est une théorie convaincante... à partir de laquelle on pourra déduire une méthode pour combiner les incertitudes systématiques ». Une idée peut-être utile est donnée par (18) lorsqu'il déclare qu'« il ne faudrait pas distinguer la règle de l'addition des incertitudes systématiques ou aléatoires et systématiques, mais appliquer la loi de propagation de l'écart-type comme en statistique mathématique. Alors on pourrait exprimer toutes les incertitudes par l'écart-type de la moyenne ; il ne faudrait chercher aucune autre terminologie pour les incertitudes de mesure ».

Commentaires du BIPM : Il est évident que c'est un sujet important à discuter et qu'une règle générale unique serait la bienvenue. Le nombre des adeptes de l'addition linéaire semble diminuer et personne, en particulier, n'a suggéré de l'utiliser pour des limites maximales. Cela semble après tout assez encourageant, bien que le but ne soit pas encore atteint.

g) Question 6 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner les erreurs aléatoires et systématiques ?*

Là les diverses opinions divergent nettement. Tandis que (8) est très sceptique et craint « qu'une telle règle ne soit souvent plus trompeuse qu'éclairante », (13) et (17) sont d'avis que cela dépendrait du « niveau de métrologie ». Une opposition nette existe également. Ainsi (20) dit qu'« elles ne devraient pas être combinées » et semblablement (16) « en général on devrait éviter de combiner les deux types d'erreur ».

(4) (9) (10) (11) (21) sont adeptes d'une règle pratique, mais quelquefois avec des restrictions, tandis que (19) pense qu'« il est préférable d'avoir un nombre réduit de règles pratiques ».

L'addition quadratique est proposée par (3) et (6), éventuellement aussi par (18). Dans (1) (2) (5) (7) (12) (14), la réponse est peu claire (ou même absente).

Pour un exposé plus complet des problèmes, voir les Documents ci-après.

Commentaires du BIPM : La croyance antérieure très populaire qu'il faut éviter toute combinaison d'erreurs de types différents semble en voie de changement. La nouvelle attitude, plus réaliste, est sans doute inspirée par les besoins pratiques. Tandis qu'il existe maintenant sans doute une majorité qui veut bien accepter une règle pour combiner les incertitudes aléatoires et systématiques, aucun accord ne se dessine encore sur la façon dont cela doit être mis en pratique dans le détail.

h) Question 7 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression de l'incertitude finale ?*

Là encore il est évident que cette question est étroitement liée à la précédente. (9) et (20) expriment leur scepticisme ou leur opposition et (20) dit qu'« il est extrêmement difficile... de formuler une règle unique ». (21) pense aussi qu'« il faut recommander plusieurs règles... en fonction des problèmes ». Tandis que les

laboratoires (2) (3) (4) (7) (10) (11) (14) estiment qu'il serait souhaitable d'avoir une règle de ce genre, quatre autres laboratoires disent en particulier qu'à leur avis une règle de ce genre devrait être fonction du « niveau de métrologie » ; c'est le cas de (12) (13) (16) (17). En revanche (1) (5) (6) (18) n'ont pas pris de position nette.

Commentaires du BIPM : L'utilité d'une « incertitude finale » dépendra sans aucun doute dans une large mesure de l'application considérée ; peut-être conviendrait-il d'envisager sérieusement une subdivision du problème. Or, les éléments ou les composantes qui entrent dans l'établissement d'une grandeur de ce genre sont nécessairement ceux dont il a été question plus haut, ce qui limite les possibilités. Dans sa forme la plus générale, la question risque bien de déborder du domaine pour lequel le BIPM peut ou doit tenter de suggérer une solution. Ainsi, la responsabilité pour les certificats d'étalonnage doit incomber totalement au laboratoire qui émet le certificat, laboratoire qui, à son tour, est lié dans bien des cas par des prescriptions légales. Il paraît difficile, en conséquence, d'espérer aboutir à mieux que des suggestions générales pour une « pratique bonne et raisonnable ».

i) Question 8 : *D'autres questions vous paraissent-elles essentielles ? Les questions précédentes vous paraissent-elles devoir être traitées dans un ordre différent ?*

La majorité des laboratoires (c'est-à-dire huit) expriment leur satisfaction ou ne donnent aucune réponse (cinq en tout), ce que l'on peut également interpréter comme un accord.

Par ailleurs, trois laboratoires (7) (17) (18) insistent fortement sur l'importance présumée d'une terminologie bien définie, qui dépend peut-être également du « niveau de métrologie ». Un long « glossaire des termes se rapportant aux incertitudes des mesures » est présenté dans (11) (voir Document IV pour les détails), et dans la même réponse il est suggéré qu'« on devrait discuter des renseignements à donner dans les certificats d'étalonnage dans les différents domaines de travaux ». Toutefois, on peut se demander si une discussion sur de telles questions de détail est possible ou souhaitable au sein d'un Groupe de travail concerné par les problèmes généraux liés aux incertitudes. Il est inévitable que certains travaux soient laissés à des instances plus spécialisées.

Un certain nombre d'autres suggestions concernent les points suivants :

— (20) pense qu'il serait souhaitable d'avoir une discussion sur « l'éventuel emploi du domaine à la place de la dispersion des résultats individuels, en particulier si ceux-ci sont peu nombreux », ainsi que sur certains autres concepts, tels que « répétabilité, reproductibilité ou inexactitude ».

— (14) pose la question : « Faut-il recommander une règle pratique pour établir si deux ou plusieurs mesures fournies avec une certitude globale donnée sont non discordantes entre elles ? »

— (21) tente de nous rappeler qu'« il est très important de définir et de tenir compte des lois de distribution des erreurs composantes dans les calculs des erreurs de mesure ».

— (17) souligne que « beaucoup plus de publicité devrait être donnée aux résultats des comparaisons internationales effectuées sous les auspices du BIPM ».

Enfin, on a trouvé dans (8) une remarque quelque peu déconcertante selon laquelle « en particulier le Bureau a réussi à dissimuler son propre point de vue — car il doit certainement en avoir un ». Faute de meilleure information, nous prenons ceci pour un compliment.

Commentaires du BIPM : Les problèmes liés à la terminologie n'ont pas échappé à notre attention lorsque nous avons préparé le questionnaire. Ils sont réels et ont une

importance pratique, mais ils ne sont pas nécessairement au cœur des problèmes soulevés. Tant que les concepts de base sont encore contestés, il vaut mieux mettre de côté les questions de vocabulaire. D'ailleurs, l'expérience montre que — comme tout le monde est expert en langage — les discussions sur les questions de terminologie sont habituellement longues et inefficaces. Les problèmes supplémentaires provenant des barrières linguistiques, avec l'attirance bien connue que de telles discussions exercent sur les puristes, semblent nous conseiller d'éviter ces sujets dans toute la mesure du possible dans un premier temps. Les vrais spécialistes pourront s'en charger ultérieurement.

Quant aux questions statistiques mieux définies, on peut répondre à la plupart d'entre elles sans trop de problèmes.

3. Bibliographie

En réponse à notre demande de renseignements sur les publications concernant l'expression des incertitudes, nous avons reçu un certain nombre de documents, dont la liste est donnée ci-dessous, par ordre chronologique ; nous y avons ajouté certaines références qui nous sont connues.

Compte tenu du nombre énorme de documents et d'articles qui ont été publiés sur les questions se rapportant à l'expression des incertitudes, ainsi que de leur intérêt scientifique souvent très faible, on n'a pas cherché à donner une liste exhaustive. Dans la plupart des documents cités on trouvera d'autres références bibliographiques.

Les quelques documents qui traitent des problèmes généraux d'un point de vue semblable au nôtre et qui, par conséquent, peuvent présenter un intérêt particulier pour le lecteur sont précédés d'un astérisque.

a) Règles ou directives (« recettes »)

- * — P. J. Campion, J. E. Burns, A. Williams : « A code of practice for the detailed statement of accuracy » (HMSO, London, 1973), 52 p.
- « Methods for treating the results of measurements », *Proc. Institutes of Metrology USSR*, No. 172 (232), (Energia, Leningrad, 1975), 72 p.
- « Glosario de terminos empleados en metrologia » (Comité de Metrología de la AECC, Madrid, 1976), 35 p.
- « The expression of uncertainty in electrical measurements » (No. 3003 British Calibration Service, 1977), 16 p.
- « The Australian Standards for the Measurement of Physical Quantities », National Measurement Laboratory (CSIRO, Melbourne, 1977), 22 p.
- O. Mathiesen : « How should the result of a measurement be reported ? », *Svensk Mätplatskalender*, 1977, 14 p. (en suédois).
- « Expresión de los resultados de un calibración o medida (Comité de Metrología de la AECC, Madrid, 1978), 16 p.
- « Metrology. Expression of result of measurement », *Svensk standard SS 014150* (projet, 1978), 12 p.
- « Measurement of fluid flow — Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement », *ISO 5168-1978* (E), 26 p.
- « Assessment of uncertainty in calibration and use of flow measurement devices », 79/31646 (British Standards Institution, London), 78 p.
- « Grundbegriffe der Messtechnik ; Begriffe für Unsicherheit beim Messen und

- Fehler, Korrektur, Fehlergrenzen bei Messgeräten », DIN 1319, Teil 3 (projet), (Deutsches Institut für Normung, Berlin, ca. 1979), 17 p.
- « Guidelines for estimation and statement of overall uncertainty in measurement results », CSC (80) MS-9, National Physical Laboratory of India, Standards and Industrial Research Institute of Malaysia (Commonwealth Science Council, London, 1980), 13 p.

b) *Études particulières sur l'expression des incertitudes*

- C. Eisenhart : « Realistic evaluation of the precision and accuracy of instrument calibration systems », *J. Res. NBS* **67C**, 161-187 (1963).
- H. O. W. Dietrich : « Ueber die Konsistenz von Messergebnissen », Rapport PTB VI C/N-4 (PTB, Braunschweig, 1965), 19 p.
- H. H. Ku : « Notes on the use of propagation of error formulas », *J. Res. NBS* **70C**, 263-273 (1966).
- C. Eisenhart : « Expression of the uncertainties of final results », *Science*, **160**, 1201-1204 (1968).
- K. Weichselberger : « Ueber die Addition zufälliger und systematischer Fehler », *Operations Research Verfahren* **5**, 423-444 (1968).
- C. F. Dietrich : « Uncertainty, Calibration and Probability » (Hilger, London, 1973), 411 p.
- F. E. Grubbs : « Errors of measurement, precision, accuracy and the statistical comparison of measuring instruments », *Technometrics* **15**, 53-66 (1973).
- H. H. Ku : « Statistical methods applicable to counting experiments and evaluation of experimental data », *Nucl. Instr. and Meth.* **112**, 377-383 (1973).
- A. Williams : « Statement of results of experiments and their accuracy », *Nucl. Instr. and Meth.* **112**, 373-376 (1973).
- L. Gonella : « Proposal for a revision of the measure theory and terminology », *Alta Frequenza* **44**, 622-628 (1975).
- G. C. Martarelli, A. Zanini : « Expression in unitary form of combinations of measurement error sources by means of normal distributions », *Alta Frequenza* **44**, 629-633 (1975).
- W. Masin : « Ueber die Informationsfähigkeit eines Messgerätes », *Metrologia* **11**, 169-177 (1975).
- H. Reich : « Die Unsicherheit von Messungen mit Ionisationskammer-Dosimetern », *PTB-Mitteilungen* **86**, 421-426 (1976).
- G. Becker : « Ueber die Unsicherheit von primären Cäsiumstrahlnormalen für Zeit und Frequenz », *PTB-Mitteilungen* **87**, 131-137 (1977).
- P. J. Campion : « Problems in the statement of uncertainties » (NPL, Teddington, 1977), 4 p.
- F. G. Perey : « Covariance matrices of experimental data », *Proc. Int. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data*, Harwell 1978, p. 104-115.
- L. M. Schwartz : « Statistical uncertainties of analyses by calibration of counting measurements », *Analytical Chemistry* **50**, 980-985 (1978).
- W. Wöger : « Remarks on the confidence limits resulting from two models for the randomization of systematic uncertainties » (PTB Braunschweig, 1978 ; projet), 16 p.
- * – J. W. Müller : « Some second thoughts on error statements », *Nucl. Instr. and Meth.* **163**, 241-251 (1979).

- * – S. R. Wagner : « On the quantitative characterization of the uncertainty of experimental results in metrology », *PTB-Mitteilungen* **89**, 83-89 (1979).
- Liu Chih Min : « A method for the combination of measuring errors » (NIM Beijing, sans date), 20 p. (en chinois).
- Hsiao Ming Yao : « The calculating methods frequently used for estimating experimental errors » (NIM Beijing, sans date), 23 p. (en chinois).
- Hsiao Ming Yao : « The precise calculation of the confidence factor in combination of errors » (NIM Beijing, sans date), 34 p. (en chinois).

4. Conclusion

Pour la plupart des problèmes particuliers soulevés dans cette enquête il est difficile, sinon impossible, de tirer des conclusions nettes à partir des réponses reçues. Après tout, ceci n'a pas été notre motif pour envoyer le questionnaire. Néanmoins, on pourrait peut-être dire quelques mots sur la situation générale actuelle et sur les tendances. Comme les opinions sont en évolution, il est de toute façon nécessaire d'être très prudent.

Il fait peu de doute que la question générale de la façon d'exprimer les incertitudes expérimentales est venue au premier plan au cours des dernières années. Ce renouveau d'intérêt est frappant pour ceux qui se souviennent de la situation à une époque – disons il y a une dizaine d'années – où tout semblait définitivement réglé.

Le besoin croissant d'une exactitude améliorée dans les sciences et les techniques, ainsi que les puissantes méthodes de traitement de données au moyen des ordinateurs, maintenant à la disposition pratiquement de tout le monde, ont mis en lumière l'importance pratique de l'expression des incertitudes. Actuellement la plupart des compilations de données pèchent grandement par le caractère incohérent et incomplet des renseignements sur les différentes incertitudes expérimentales, ou même par leur absence totale.

La subdivision traditionnelle des incertitudes en contributions aléatoires et systématiques, bien que souvent utile et facile à effectuer pour l'expérimentateur, ne fait dans la plupart des cas qu'é luder le problème réel pour le poser à l'utilisateur, lequel sait rarement comment utiliser exactement ces indications dans ses propres travaux.

Ceci nous conduit au premier des problèmes, et certainement à l'un des problèmes de base, à savoir la question des types d'erreur. Si l'on arrive à la conclusion qu'il est nécessaire de les distinguer, on a immédiatement à faire face au problème de leur utilisation ultérieure.

Les questions posées dans l'enquête et les réponses reçues montrent clairement que les différents problèmes soulevés sont étroitement liés. Il s'ensuit qu'aucun ne peut être vraiment résolu sans tenir compte des conséquences qu'un certain choix aura sur les autres questions. Une limite est également imposée par la nécessité d'aboutir à des suggestions ou directives qui soient utiles, pratiques et faciles à suivre. Une règle simple, qui peut être facilement comprise ou justifiée, sera par conséquent préférable à tout système complexe qui manquerait de clarté.

Tout à fait indépendamment des problèmes de terminologie et de classification, une question plus pratique se pose : comment doit-on exprimer les contributions à l'incertitude totale que l'on estime généralement par des méthodes relevant davantage du jugement personnel que des théories statistiques ? Là aussi il ne faut pas perdre de vue l'utilisation ultérieure qui pourra en être faite et cela pose en

particulier le problème de les combiner avec les autres composantes de l'incertitude. Ne nous laissons pas décourager outre mesure si ce qu'il faut éviter nous semble plus évident que ce qu'il faut choisir. L'espoir demeure que des principes généraux et sains puissent nous aider à trouver une solution et à mettre un terme au désordre qui prévaut actuellement.

La diversité des réponses reçues montre clairement qu'on n'a pas encore atteint une opinion unanime. Par ailleurs, il se peut que les questions posées aient conduit certains participants à réfléchir et à remettre en question des idées généralement considérées comme bien établies. Effectivement, il semble que le processus qui consiste à repenser un certain nombre de problèmes fondamentaux soit bien engagé. Il se peut que le résultat le plus remarquable du questionnaire soit d'avoir révélé que la majorité des participants n'ont pas encore d'opinion définitive sur la plupart des problèmes soulevés : ils ont conscience des difficultés et on a l'impression qu'ils attendent des propositions raisonnables. Une telle situation devrait être favorable à l'obtention d'un accord qui, nous l'espérons, pourrait être accepté par une large majorité.

Cela entraînera pour certains (peut-être pour de nombreux) expérimentateurs un changement d'habitudes. Nous avons bien conscience que c'est un processus difficile. C'est toutefois une condition inévitable pour atteindre le but final qui est l'uniformité.

Certains des problèmes impliqués sont difficiles et ils peuvent avoir des répercussions importantes. Une présentation complète des différentes opinions exprimées est par conséquent d'une importance capitale, et nous espérons que la variété des réponses données dans ce rapport pourra contribuer à la compréhension mutuelle. Concilier des positions divergentes ne saurait être une affaire réglée facilement et rapidement. Au contraire, l'entreprise sera sans doute difficile et pourra demander beaucoup de temps, mais la perspective de parvenir au bout du compte à un résultat plus clair, plus utile et plus généralement acceptable donne à cette tentative toute la valeur d'un véritable défi.

Mars 1980

DOCUMENT I

Questionnaire sur les incertitudes

A. Introduction

Au cours de sa dernière session, du 20 au 23 septembre 1977, le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) a décidé, sur proposition de Mr E. Ambler (NBS), de créer un Groupe de travail pour examiner les problèmes liés à l'évaluation et la présentation des incertitudes de résultats de mesure.

Ces problèmes ont déjà suscité beaucoup de controverses, le plus souvent sans issue. Les difficultés principales, semble-t-il, sont liées à la nature confuse de ce que l'on appelle habituellement les « erreurs systématiques ». La confusion persiste évidemment lorsqu'on veut combiner ces dernières erreurs avec les erreurs d'origine « aléatoire », par exemple lorsqu'on veut fixer, globalement, des limites de tolérance.

Il semble que l'unanimité puisse se faire en ce qui concerne les mesures de très haute précision, pour lesquelles il est toujours souhaitable de donner le plus possible d'informations sur l'estimation des incertitudes. Par contre, on a très souvent besoin, dans la pratique courante, de caractériser l'incertitude ou la tolérance par un paramètre unique (ou à la rigueur un nombre très réduit de paramètres). C'est ce problème que l'on espère faire progresser.

Différentes règles ont été proposées par des organismes professionnels comme par des laboratoires nationaux ; elles sont souvent contradictoires. Il semble urgent de faire le point et de tenter de dégager un consensus sur le plan international ; sinon la situation risque de devenir rapidement inextricable.

Étant donné la multiplicité des opinions, souvent divergentes, il faut choisir soigneusement les sujets de discussion pour le Groupe de travail envisagé. Le but principal du questionnaire ci-après est donc de dégager les problèmes essentiels et les points sur lesquels la discussion a quelques chances d'aboutir à un résultat pratique. En particulier, il conviendra d'éviter les discussions purement philosophiques ou mathématiques qui ont peu d'influence sur les applications et il faudra trouver des compromis entre les différentes tendances de rigueur excessive ou de tolérance abusive.

Pour avoir une certaine efficacité, le Groupe de travail doit être un groupe restreint ; il sera composé de représentants de laboratoires nationaux et d'organismes internationaux s'intéressant à ces questions. Les réponses au présent questionnaire lui serviront de guide ; il est donc souhaitable qu'elles indiquent par des commentaires brefs mais explicites, les principaux arguments à retenir ; elles seront communiquées, par les soins du BIPM, à tous les organismes qui auront envoyé une réponse.

B. Sujets de discussion éventuels

Avant de poser les questions elles-mêmes, il nous semble utile de rappeler brièvement leur contexte pour préciser le sujet proposé et éviter des malentendus.

1. Écart-type

Parmi les différents paramètres qui permettent de caractériser l'incertitude d'une grandeur aléatoire x , l'écart-type (en anglais « standard deviation ») σ_x occupe une place privilégiée. Il est défini par

$$\sigma_x^2 = E\{[x - E(x)]^2\},$$

($E(x)$ signifie espérance de x , σ_x^2 est la variance).

On convient habituellement d'estimer l'écart-type, à partir d'un échantillon de taille n , par l'« écart-type expérimental » s_x déduit de

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad \text{où} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i.$$

De façon analogue, l'écart-type expérimental pour la valeur moyenne \bar{x} est estimé par $s_{\bar{x}} = s_x/\sqrt{n}$.

Rappelons que l'évaluation de ces quantités ne suppose pas une distribution particulière; les seules conditions sont que les valeurs de x soient indépendantes entre elles et que la variance existe.

Question 1 : *Faut-il recommander l'usage de l'écart-type pour caractériser une incertitude aléatoire ?*

2. Limites de confiance

Pour prendre des décisions statistiques à un niveau de probabilité donné, on a besoin de connaître les limites correspondantes pour les grandeurs, appelées limites de confiance (pour une probabilité p de 95 %, par exemple). Leur détermination suppose une certaine distribution (on suppose le plus souvent que cette distribution est normale) pour la population, et dépend de la taille n de l'échantillon utilisé pour calculer s_x . Les limites de confiance sont alors données par une expression du type $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} \cdot t(p, n)$, où t est le facteur de Student (pour une loi normale). L'hypothèse d'une loi normale devient moins critique pour n suffisamment grand et t n'est alors pratiquement fonction que de p .

Rappelons toutefois que, pour les limites de confiance, la simple addition quadratique ne se justifie que si plusieurs conditions sont remplies, telles que populations normales, même niveau de confiance et mêmes degrés de liberté pour toutes les composantes, tandis que l'addition des variances en est indépendante.

Question 2 : *Faut-il recommander l'usage d'une probabilité conventionnelle et des limites de confiance correspondantes (au lieu de l'écart-type) ?*

3. Nature des erreurs systématiques

L'estimation des erreurs dites « systématiques », leur expression et leur utilisation pratique ont déjà fait couler beaucoup d'encre. A vrai dire, même la notion d'erreur systématique prête à discussion et rares sont les tentatives de définition précise. Or, il semble difficile d'établir des règles à appliquer à une

quantité qui peut recouvrir – parfois simultanément – plusieurs notions différentes et mal définies. En particulier, on peut se demander si la distinction traditionnelle entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques est de nature à toujours justifier leur séparation et, le cas échéant, un traitement différent en ce qui concerne les règles de propagation des erreurs.

Par exemple, il arrive souvent que la valeur moyenne et l'écart-type d'une quantité peuvent être estimés (voir le cas des constantes fondamentales), mais que l'on hésite à attribuer à l'incertitude un caractère aléatoire ou systématique.

Question 3a : *Y a-t-il une différence essentielle entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques ?*

Question 3b : *Faut-il recommander une règle pratique permettant de savoir à quel type d'erreur on a affaire ?*

4. Présentation des erreurs systématiques

L'estimation réaliste d'une erreur à caractère systématique (qu'il ne faut évidemment pas confondre avec une correction connue, que nous supposons déjà appliquée) est toujours une affaire délicate. Le plus souvent elle se fonde sur des données peu sûres et demande de l'expérimentateur beaucoup de jugement. Une connaissance solide des détails techniques et des bases théoriques de la méthode de mesure est indispensable. Malgré toutes les précautions, des effets systématiques importants peuvent échapper, même au physicien le plus averti.

Un moyen simple de se protéger contre une telle éventualité consiste à estimer les incertitudes systématiques de façon « généreuse », par exemple sur la base d'erreurs « maximales ». Or, une telle pratique a au moins deux inconvénients : elle pose des problèmes sérieux pour la propagation des erreurs (les formules courantes supposent connues les variances), et elle risque de cacher la présence d'influences méconnues dont le dépistage permet seul un progrès réel dans les méthodes de mesure.

L'utilisation d'incertitudes systématiques qui s'approchent le mieux possible des écarts-types évite ces inconvénients, mais leur utilisation courante semble se heurter encore à des barrières d'ordre psychologique.

Question 4 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression des erreurs systématiques ?*

5. Propagation d'erreurs systématiques

Lorsqu'une grandeur est fonction de plusieurs variables affectées d'incertitudes aléatoires, la loi générale de propagation des erreurs permet de combiner les différentes composantes et d'en déduire l'erreur résultante. Elle utilise les variances et les covariances des variables en jeu, ainsi que les dérivées partielles correspondantes, et nous la supposerons connue dans ce qui suit.

Tandis que la propagation des erreurs aléatoires peut être considérée comme bien établie, la combinaison des erreurs systématiques continue à susciter des propositions diverses.

L'utilisation d'erreurs maximales a parfois conduit à l'habitude de décrire les

erreurs systématiques par des densités rectangulaires et d'y associer des règles spéciales de calcul. Les constructions de ce genre semblent peu convaincantes. Elles reviennent à identifier l'absence de connaissance précise avec une densité uniforme de probabilité dans un domaine limité, ce qui ne semble guère réaliste. La conclusion logique amènerait en outre à associer aux limites maximales la règle d'addition linéaire, pour conserver la propriété d'un maximum ; or, les bornes trop larges qui en résultent sont peu utiles en pratique. Les recettes plus souples qui remplacent l'addition linéaire par une addition quadratique, suivant le nombre des composantes, paraissent arbitraires.

Une règle plus convaincante, qui devrait sans doute s'inspirer des relations connues pour les erreurs aléatoires, reste à élaborer.

Question 5 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner entre elles les erreurs systématiques ?*

6. Combinaison d'erreurs aléatoires et systématiques

Si l'on considère la distinction entre les deux types d'erreurs comme une habitude de langage, souvent pratique mais sans conséquences majeures, leur combinaison ne pose aucun problème réel, pourvu qu'elles soient toutes exprimées sous une forme qui permet d'estimer leurs écarts-types. Par contre, des difficultés surgissent si l'on considère que ces erreurs sont de deux types fondamentalement différents et que leur combinaison n'a pas de sens physique. Dans ce cas, un traitement séparé s'impose pour chaque type. Il y a aussi quelques problèmes si les erreurs systématiques sont exprimées en « valeur maximale », car dans ce cas on est obligé de leur attribuer (au moins implicitement) une probabilité permettant de se ramener à un niveau de confiance et à un écart-type. L'estimation d'erreurs maximales apparaît alors comme un détour qui devrait pouvoir être évité.

D'autres combinaisons sont évidemment imaginables (avec des facteurs plus ou moins arbitraires, des sommes de contributions linéaires et quadratiques mélangées, etc.), mais de tels procédés ont peu de chance d'être généralisables.

Question 6 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner les erreurs aléatoires et systématiques ?*

7. Forme des incertitudes finales

On admet en général que, pour l'établissement d'un certificat d'étalonnage par exemple, des incertitudes qui correspondent à un écart-type, donc à un niveau de confiance de 70 % environ, seraient trop petites puisque dans presque un tiers des cas la valeur « vraie » serait à l'extérieur. Pour de telles situations, des probabilités de l'ordre de 95 % sont couramment utilisées. Le passage d'un niveau de confiance à l'autre ne devrait pas poser de gros problèmes si l'on part d'une estimation de l'écart-type correspondant. Par contre, dans la plupart des applications scientifiques un tel passage ne s'impose pas. Doit-on alors essayer de recommander l'emploi général d'un certain niveau de confiance ? Le même problème se pose pour les composantes dans le cas où l'on ne peut ni ne désire évaluer une incertitude « totale ».

Par ailleurs, pour des mesures au plus haut niveau de précision, une simple subdivision des différentes contributions de l'incertitude finale en deux classes serait

sans doute trop simpliste et ferait perdre trop d'information. Dans ce cas, une liste détaillée de toutes les causes d'erreurs et de leur estimation s'impose. Elle devrait contenir toute l'information dont on aura besoin pour une éventuelle évaluation nouvelle, comme par exemple dans le cadre d'une compilation de données.

Question 7 : Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression de l'incertitude finale ?

8. Autres questions

Le BIPM a essayé de clarifier les questions, à partir des informations dont il dispose. Il se peut qu'il ait négligé des points qui vous semblent essentiels, ou qu'il ait choisi un ordre de présentation discutable.

Question 8 : D'autres questions vous paraissent-elles essentielles ? Les questions précédentes vous paraissent-elles devoir être traitées dans un ordre différent ?

C. Informations complémentaires

– Description des pratiques courantes employées dans votre laboratoire ou de celles que vous suggérez ; donner si possible un (ou quelques) exemple(s) typique(s) d'application (certificats, références à la littérature, etc.), de préférence dans un (ou des) cas difficile(s).

– Littérature que vous pouvez recommander comme référence.

Février 1978

DOCUMENT II

Réponse du National Bureau of Standards

(Traduction BIPM)

Avant-propos

Nous appuyons l'idée qu'un Comité *ad hoc* du CIPM sur les incertitudes prépare un rapport sur les principes qui doivent guider la présentation des indications concernant les incertitudes. Ces principes devraient être suivis dans toute l'organisation métrologique internationale et aux différents niveaux à l'intérieur de cette organisation, y compris dans les laboratoires nationaux, les centres d'étalonnage secondaires et les certificats d'étalonnage destinés à l'utilisateur final de l'instrument. A cet effet, il est important que le rapport contienne des directives pour l'établissement des incertitudes, mais évite dans toute la mesure du possible les discussions philosophiques insolubles sur les théories statistiques. Le comité devrait prendre connaissance des méthodes utilisées par les différents laboratoires nationaux pour l'expression des incertitudes et chercher un accord convenable sur le plan international, tout en évitant les procédures qui conduisent à la perte d'informations scientifiques ou rendent impossible une analyse ultérieure des expériences ou des étalonnages. Il ne serait pas impossible de fournir des certificats d'étalonnage donnant la liste des incertitudes systématiques et aléatoires, la façon de les combiner et, le cas échéant, un nombre unique fondé sur une méthode arbitraire pour additionner les erreurs aléatoires et systématiques.

Question 1 : *Faut-il recommander l'usage de l'écart-type pour caractériser une incertitude aléatoire ?*

Réponse : Si les résidus $(x_i - \bar{x})$, dans une série de résultats de mesure, se comportent approximativement comme une « variable aléatoire X », l'emploi des écarts-types pour caractériser l'incertitude aléatoire est alors entièrement approprié.

Commentaire 1A : Comme le « caractère aléatoire » est un concept qui ne peut être vérifié entièrement, le degré d'approximation ne peut être estimé que par référence à quelque hypothèse introduisant un caractère non aléatoire. Une condition minimale est que la distribution des résultats, ou des résidus en fonction des paramètres qu'il faut prendre en considération (séquence des lectures, date, température, humidité, observateur, instruments, etc.), ne présente à première vue aucune accumulation, tendance ou autre structure.

Commentaire 1B : Le nombre de degrés de liberté, ν , est une partie intégrante de l'écart-type expérimental et il devrait aussi être indiqué. Lorsque le résultat n'est pas une simple moyenne, ν peut être nettement plus petit que le nombre total des observations individuelles utilisées dans les calculs.

Commentaire 1C : Pour des étalonnages de routine et pour la certification, ce n'est pas une bonne habitude d'utiliser « l'écart-type expérimental, s », pour caractériser l'incertitude aléatoire. Il vaut mieux prendre l'écart-type σ comme un paramètre de

la mesure. L'écart-type σ est une grandeur stable comparée à s qui peut varier beaucoup lorsque le nombre n d'échantillons dans chaque série est petit. En rassemblant les valeurs de s^2 sur un grand nombre de séries, on peut déterminer la valeur de σ^2 pour la méthode de mesure considérée.

Commentaire 1D : Dans des cas plus compliqués, on peut obtenir l'écart-type expérimental à partir d'un certain nombre de composantes de la variance représentant les diverses causes de variabilité. On devrait donner la liste de ces causes de variabilité.

Question 2 : Faut-il recommander l'usage d'une probabilité conventionnelle et des limites de confiance correspondantes (au lieu de l'écart-type) ?

Réponse : D'après l'expérience que nous avons, les limites de confiance sont souvent mal interprétées. Comme on peut facilement calculer les limites de confiance à partir des grandeurs fondamentales (écart-type expérimental et nombre de degrés de liberté, avec une hypothèse supplémentaire concernant la répartition normale des résidus), nous ne recommandons pas son emploi à la place de l'écart-type.

Commentaire 2A : Il va sans dire que l'emploi des limites de confiance (ou des intervalles de confiance) convient parfaitement dans les cas pour lesquels elles sont prévues. Or, dans l'expression de l'incertitude l'hypothèse d'une distribution normale et le choix du niveau de probabilité ajoutent au problème.

Commentaire 2B : Nous notons que l'on peut généraliser la limite de confiance en lui donnant la forme

$$\bar{x} \pm \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) t(p, \nu),$$

où n est le nombre de points utilisés pour le calcul de \bar{x} , et ν le nombre de degrés de liberté correspondant à s . On peut mentionner deux cas spéciaux importants.

(1) Pour k séries de résultats comportant chacune n mesures, s est calculé à partir de l'ensemble des données et

$\nu = k(n - 1)$, en supposant que tous les écarts-types expérimentaux provenant de chaque série donnent le même σ . Pour un k convenable (pas trop petit), une largeur raisonnable de l'intervalle de confiance peut être obtenue pour n aussi petit que 2.

(2) S'il y a des différences entre les séries, on doit calculer s à partir des k moyennes et $\nu = k - 1$.

Commentaire 2C : Il a été montré ⁽¹⁾ que pour des distributions symétriques, l'emploi de $p = 0,95$ pour les intervalles de confiance est plus stable (« robust ») et plus satisfaisant que l'emploi de $p = 0,99$. S'il faut choisir un niveau de probabilité, nous recommandons l'emploi de $p = 0,95$.

Question 3a : Y a-t-il une différence essentielle entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques ?

Réponse : Qu'une erreur soit considérée comme aléatoire ou systématique dépend avant tout du contexte. La différence essentielle entre erreurs aléatoires et systématiques se manifeste lorsque l'incertitude du résultat est effectivement utilisée.

⁽¹⁾ J. E. WALSH : « Validity of approximate normality values for $\mu \pm k\sigma$ areas of practical type continuous population », *Annals of the Institute of Statistical Mathematics* 8, 79-86 (juin 1956).

Commentaire 3A : A notre avis, la difficulté de se mettre d'accord sur une définition de l'erreur systématique provient du fait que différents métrologistes n'abordent pas le problème du même point de vue. L'écart-type de la correction à apporter au kilogramme étalon N KG-1 est fondé sur des étalonnages répétés par rapport à d'autres kilogrammes étalons conservés au National Bureau of Standards ; c'est une mesure d'erreur aléatoire pour ce qui concerne le NBS, mais l'incertitude attribuée à cette correction, disons trois écarts-types, est une composante d'erreur systématique commune à tous les kilogrammes étalons étalonnés par rapport à N KG-1 pour tous les laboratoires aux États-Unis.

Commentaire 3B : Si deux objets B et C sont étalonnés par rapport à l'étalon A, auquel on a attribué une incertitude ΔA , lorsqu'on s'intéresse à la différence $B - C$, l'erreur systématique ΔA s'annule, mais les écarts-types propres à B et C se combinent « en quadrature ». Par conséquent, la possibilité de déceler une différence entre B et C est améliorée quand l'incertitude de B et C est donnée en deux parties, la partie systématique qui peut être commune aux deux et les parties aléatoires qui sont individuelles.

Commentaire 3C : Dans l'industrie et le commerce, à l'intérieur d'un même pays, l'incertitude sur un étalon national a peu de conséquence puisque l'erreur correspondante est commune à tous les produits et instruments tout au long de la chaîne d'étalonnage.

Question 3b : *Faut-il recommander une règle pratique permettant de savoir à quel type d'erreur on a affaire ?*

Réponse : Des directives aidant à distinguer un type d'erreur d'un autre seraient extrêmement utiles. Des exemples devraient être donnés pour des situations typiques courantes dans le domaine de la métrologie.

Commentaire 3D : Directives et exemples sont des outils utiles, mais ils ne remplacent pas une réflexion claire et approfondie sur le problème particulier à traiter.

Question 4 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression des erreurs systématiques ?*

Réponse : On peut grouper en deux catégories les limites des erreurs systématiques : celles qui sont fondées sur les résultats expérimentaux (comme dans l'exemple donné dans le commentaire 3A ci-dessus), et celles qui reposent entièrement sur le jugement de l'expérimentateur. Nous recommandons que soient établies des règles pratiques pour chaque catégorie.

Commentaire 4A : Pour être utile, une règle pratique pour exprimer l'erreur systématique doit être conçue de façon telle qu'elle corresponde aux buts que l'on recherche en exécutant les expériences.

Commentaire 4B : Dans bien des cas les limites pour les erreurs systématiques prennent une forme asymétrique, c'est-à-dire qu'elles sont du type $(-a, +b)$.

Commentaire 4C : Une erreur systématique dans le résultat peut également se produire lorsque l'on utilise une procédure d'estimation ou une méthode de calcul qui est biaisée, comme par exemple en prenant le rapport des moyennes au lieu de la moyenne des rapports. Cette source d'erreur systématique peut toutefois être identifiée et corrigée ; son ordre de grandeur et son signe peuvent être estimés et on peut en tenir compte.

Question 5 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner entre elles les erreurs systématiques ?*

Réponse : Nous pensons que des règles pratiques pour combiner les limites d'erreurs systématiques entre elles pourraient être établies et qu'elles seraient utiles.

Commentaire 5A : Pour un « grand » nombre d'erreurs systématiques d'un ordre de grandeur à peu près égal, la combinaison par addition quadratique est raisonnable, dans la mesure où l'on peut s'attendre que certaines contributions se compensent entre elles. Lorsqu'une ou deux erreurs systématiques sont deux à trois fois plus grandes que les autres, la règle de l'addition linéaire semble réaliste ⁽²⁾. Là encore le choix dépend dans une large mesure de l'utilisation ultérieure du résultat.

Commentaire 5B : Que l'on décide de combiner les erreurs systématiques par addition quadratique ou par addition linéaire, il n'en est pas moins possible que deux sources d'erreurs systématiques agissent l'une sur l'autre et donnent une erreur systématique considérablement plus grande que la somme des deux prises séparément. Dans ce cas, la validité des ordres de grandeur attribués ne peut être vérifiée qu'avec des résultats expérimentaux.

Commentaire 5C : La combinaison est effectivement faite sur des tolérances ou des limites pour les erreurs systématiques (ou les erreurs aléatoires), non sur ces erreurs elles-mêmes. Peut-être conviendrait-il de parler « d'incertitude aléatoire » et « d'incertitude systématique » au lieu « d'erreur aléatoire » et « d'erreur systématique ». Dans l'esprit de certaines personnes, le mot « erreur » a la connotation d'une « faute connue » ; en tant que tel il pose la question de savoir ce qui empêche d'éliminer l'erreur entièrement. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de l'expression « erreur systématique ».

Question 6 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner les erreurs aléatoires et systématiques ?*

Réponse : A moins qu'un type d'erreur ne soit négligeable par rapport à l'autre, une combinaison des deux a nécessairement pour résultat une certaine perte d'information. Suite aux commentaires donnés à la Question 3, nous avons l'impression que l'utilisateur des résultats est mieux placé pour formuler sa propre règle.

Commentaire 6A : Au niveau le plus élevé des mesures, comme par exemple pour la détermination des constantes fondamentales, selon toute vraisemblance les erreurs systématiques dominent les erreurs aléatoires ; au marché, c'est le contraire qui est généralement vrai. Entre ces deux extrêmes, les ordres de grandeur des erreurs en provenance de l'une ou l'autre source sont vraisemblablement les mêmes, car on peut et on doit déceler et éliminer la cause d'une erreur systématique anormalement grosse. L'étalonnage et la certification entrent normalement dans cette catégorie.

Commentaire 6B : Bien que des règles pratiques pour formuler une incertitude finale puissent être utiles (voir Question 7), il est difficile d'échafauder une méthode permettant de combiner les limites de deux types essentiellement différents d'erreurs. Il faudrait au moins indiquer séparément les limites des erreurs aléatoires et des

⁽²⁾ C. EISENHART : « Realistic evaluation of the precision and accuracy of instrument calibration systems », *J. Res. NBS* 67C, 161-187 (1963). En particulier, le tableau 1 de la page 184.

erreurs systématiques; on pourrait faire de cela une règle. On pourrait ensuite discuter de la façon de combiner ces erreurs pour obtenir un seul résultat.

Question 7 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression de l'incertitude finale ?*

Réponse : Une règle pratique pour exprimer l'incertitude finale est utile en ce sens que l'incertitude finale donne l'inexactitude admise pour le résultat.

Commentaire 7A : Comme l'incertitude finale comprend des composantes dont certaines ne sont pas fondées sur des données expérimentales, il n'est pas convenable de lui attacher un niveau de probabilité déterminé. On préfère une limite de 2σ ou 3σ pour la composante aléatoire de l'erreur (ou l'équivalent dans le cas d'échantillons de petite taille⁽³⁾). Ces limites conventionnelles n'ont aucune signification précise en termes de probabilité, à moins que la forme de la distribution des erreurs ne soit vraiment bien établie.

Commentaire 7B : La règle pourrait être différente pour des conditions différentes. Il conviendrait de donner quelques exemples typiques.

Question 8 : *D'autres questions vous paraissent-elles essentielles ? Les questions précédentes vous paraissent-elles devoir être traitées dans un ordre différent ?*

Réponse : Les sept questions posées plus haut sont les questions essentielles à soumettre au Groupe de travail. Ces questions sont posées dans leur ordre naturel.

Commentaire 8A : Comme nous avons nettement l'impression que l'expression de l'incertitude, tant dans sa forme que dans son contenu, dépend de l'utilisation qui doit être faite du résultat, nous avons classé ces utilisations grossièrement en quatre catégories, à titre de suggestion pour le Groupe de travail :

- Recherche scientifique
- Tables de constantes
- Matériaux de référence
- Certificats de vérification et d'étalonnage.

Renseignements supplémentaires

A. Exemples

Nous donnons quatre exemples de types d'expression d'incertitudes utilisés ou recommandés pour :

Recherche scientifique :

R. N. Goldberg : « Microcalorimetric determination of glucose in reference samples of serum », *Clinical Chemistry* **22**, 1685-1691 (1976).

Tables de constantes

« Guide for the Presentation in the Primary Literature of Numerical Data Derived From Experiments », Unesco-UNISIST Guide, rapport du Groupe

⁽³⁾ B. L. JOINER : « Student-t deviate corresponding to a given normal deviate », *J. Res. NBS* **73C**, 15-16 (1969).

CODATA sur la publication des résultats, septembre 1973. Réimprimé dans la série National Standard Reference Data System (NSRDS) News, février 1974.

Matériaux de référence

Certificate for Standard Reference Material 993, Uranium-235 Spike Assay and Isotopic Solution Standard, National Bureau of Standards, March 13, 1975.

Certificats de vérification et d'étalonnage

Report of Length Values, Test Number L7051-1, Dimensional Technology Section, National Bureau of Standards (version abrégée).

B. Références bibliographiques sur les incertitudes expérimentales

En plus du NSRDS News indiqué ci-dessus sous le titre « Tables de constantes », nous voudrions mentionner les publications suivantes qui donnent les directives générales pour le NPL et le NBS respectivement.

NPL : P. J. Campion, J. E. Burns, A. Williams : « A code of practice for the detailed statement of accuracy » (HMSO, London, 1973).

NBS : C. Eisenhart : « Expression of the uncertainties of final results » ; H. H. Ku : « Expression of imprecision, systematic error, and uncertainty associated with a reported value ». Ces deux documents ont été réimprimés dans NBS Special Publication 300, Vol. 1, Precision Measurement and Calibration : Statistical Concepts and Procedures, U.S. Government Printing Office, 1969.

L'Organisation Internationale de Métrologie Légale dans son « Vocabulaire de Métrologie Légale », donne également des directives pour l'expression de l'incertitude. Voir en particulier le chapitre 8 « Erreurs des Résultats de Mesurage et Erreurs des Instruments de Mesurage » et chapitre 9 « Conditions d'emploi et qualités métrologiques des Instruments de Mesurage ».

DOCUMENT III

Réponse du Bureau National de Métrologie

Cette réponse a été établie en liaison avec l'Établissement Technique Central de l'Armement (ETCA), l'Institut National de Métrologie (INM) du Conservatoire National des Arts et Métiers, le Laboratoire Central des Industries Électriques (LCIE) et le Laboratoire Primaire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (LMRI).

Question 1 : *Faut-il recommander l'usage de l'écart-type pour caractériser une incertitude aléatoire ?*

Réponse : L'écart-type présente l'avantage de caractériser une incertitude aléatoire quelle que soit la loi de distribution. Néanmoins, comme on ne peut en connaître qu'une estimation au moyen de l'écart-type expérimental, il convient de donner le nombre de valeurs utilisées. Dans certains cas, on peut également indiquer l'étendue de la dispersion des résultats.

Question 2 : *Faut-il recommander l'usage d'une probabilité conventionnelle et des limites de confiance correspondantes (au lieu de l'écart-type) ?*

Réponse : Il n'existe pas à proprement parler de choix à effectuer entre l'usage de limites de confiance ou de l'écart-type. En effet, lorsque la loi de distribution est inconnue, seul l'écart-type peut être estimé.

L'utilisation de la limite de confiance s'avère commode dans la pratique pour caractériser l'incertitude d'un résultat final, mais, afin de ne pas perdre d'information, il faut indiquer également le nombre de degrés de liberté (ou le nombre de mesures). Par ailleurs, il serait souhaitable de normaliser le niveau de confiance correspondant (95 % de préférence). Enfin l'utilisation des limites de confiance pour les calculs intermédiaires est à proscrire.

Questions 3a et 3b : *Y a-t-il une différence essentielle entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques ? Faut-il recommander une règle pratique permettant de savoir à quel type d'erreur on a affaire ?*

Réponse : Il existe une différence entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques.

L'erreur systématique peut être définie comme l'erreur qui, lors de plusieurs mesurages effectués dans les mêmes conditions de la même valeur d'une certaine grandeur, reste constante en valeur absolue et en signe ou qui varie selon une loi définie quand les conditions changent.

L'erreur aléatoire (ou fortuite) peut être définie comme l'erreur qui varie d'une façon imprévisible en valeur absolue et en signe lorsqu'on effectue un grand nombre de mesurages de la même valeur d'une grandeur dans des conditions pratiquement identiques (cf. Norme NF × 07-007). Ceci peut être interprété statistiquement de la façon suivante. Pour chaque mesure il existe un écart appelé « erreur », entre la

valeur mesurée et la « valeur vraie ». Cet écart peut être considéré comme une valeur prise par une variable aléatoire dont l'espérance mathématique, ou « biais », représente la partie systématique et dont l'écart-type caractérise la partie aléatoire.

Si le biais est négligeable par rapport à l'écart-type, on dit que l'erreur est à caractère aléatoire dominant. Dans le cas contraire, l'erreur est dite à caractère systématique dominant. Entre ces extrêmes, toutes les situations peuvent se présenter.

Cette distinction entre erreur systématique et erreur aléatoire n'est possible que si le biais a pu être déterminé et dans ce cas on en tient compte en effectuant des corrections systématiques qui ont pour but de le réduire. Cependant en général le biais est inconnu et on a simplement une estimation subjective de sa dispersion autour d'une valeur que l'on suppose habituellement nulle.

Par ailleurs, il convient de faire les remarques suivantes :

- Erreurs aléatoires et erreurs systématiques correspondent à des notions physiques différentes ; il est donc utile de conserver les deux appellations.
- Augmenter le nombre de mesures permet de réduire la valeur de l'écart-type, mesure de la dispersion des erreurs aléatoires, mais ne peut en aucun cas diminuer l'influence des erreurs systématiques (ceci peut être obtenu par des règles expérimentales et non par répétition des mesures).

Question 4 : Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression des erreurs systématiques ?

Réponse : Il serait souhaitable d'arriver à une expression uniforme qui permettrait de caractériser la dispersion du biais. Il semble que la pratique actuelle qui consiste à utiliser les limites supérieures d'erreur conduise à des résultats pessimistes. Cependant, toute autre règle pratique et plus réaliste est alors conventionnelle et dépendante de la grandeur mesurée (voire de la méthode utilisée).

Question 5 : Faut-il recommander une règle pratique pour combiner entre elles les erreurs systématiques ?

Réponse : Lorsqu'on est en présence de plusieurs erreurs systématiques, on dispose d'estimations subjectives pour caractériser la dispersion des différents biais. On peut envisager dans ces conditions, pour estimer la dispersion totale, et si l'on peut raisonnablement admettre que ces biais sont indépendants, de combiner ces dispersions comme s'il s'agissait d'erreurs aléatoires. On doit faire des réserves sur les points suivants :

- Le nombre d'erreurs systématiques doit être suffisamment important (et en tout cas supérieur à 4).
- Seul l'écart-type pourra alors être calculé, on ne pourra calculer des limites de confiance qui nécessiteraient la connaissance de la loi de distribution des biais.

Cependant, il convient d'insister sur le fait que le non-respect des hypothèses sous-jacentes à cette règle de combinaison des erreurs systématiques risque de détériorer la qualité de la mesure en sous-estimant l'importance des erreurs systématiques.

Question 6 : Faut-il recommander une règle pratique pour combiner les erreurs aléatoires et systématiques ?

Réponse : Dans l'éventualité de l'existence d'une règle pratique de combinaison des erreurs systématiques entre elles, telle que celle développée au point 5, on peut

envisager une règle qui combinerait les erreurs systématiques et aléatoires de la façon suivante : pour obtenir la variance globale des résultats, on ajouterait la variance estimée de la moyenne des mesures à la variance obtenue par combinaison des variances estimées correspondant aux différents biais systématiques.

Si au contraire, une telle règle ne pouvait être retenue, l'approche qui consiste à exprimer les erreurs systématiques en « valeur maximale » et à ajouter aux limites de confiance (des erreurs aléatoires) les bornes calculées (des erreurs systématiques) nous semble être, bien que pessimiste, celle permettant de ne pas masquer l'importance des erreurs systématiques.

Question 7 : Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression de l'incertitude finale ?

Réponse : Même dans le cas où les différentes erreurs peuvent être traitées par une règle de combinaison des erreurs systématiques entre elles (voir point 5) et par une règle de combinaison des erreurs systématiques et des erreurs aléatoires (voir point 6), la représentation de l'incertitude globale sous forme d'un intervalle de confiance correspondant à un niveau de confiance donné n'est en général pas possible. On est donc amené à exprimer cette incertitude en se basant sur la variance globale des résultats. Toutefois pour certaines applications (certificats d'étalonnage par exemple), il serait souhaitable que l'on puisse uniformiser cette expression sous forme d'un multiple de l'écart-type estimé.

Cette restriction quant à l'impossibilité de définir un intervalle de confiance présente en effet des difficultés pour la présentation des résultats.

En conclusion au présent questionnaire, nous tenons à souligner les dangers d'une approche entièrement statistique des erreurs systématiques, approche que nous avons essayé de développer au cours des réponses. Il est indispensable que les hypothèses soient vérifiées, notamment celles relatives au nombre d'erreurs systématiques prises en compte et à leur indépendance. Si tel n'était pas le cas, la sous-estimation de l'importance des erreurs systématiques contribuerait à la dégradation de la qualité des résultats de mesure.

Bibliographie :

A. ALLISY : « Les erreurs aléatoires », enseignement de métrologie (CNAM, Paris, 1975).

de façon univoque lorsque la durée des variations est comparable à la durée de la mesure.

5.2 *Erreur systématique*. Terme utilisé pour expliquer la différence éventuelle « valeur mesurée moins valeur correcte » due à des grandeurs d'influence constantes ou au biais introduit par des mesures antérieures qui ne peuvent être répétées. (Les erreurs systématiques connues doivent être corrigées; une incertitude subsiste).

6. *Incertitude (d'une valeur mesurée)*. Elle exprime la valeur absolue d'un éventuel écart de la valeur mesurée par rapport à la valeur correcte. Pour indiquer la grandeur de l'incertitude on peut la donner comme un intervalle de part et d'autre de la valeur mesurée ou de la meilleure estimation d'une valeur; il y a une certaine probabilité que cet intervalle contienne la valeur correcte. Il est souvent possible de distinguer les deux composantes suivantes :

6.1 *Incertitude aléatoire (incertitude de répétition)*. Un certain multiple de l'écart-type expérimental de la moyenne d'une série de mesures. On peut la diminuer en augmentant le nombre de mesures.

6.2 *Incertitude systématique*. Cette incertitude peut seulement être estimée d'après la connaissance ou l'expérience acquise en dehors de la mesure considérée.

7. *Composante de l'incertitude (ou incertitude partielle)*. Incertitude due à l'effet pris séparément d'une grandeur d'influence (voir N° 3), des erreurs de calcul, d'un biais ou des fluctuations des valeurs indiquées.

8. *Incertitude totale*. Une certaine combinaison de toutes les composantes de l'incertitude.

Projet de réponse de la PTB au questionnaire du BIPM sur les incertitudes

Nous tenons à souligner que notre norme nationale se rapportant à ces questions ainsi qu'à d'autres questions de métrologie (DIN 1319, parties 1-3) est en cours de complète révision. On ne peut, par conséquent, pour le moment considérer nos réponses *que comme des directives* pour la discussion qui doit se poursuivre au sein de la PTB et du DIN.

Question 1 : *Faut-il recommander l'usage de l'écart-type pour caractériser une incertitude aléatoire ?*

Question 2 : *Faut-il recommander l'usage d'une probabilité conventionnelle et des limites de confiance correspondantes (au lieu de l'écart-type) ?*

Ceci devrait être laissé à la décision de chacun, mais le choix devrait être indiqué de façon explicite. Dans les deux cas le nombre de degrés de liberté devrait être donné.

Question 3a : *Y a-t-il une différence essentielle entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques ?*

La réponse dépend du type d'expérience considéré. C'est « oui » seulement dans les cas où les grandeurs d'influence qui varient peuvent être nettement classées selon que les constantes de temps sont soit courtes soit longues par rapport à la durée des mesures. Dans bien des expériences les deux sont comparables et cette distinction ne s'applique pas; l'écart-type expérimental varie selon la durée des mesures.

Question 3b : *Faut-il recommander une règle pratique permettant de savoir à quel type d'erreur on a affaire ?*

Voir réponse à 3a.

Question 4 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression des erreurs systématiques ?*

Dans ce contexte on ne devrait pas utiliser le terme « erreur systématique » mais seulement « incertitude systématique ». Avec cette modification la réponse est « oui ».

Question 5 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner entre elles les erreurs systématiques ?*

Oui, on devrait recommander des règles pour combiner les erreurs systématiques (voir 7 et 8 dans le glossaire).

Question 6 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner les erreurs aléatoires et systématiques ?*

Oui, on devrait recommander des règles appropriées pour combiner les incertitudes systématiques et aléatoires.

Question 7 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression de l'incertitude finale ?*

Même réponse qu'à la question 6.

Question 8 : *D'autres questions vous paraissent-elles essentielles ? Les questions précédentes vous paraissent-elles devoir être traitées dans un ordre différent ?*

Il faudrait discuter des informations à donner dans les certificats d'étalonnage dans les différents domaines.

Bibliographie

S. Wagner : PTB-Bericht FMRB 31/69, Nov. 1969

H. Reich : « Die Unsicherheit von Messungen mit Ionisationskammer-Dosimetern », PTB-Mitteilungen **86**, 421-426 (1976).

DOCUMENT V

Réponse du National Physical Laboratory

(Traduction BIPM)

Avant-propos

Avant de répondre au questionnaire du BIPM sur les incertitudes, le NPL tient à dire qu'à son avis la tâche la plus importante qu'un groupe *ad hoc* du BIPM puisse entreprendre est de définir clairement les concepts fondamentaux entrant en jeu, afin de fournir une base solide sur quoi fonder des directives pratiques. Si l'on considère les difficultés de cette entreprise, et tout en formant des vœux pour son aboutissement, on ne peut s'empêcher d'exprimer quelques doutes sur les chances de son succès.

Introduction

Il n'y a pas de doute que beaucoup de discussions sur les incertitudes sont stériles. La raison en est généralement que les participants à ces discussions utilisent les mêmes mots dans des sens différents. Avant de passer à la discussion de règles pratiques pour traiter les incertitudes il est absolument essentiel que le Groupe de travail parvienne d'abord à un accord sur les concepts fondamentaux et la terminologie, sinon il va passer son temps à argumenter sur des malentendus.

Avant de répondre aux questions spécifiques du questionnaire du BIPM, nous passons en revue ces concepts fondamentaux sous trois rubriques :

- a) distinction entre erreurs et incertitudes,
- b) classification et définition des incertitudes, et
- c) nomenclature des incertitudes. Dans le même ordre d'idées, il y aurait lieu de se demander si des mots aussi galvaudés que « erreur, exactitude et précision » peuvent avoir une signification acceptée à l'échelon international.

Distinction entre erreur et incertitude

Lorsque la science adopte des mots usuels dans une langue, il est tout à fait souhaitable que toute signification restreinte qui leur est donnée ne diffère pas beaucoup de la signification commune quotidienne de ces mots. Ainsi, en anglais courant le mot « error » est plus ou moins synonyme de « faute, tort, différence, désaccord, divergence », tandis que le mot « uncertainty » est plus ou moins synonyme de « doute, vague, imprécision, ignorance, connaissance imparfaite ». En simple théorie expérimentale, par conséquent, l'erreur d'une mesure est la différence entre la valeur mesurée et la valeur vraie de la grandeur qui est mesurée. L'incertitude exprime le doute concernant l'exactitude de la mesure, c'est-à-dire le domaine à l'intérieur duquel on pense que se trouve la valeur vraie.

Dans bien des cas on peut se convaincre que la grandeur à mesurer doit avoir une valeur vraie. Dans d'autres cas la grandeur à mesurer possède une incertitude

intrinsèque. Une grandeur stochastique a toutefois une espérance mathématique. Mais dans tous les cas la valeur vraie n'est pas connue et ne peut pas être connue ; il s'ensuit que l'erreur de la mesure n'est pas connue et ne peut être connue. En conséquence, la discussion des erreurs est généralement stérile, et dans la plupart des cas quand on discute des erreurs, il s'agit en fait d'incertitudes ; une distinction claire entre les deux termes doit toujours être faite. Il n'est pas défendable d'employer des expressions telles que « propagation des erreurs », alors que ce qu'on veut dire est « combinaison des incertitudes », car cela mène à des concepts erronés et à des discussions sur des malentendus.

Classification et définition des incertitudes

Les discussions sur les incertitudes ont été fortement influencées par la vieille distinction entre erreurs aléatoires, qui entraînent des variations des valeurs mesurées, et erreurs systématiques qui entraînent des erreurs constantes dans la mesure. Il n'est pas très utile cependant de diviser les incertitudes de la même façon. Au lieu de cela, on propose que les incertitudes soient divisées en deux catégories dépendant de la façon dont elles sont obtenues et non de la façon dont les mesures en sont affectées.

On peut considérer ces deux catégories comme faisant la distinction entre les faits et les supputations. D'une part, nous avons les écarts-types, les limites de confiance, etc., qui sont calculés à partir des résultats de mesures répétées ; n'importe qui doit être en mesure de calculer exactement les mêmes valeurs pour ces incertitudes, si on lui donne le détail des résultats expérimentaux. D'autre part, nous avons l'estimation des incertitudes déduites, par exemple, de modifications délibérées des influences extérieures, de mesures complémentaires pour déterminer des facteurs de correction, de l'examen des variations à long terme des résultats, et quelquefois simplement d'une évaluation intelligente par l'expérimentateur ; une autre personne examinant les mêmes résultats expérimentaux pourrait arriver à une valeur différente pour cette incertitude.

Il n'est pas facile de donner des définitions précises pour ces deux types d'incertitudes, mais le Groupe de travail devrait essayer de le faire. On suggère les définitions suivantes :

- a) incertitudes sur la valeur mesurée estimées au moyen de méthodes statistiques à partir des résultats de mesures répétées ;
- b) incertitudes estimées au moyen de méthodes non statistiques pour tenir compte de l'effet sur la mesure des influences aussi bien fixes que variables.

Nomenclature des incertitudes

Il est évident que les définitions que l'on vient de donner de ces deux types d'incertitudes sont trop longues pour pouvoir être utilisées comme des noms. De nombreux noms différents ont été proposés dans le passé, en particulier par les chercheurs du NBS, dont les publications sur ce sujet sont rassemblées dans l'excellente NBS Special Publication 300. Ces propositions sont généralement trop lourdes et n'ont pas été adoptées largement. En 1973 la classification ci-dessus et les noms d'*incertitudes aléatoires* et *incertitudes systématiques* ont été proposés par Burns, Champion et Williams dans une Lettre à *Metrologia*. Ils ont l'inconvénient évident d'être très semblables aux termes d'*erreurs aléatoires* et *erreurs systématiques* qui correspondent à un classement différent. Néanmoins, ces expressions sont brèves

et sont depuis lors largement et de plus en plus utilisées dans les publications scientifiques.

A première vue, la discussion ci-dessus peut paraître très philosophique, mais elle ne l'est pas. Elle vise à fournir une base pratique solide sur laquelle une superstructure de règles et de recommandations peut être érigée. Le Groupe de travail devrait d'abord prendre le temps d'arriver à un accord sur ces concepts fondamentaux.

Après cela le groupe pourra passer à la discussion des règles pratiques pour traiter les incertitudes. Il se peut qu'on ne parvienne jamais à un système complètement uniforme parce que des nécessités et des traditions différentes peuvent exiger des types différents d'expression et des méthodes différentes de dérivation. Mais, si dans l'expression d'une incertitude la *signification* réelle de cette expression est incertaine, alors cette expression est sans valeur.

Réponses au questionnaire du BIPM

On ne doit pas perdre de vue que le questionnaire ne sollicite pas à ce stade les points de vue individuels ou collectifs sur la façon dont on doit traiter les incertitudes. Il demande plutôt des avis sur les sujets que le Groupe de travail envisagé par le BIPM pourrait discuter avec le plus de profit pendant le temps (précieux) dont il disposera.

Question 1 : *Faut-il recommander l'usage de l'écart-type pour caractériser une incertitude aléatoire ?*

Le Groupe de travail pourrait utilement élucider la différence entre une indication de la répétabilité d'un instrument qu'on étalonne (généralement caractérisée par l'écart-type des lectures individuelles) et une indication de l'incertitude aléatoire d'un facteur d'étalonnage ou d'une mesure; en effet, l'incertitude aléatoire peut comporter plusieurs composantes en plus de celle qui provient de la dispersion des lectures faites pendant un étalonnage ou une série de mesures.

Question 2 : *Faut-il recommander l'usage d'une probabilité conventionnelle et des limites de confiance correspondantes (au lieu de l'écart-type) ?*

Il existe deux façons courantes d'indiquer l'incertitude aléatoire d'une mesure :

- a) écart-type de la moyenne, avec le nombre effectif de degrés de liberté,
- b) limites de confiance à un niveau donné de probabilité, avec le nombre effectif de degrés de liberté.

Si l'une est donnée et si l'on admet une certaine distribution, on peut calculer l'autre. Il paraîtrait inutile de passer beaucoup de temps à discuter de cela étant donné que différentes circonstances peuvent jouer un rôle déterminant dans le choix de la méthode à employer. Pour le choix du niveau de probabilité, voir la réponse à la question 7.

Questions 3a et 3b : *Y a-t-il une différence essentielle entre erreurs aléatoires et erreurs systématiques ? Faut-il recommander une règle pratique permettant de savoir à quel type d'erreur on a affaire ?*

C'est un point important; il est discuté dans les paragraphes d'introduction à notre réponse.

Question 4 : *Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression des erreurs systématiques ?*

Il existe de nombreuses techniques expérimentales que l'on peut utiliser pour tenter d'obtenir une estimation de la façon dont une mesure risque d'être influencée par des conditions externes ou internes. Le Groupe de travail pourrait étudier s'il est possible de proposer quelques directives générales concernant ces techniques bien qu'une discussion détaillée ne soit guère possible car ces techniques diffèrent beaucoup d'un domaine scientifique à l'autre. Toutefois, après qu'on a effectué ces contrôles supplémentaires et appliqué les corrections appropriées au résultat, on trouve encore des incertitudes résiduelles : les incertitudes systématiques qu'il faut estimer et chiffrer.

Il y a une façon objective d'indiquer ces incertitudes ; elle consiste à donner des limites d'incertitude si larges que l'influence considérée ne peut en aucun cas affecter le résultat d'une quantité supérieure, quelles que soient les circonstances. Toutefois, ce n'est pas ce que l'on fait, car cela rendrait les limites d'incertitude inutiles d'un quelconque point de vue pratique concernant la comparaison des résultats. Ce que l'on attend de l'expérimentateur est qu'il indique les limites les plus étroites dont il peut se convaincre qu'elles sont raisonnables, tout bien considéré. Les limites de l'incertitude systématique sont par conséquent estimées en faisant appel à un jugement subjectif. Et comme il s'agit d'un jugement subjectif, la seule façon de décrire les critères adoptés dans l'estimation de l'incertitude est de se servir d'une expression subjective.

Bien qu'elle donne l'impression d'être objective, l'expression couramment employée de « limites maximales d'erreur » est très subjective, mais elle implique une estimation sans risque, avec des limites assez larges, peut-être comparables aux limites de confiance de 99,9 %. D'autre part, l'expression qui a été suggérée « aussi probable qu'improbable » implique des limites étroites, comparables en quelque sorte avec celles de l'« erreur probable » en statistique, c'est-à-dire des limites de confiance de 50 %, tandis qu'une autre expression suggérée « deux fois plus probable qu'improbable » serait comparable aux limites de confiance de 67 % ou à l'écart-type de la moyenne.

Le terme utilisé dans quelques secteurs du NPL est « certain au-delà du doute raisonnable » ; c'est évidemment le critère utilisé pour établir le verdict des jurés dans le système judiciaire anglais ; on peut le considérer comme approprié pour être associé avec des limites de confiance de 99 %.

Si le Groupe de travail est d'accord sur cette façon d'évaluer les erreurs systématiques, il pourra alors utilement étudier :

a) le choix du niveau de probabilité subjectif à adopter (voir également la réponse à la question 7) ;

b) le choix des expressions que l'on pourrait utiliser pour décrire ce niveau subjectif de probabilité.

Question 5 : *Faut-il recommander une règle pratique pour combiner entre elles les erreurs systématiques ?*

Il existe au moins cinq méthodes différentes couramment utilisées pour combiner les incertitudes systématiques :

a) additionner les incertitudes de façon linéaire (la plupart des expérimentateurs reconnaîtraient, d'après leur expérience, que c'est une estimation par excès) ;

b) faire la somme quadratique des incertitudes (toujours d'après leur expérience, de nombreux expérimentateurs ont l'impression que c'est une estimation par défaut);

c) si une ou deux composantes de l'incertitude sont nettement supérieures aux autres, les ajouter de façon linéaire à la somme quadratique des composantes plus petites;

d) choisir une valeur plausible quelque part entre la somme linéaire et la somme quadratique;

e) utiliser la formule mathématique, en admettant une certaine distribution de probabilité de l'erreur systématique, pour calculer une valeur qui soit comparable à un paramètre statistique tel que l'écart-type de la moyenne.

Ce qu'il faudrait, ce serait une théorie convaincante fondée sur le concept d'incertitude (et non d'erreur), à partir de laquelle on puisse dériver une méthode pour combiner les incertitudes systématiques. Si cela s'avère impossible, une seconde solution consisterait à donner une classification claire et une description des différentes méthodes, avec quelques conseils concernant leurs avantages respectifs et leurs domaines d'application.

Cette question ne peut être dissociée de celle de la combinaison des incertitudes systématiques et aléatoires, voir donc aussi la réponse à la question 7.

Question 6 : Faut-il recommander une règle pratique pour combiner les erreurs aléatoires et systématiques ?

La plupart des intéressés accepteraient que les incertitudes aléatoires et systématiques ne soient pas combinées, à moins que les unes et les autres ne soient estimées à un niveau de probabilité comparable (probabilité subjective dans le cas des incertitudes systématiques). Ceci ne peut être utilement discuté indépendamment de la question suivante.

Question 7 : Faut-il recommander une règle pratique pour l'expression de l'incertitude finale ?

Comme il est suggéré dans le questionnaire, il est souhaitable d'indiquer les erreurs aléatoires et systématiques séparément dans les mesures de très haut niveau d'exactitude. Dans ce cas, on doit donner la liste des estimations individuelles de chacune des composantes de l'incertitude; si toutes ces indications sont données, il est possible au lecteur d'un rapport de les combiner selon toute méthode qui lui paraît appropriée.

C'est surtout aux niveaux inférieurs de la hiérarchie des étalonnages que le besoin d'exprimer l'incertitude totale se fait sentir; on peut raisonnablement se demander quel usage pratique est fait de cette indication. La réponse, dans la plupart des cas, est que l'on en a besoin à des fins juridiques, ou pseudo-juridiques. Prenons, par exemple, le cas d'un fabricant qui achète un instrument de mesure onéreux, spécialement étalonné par un centre d'étalonnage secondaire, et qui utilise cet instrument comme étalon de travail pour fabriquer ensuite un grand nombre de composants dont les dimensions sont critiques au niveau de l'utilisation. Si l'étalonnage de son étalon de travail s'avère présenter une erreur de 1 % (c'est-à-dire

un écart de 1 % lorsqu'on le compare ultérieurement à un autre étalon secondaire), et si le certificat d'étalonnage pour cet instrument indique une incertitude totale de $\pm 0,1$ %, ce fabricant est en droit de se sentir lésé. Il importerait peu à l'une ou l'autre partie de savoir que, sur ce $\pm 0,1$ %, $\pm 0,07$ % correspondait à l'incertitude aléatoire et $\pm 0,07$ % à l'incertitude systématique, et qu'elles avaient été combinées par addition quadratique.

Dans la plupart des cas, un fabricant portera son choix sur un instrument de mesure dont l'incertitude est considérablement plus petite que les tolérances dont il a besoin pour sa fabrication; dans ces cas-là, peu importent les méthodes utilisées pour combiner et indiquer les incertitudes aléatoires et systématiques. Toutefois, ce choix n'est pas toujours possible et c'est lorsque les tolérances imposées à la fabrication s'approchent de l'incertitude d'étalonnage que l'indication de l'incertitude devient importante. On a souvent prétendu que les limites de confiance au niveau de probabilité de 99 % ne sont appropriées que pour des mesures comme celles effectuées dans les laboratoires primaires, qu'ailleurs des limites de confiance de 95 %, ou même de 90 %, sont considérées comme acceptables et que les incertitudes systématiques devraient être estimées au même niveau subjectif de probabilité. Toutefois, cela signifie en principe qu'un instrument sur vingt en moyenne (ou 1 sur 10 pour un niveau de probabilité de 90 %) aura une réponse vraie qui se situe (à une distance inconnue) en dehors des limites d'incertitude autour du facteur d'étalonnage indiqué. Cette probabilité d'erreur peut dans certains cas être inacceptable pour les fabricants.

Ce que cela pourrait indiquer est que les incertitudes systématiques devraient être estimées en utilisant des critères comme « limites maximales d'erreur » ou « certain au-delà du doute raisonnable » et qu'elles devraient être combinées avec des limites de confiance estimées au niveau de 99 %. Ceci donne des indications pour les réponses aux questions 2 et 4. Il reste douteux que cela implique qu'il faille combiner les incertitudes systématiques de façon linéaire, mais le Groupe de travail devra étudier cela. Les modalités pour combiner les incertitudes doivent également être discutées, que ce soit directement ou par le calcul intermédiaire de l'écart-type de la moyenne et d'une grandeur comparable pour les incertitudes systématiques.

Il y a un point délicat lié aux incertitudes systématiques que le Groupe de travail voudra peut-être étudier. Prenons le cas d'une expérience pour laquelle les incertitudes systématiques individuelles ont été estimées à un niveau subjectif de probabilité de 99 %. Supposons maintenant que quelqu'un veuille ultérieurement utiliser le résultat de cette expérience en liaison avec une autre expérience pour laquelle les incertitudes systématiques ont été estimées à un niveau subjectif de probabilité de 67 %. Peut-on proposer une méthode pour rendre la première série d'incertitudes compatible avec la seconde série ?

Un point analogue est la combinaison des incertitudes aléatoires d'expériences (annexes ou antérieures) dont les résultats doivent être utilisés pour une autre expérience. Faut-il considérer les incertitudes aléatoires de ces premières expériences comme des incertitudes aléatoires ou comme des incertitudes systématiques dans la seconde ?

Il pourrait aussi être intéressant de voir si la théorie moderne de l'information peut donner une idée de la quantité d'information perdue lorsque des listes détaillées de limites d'incertitude sont condensées en donnant les limites d'une incertitude globale unique.

Un problème plus mineur mais néanmoins très pratique est celui du traitement des lectures qui se situent très loin de la moyenne.

Renseignements complémentaires

La publication N° 3003 du British Calibration Service « The expression of uncertainty in electrical measurements » (1977) donne les méthodes utilisées dans ce service d'étalonnage. On a souligné ailleurs qu'il semble peu probable de trouver une méthode unique qui convienne à tous les niveaux de la hiérarchie des étalonnages. Ce document est donc donné comme un *exemple* de la forme nécessairement abrégée d'une présentation de l'incertitude, forme qui doit être utilisée à un niveau assez éloigné du sommet de la hiérarchie ; il ne doit pas être considéré comme une indication de la politique du NPL dans ce domaine.

NOTICES NÉCROLOGIQUES

REGINALD HUGH FIELD

(1890-1979)

Reginald Hugh Field, homme de science et métrologue de grande distinction, est mort le 24 mars 1979, à l'âge de quatre-vingt-neuf ans, à la Barbade où il habitait depuis qu'il avait pris sa retraite du Conseil National de Recherches du Canada en 1954.

R.H. Field était né le 11 janvier 1890 à Rotherfield, Sussex, Angleterre. Il reçut une formation en génie mécanique à l'Université de Liverpool, où il obtint la haute distinction de la Whitworth Exhibition Scholarship. Aussitôt après avoir obtenu brillamment son diplôme, il partit pour le Canada où, en 1914, il entra au Physical Testing Laboratory du Département de l'Intérieur du Gouvernement Fédéral du Canada, dont il devint plus tard le chef. Ce laboratoire était chargé de tous les travaux scientifiques nécessaires pour assurer les bases de l'arpentage topographique et géodésique effectué par le Gouvernement Fédéral. Il lui incombait en particulier de conserver les étalons primaires de longueur et de masse du Canada. R.H. Field commença donc très tôt à travailler en liaison avec le BIPM.

Déjà à l'époque de son arrivée au Canada, la photogrammétrie y était largement employée pour la cartographie. R.H. Field s'intéressa tout de suite à cette spécialité qui resta pour lui une activité de premier plan pendant toute sa longue carrière. Après la première Guerre mondiale, l'introduction de la photographie aérienne a considérablement élargi le domaine d'application de la photogrammétrie. Il serait difficile d'exagérer la contribution de R.H. Field au développement de cette technique au Canada, à cette époque. Pendant toutes ces années, les fonds consacrés aux travaux scientifiques étaient rares. Heureusement R.H. Field avait l'art de faire des mesures de haute exactitude et d'imaginer des techniques nouvelles en se servant d'appareils disponibles ou d'appareils qu'il dessinait lui-même et qui étaient fabriqués dans son atelier.

En 1931, le Physical Testing Laboratory fut transféré au sein du Conseil National de Recherches, dont il devint la Section de Métrologie Mécanique, et l'étendue de ses compétences fut très élargie. Durant les années qui suivirent, jusqu'au commencement de la deuxième Guerre mondiale, ce laboratoire avait la responsabilité de vérifier la géométrie de toutes les prises de vue par photographie aérienne au Canada.

R.H. Field y a conçu plusieurs appareils destinés à produire des cartes à partir de photographies aériennes, ainsi que de multiples instruments optiques pour les besoins militaires. En même temps, il a équipé son laboratoire pour les mesures de longueur par des méthodes interférométriques. Il a également perfectionné les appareils pour vérifier les étalons du mètre et du yard impérial. Il a aussi amélioré considérablement la précision et l'exactitude de la balance employée pour la comparaison des étalons de masse primaires et secondaires.

Immédiatement après le commencement de la deuxième Guerre mondiale, il fut chargé d'établir un grand laboratoire métrologique qui est devenu le centre de

référence pour toutes les mesures mécaniques demandées par l'Industrie Canadienne pour les fabrications d'armement. Durant la guerre, R.H. Field fut aussi responsable de l'étude et de la mise au point d'instruments d'optique divers pour satisfaire des besoins militaires spécifiques.

Après la guerre R.H. Field a continué à diriger la section de métrologie du Conseil National de Recherches jusqu'à sa retraite en 1954.

Pendant sa longue carrière qui a duré quarante ans, il a publié un grand nombre d'articles dans le domaine de la métrologie mécanique, de la photogrammétrie et des instruments de haute précision optiques et mécaniques. En 1943 il fut nommé Member of the British Empire pour sa contribution scientifique à la défense. Il a siégé fréquemment dans les comités de la Canadian Standards Association et de l'American Society for Testing Materials. Pendant de nombreuses années il a fait partie du Canadian Institute of Surveying and Photogrammetry, dont il est devenu l'un des membres les plus renommés. Il fut aussi le président de l'Associate Committee on Survey Research du Conseil National de Recherches du Canada.

Il fut élu membre du Comité International des Poids et Mesures en février 1951 et il présida en 1953 la première session du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre. Lors de son départ en retraite, en 1954, il demanda à se démettre de ces fonctions et le Comité International des Poids et Mesures le nomma membre honoraire en 1956.

L.E. HOWLETT

GRIGORY BOURDOUN

(1907-1980)

Le Professeur G. Bourdoun, membre honoraire du Comité International des Poids et Mesures, est décédé le 12 avril 1980 dans sa soixante-treizième année. Né en 1907, il avait terminé en 1927 ses études à la Faculté de Physique-Mathématiques de l'Université de Kharkov. Il a poursuivi conjointement une carrière d'enseignant en qualité d'assistant, de professeur et de titulaire d'une chaire de physique, ainsi qu'une carrière de chercheur dans le domaine des mesures électriques et radiotechniques. Il était docteur ès-sciences physiques.

Lorsqu'il fut élu en 1954 membre du Comité International des Poids et Mesures, G. Bourdoun était déjà bien connu pour ses activités au sein du Service d'État des Poids et Mesures de l'URSS; il était alors président du Conseil scientifique et technique de la Chambre Centrale des Mesures et Instruments de Mesure de l'URSS.

Dans le cadre des activités du Comité International des Poids et Mesures, dès 1954 le rôle de G. Bourdoun s'est avéré particulièrement important à la présidence de la « Commission du Système d'Unités ». G. Bourdoun a en effet présidé cette Commission pendant les dix années d'existence de celle-ci, avant la création du Comité Consultatif des Unités en 1964. C'est le travail de ces dix années, sous la direction de G. Bourdoun, qui a abouti à l'établissement du Système International d'Unités, adopté par la 11^e Conférence Générale des Poids et Mesures en 1960.

En 1961, G. Bourdoun a succédé à R. Vieweg à la présidence du Comité Consultatif d'Électricité. Son action à la tête de ce Comité a toujours été appréciée.

G. Bourdoun joua également un rôle important au sein du Comité International de Métrologie Légale. Il fit aussi partie du premier conseil de rédaction de METROLOGIA dès que la création de cette revue fut décidée en 1963.

Pendant toutes ces années G. Bourdoun a continué à assumer d'importantes responsabilités au sein de nombreuses associations ou sociétés scientifiques ou à la présidence de différentes institutions en URSS.

Après avoir donné sa démission en 1966, il fut nommé membre honoraire du Comité International des Poids et Mesures en 1969.

V.I. KIPARENKO

INDEX

- Balances
à suspension flexible, 42
Rueprecht, 41
Base géodésique, 35
Bâtiments
dépendances, 30
Grand Pavillon (étanchéité de la terrasse ;
ravalement ; extension de la cantine), 30
Petit Pavillon, 30
BIH, avenir du, 16
Budget 1981, 22
- Candela, position de la CIE sur, 6, U 3
Certificats, Notes d'étude, 83
CGPM (16^e), Groupe de travail *ad hoc*, 4
Comités Consultatifs
Définition du Mètre (réunion conjointe
avec CCU), 5, 10
Définition de la Seconde, 9^e session, 7
Électricité, 8, 29
liste des membres, 25
masses et grandeurs apparentées, créa-
tion, 10 ; composition, 29
Photométrie et Radiométrie, 8
Rayonnements Ionisants, 9, 10
réunions futures, 10
révision de la composition, 8
Thermométrie, 6 ; rapport 13^e session, T 1
Unités, 5 ; rapport 7^e session, U 1
Comité International
bureau du, 3
décès (G. D. Bourdoun), 2, XIII, (R. H.
Field), XI
démissions (F. J. Lehany, J. M. Otero,
Y. Sakurai), 2, 3
élection (J. Skakala), 3
honorariat : J. M. Otero, 2 ; F. J. Lehany,
23
nomination d'un Secrétaire Adjoint (H. H.
Jensen), 4
rapport du Secrétaire, 3
Comparaisons internationales
cellules scellées, 53 ; T 4
étalons de f.é.m., 58
étalons de 1 Ω , 57
étalons de 10⁴ Ω , 57
étalons d'exposition (JEN), 62
 λ de lasers, 35, 37, 39
radionucléides (¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁵⁵Fe), 68
règles divisées, 31
Comparateur photoélectrique et interféren-
tiel, 31
Comptes, 4, 93
- Définition du mètre
propositions pour une nouvelle, U 4
Dépôt des prototypes métriques,
visite, 20 ; limitation du nombre des
visiteurs, 19
Documentation, 66
- Échelle Internationale Pratique de Tempé-
rature (*voir* Thermométrie)
Échelles de temps (*voir* Temps)
Effet von Klitzing, 14
Électricité, 56
coefficient de pression, 57
comparaisons de représentations nationa-
les de Ω , 56, de V, 58
comparaisons d'étalons de 10⁴ Ω , 57
comparateur cryogénique de courants, 60
effet von Klitzing, 14
piles étalons, 59
unité de f.é.m., conservation, 59
Électrons, mesure de W , 67
Enquêtes sur (questionnaire)
expression des incertitudes, C 12
mesures de force, B 7
Enregistrement automatique de données, 63
Étalons
électriques (*voir* Électricité)
longueur
à bouts plans, 34
à traits, 31
masse en Pt-Ir, fabrication, 45
Expression des incertitudes, (*voir* Incertitu-
des)
- Force, mesures de, B 1
instruments de transfert, B 5
organisation de comparaisons internatio-
nales, B 5
questionnaire du BIPM, B 7
rapport d'après les réponses au question-
naire, B 8

- Gravimétrie (gravimètre absolu transportable), 50
- Groupes de travail
ad hoc de la 16^e CGPM, 4
conjoint CCDM/CCU, U 5, 5, 10
mesures de force (rapport), B 1
mesures de pression (rapport), A 1;
composition, A 4
réorganisation des (du CCT), T 4
- Incertitudes, expression des, C 1
questionnaire, C 12
rapport consécutif à l'enquête, C 1
réponse du BNM, C 23; du NBS, C 17, du
NPL, C 30; de la PTB, C 26
- Interférométrie, 35
interféromètre de Michelson, 40
- Invar géodésique, 35
- Kilogrammes prototypes
N° 44 (Australie) et E59 (Japon), 40,
comparaisons, 41
fabrication des, 45
- Lasers
asservis sur I₂, 36, sur CH₄, 39, sur
« Lamb dip », 38
comparaisons de λ (avec NIM), 37; (avec
NIM et LPTF), 39
- Longueurs, 31
- Manométrie, 56
- Masses, 40
création d'un Comité Consultatif pour les,
10; composition, 29
- Mesures neutroniques, 76
préparation de mesures de dose absorbée
dans le tissu, 76
source de neutrons de 14 MeV pour la
dosimétrie, 15
- Mètre, formulation d'une nouvelle définition,
proposition du CCU, U 4
- Notices
historique, V
nécrologiques : (G. Bourdoun), XIII;
(R. H. Field), XI
- Personnel du BIPM,
adjoints (R. P. Hudson; J. M. Chartier), 21
H. Moreau, métrologue honoraire, 20
liste du, IX
titularisation (Mme Perez), 30
- Photométrie, 61
- Pression, mesures de, A 1
comparaisons internationales,
création et composition Groupes de tra-
vail, pressions moyennes, A 4, très
basses pressions, A 5, basses pres-
sions, A 5
instrument de transfert, 56
- Publications
du BIPM, 80
extérieures, 80
rapports internes, 82
- Radian et stéradian, 5, U 6
(voir Recommandations)
- Radiométrie, radiomètre absolu offert par le
NRLM, 62
- Radionucléides, 68
activité, comparaisons internationales de
mesures, 68; de sources de ⁶⁰Co à
taux de comptage élevé, 70
chambre d'ionisation à puits, 70
détecteur à Ge(Li), 70
ensemble de comptage par coïncidences
4 $\pi\beta$ (CP)- γ , 69
système international de référence pour
émetteurs γ , 70
- Rayonnement γ du ⁶⁰Co, 63
dose absorbée dans le graphite, 63; dans
l'eau, 65
étalonnage de chambres d'ionisation, 63,
64; pour la dosimétrie des neutrons, 63
- Rayons X et γ , électrons, 62
- Rayons X, 62
- Recommandations du
CIPM (radian et stéradian), 24
CC Unités, U 12
CC Thermométrie, T 6
- Spectrométrie α , 75
mesure énergie particules α du ²⁴³Am, 75;
²¹²Po, 75
- Statistiques de comptage, 71
détermination d'une distribution a priori,
73
déformations apportées à la loi de Poisson
dans certaines conditions, 75
- Système International d'Unités,
4^e édition de la brochure, U 7, 86
- Temps
Atomique International, 48
avenir du BIH, 16
liaison horaire par satellite, 49
- Thermométrie, 6, 53, T 1
EIPT (travaux en liaison avec), comparai-
son de cellules scellées, 53; point triple
de l'eau, 55
- Travaux du BIPM, exposé sur, 10
- Visites et stages au BIPM, 89
- Voyages, visites, conférences, exposés du
personnel, 86
- W, poursuite de la préparation de la mesure,
67

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

69^e Session (Octobre 1980)

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre.....	V
Liste des membres du Comité International.....	VII
Liste du personnel du Bureau International.....	IX
Ordre du jour de la session.....	X
Procès-verbaux des séances, 7-9 octobre 1980.....	1
Ouverture de la session : bienvenue au nouveau membre et aux invités ; excuses des membres absents ; démissions de J.M. Otero et Y. Sakurai (J.M. Otero est nommé membre honoraire).....	1
<i>Rapport du Secrétaire du CIPM</i> (Membres du CIPM : décès de G.D. Bourdoun, démission de F.J. Lehany, élection de J. Skakala. Réunions de Comités Consultatifs et Groupes de travail. Indications financières).....	3
Nomination d'un Secrétaire adjoint au CIPM.....	4
Groupe de travail ad hoc de la 16 ^e CGPM (réunion prochaine).....	4
<i>Comités Consultatifs</i> (Rapports et composition).....	5
<i>Unités</i> (7 ^e session) Question de la nouvelle définition du mètre. Radian et stéradian considérés comme unités dérivées sans dimension. Position de la CIE sur la candela comme unité de base pour la photométrie).....	5
<i>Thermométrie</i> (13 ^e session) (Poursuite de l'élaboration d'une échelle destinée à remplacer l'ÉIPT-68).....	6
<i>Définition de la Seconde</i> (9 ^e session) (Progrès dans le domaine des horloges et des étalons de temps. La définition du TAI reste inchangée).....	7
Révision de la composition des Comités Consultatifs (Composition du Comité Consultatif pour les masses et les grandeurs apparentées).....	8
Réunions futures des Comités Consultatifs.....	10
Travaux du BIPM (présentation du Rapport).....	10

Projets à long terme du BIPM ; source de neutrons, avenir du BIH (Intérêt de l'effet von Klitzing pour le contrôle de la résistance. Possibilité éventuelle pour le BIPM d'utiliser la source de neutrons du NPL. Statut international du BIH).....	13
Visite du Dépôt des prototypes métriques.....	19
<i>Questions administratives</i> : (Départ en retraite de H. Moreau. Nomination à scrutin secret de R.P. Hudson et J.-M. Chartier au grade d'adjoint). Clôture de l'exercice 1979 ; exercice en cours et adoption du budget pour 1981	20
<i>Questions diverses</i> :	
— Élection à prévoir (deux sièges vacants au CIPM).....	22
— Honorariat (F. J. Lehany nommé membre honoraire).....	23
<i>Recommandation 1</i> (CI-1980) : Unités supplémentaires (radian et stéradian).....	24
<i>Composition des Comités Consultatifs</i>	25
Rapport du Directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures (octobre 1979-septembre 1980)	30
I. PERSONNEL. — Titularisation (Mme A. Perez).....	30
II. BÂTIMENTS. — Petit Pavillon (Appartement du gardien principal) ; Grand Pavillon (Chauffage central, extension de la cantine ; terrasse ; couloir d'entrée, façade) ; Dépendances	30
III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX.....	30
<i>Remarques générales</i>	30
<i>Longueurs</i> . — Comparateur photoélectrique et interférentiel (Nouvelle détermination d'une erreur systématique)	31
Étalons à traits (Comparaison internationale de mesure d'une règle divisée. Mètre prototype N° 3 C [Danemark]. Règles divisées N°s 10230 [CERN], OY2222 [Afrique du Sud], du SIM [France] et N° 12924 [BIPM])	31
Étalons à bouts plans (Étalon N° 6 pour la mesure de <i>g</i> . Calibres)	34
Base géodésique (Règle I5 ; fils et rubans ; invar géodésique).....	35
<i>Interférométrie</i> . — Lasers : Généralités	35
Lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode ($\lambda = 633$ nm) (Mesure d'un intervalle. Comparaison avec le NIM [Chine])	36
Étalonnage de lasers asservis sur le « Lamb dip »	38
Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane ($\lambda = 3,39$ μ m) (Stabilité. Comparaison avec le LPTF [France] et le NIM [Chine]).....	39
Interféromètre de Michelson	40
<i>Masses</i> . — Kilogramme prototype et autres étalons de 1 kg en platine iridié (N° 44 [Australie], E59 [Japon], ébauches JM17 à JM21, masse volumique de JM19) ...	40
Comparaison de masses de 1 kg avec le NRLM et le NML	41
Balances (Balance NBS-2 ; balances Rueprecht de portée 1 kg, 20 et 50 g) ..	41
Enregistrement des oscillations du fléau d'une balance.....	42
Balance comportant une suspension flexible de conception nouvelle.....	42
Fabrication des étalons de masse en platine iridié	45
Fraction molaire de CO ₂ dans l'air	46
Études courantes et divers.....	47
Réunion sur les mesures de force	48

<i>Échelles de temps.</i> — Travaux courants (Temps Atomique International; Temps Universel Coordonné).....	48
Stabilité et exactitude du TAI	49
Algorithme de stabilité	49
Liaison horaire par satellite	49
<i>Gravimétrie.</i> — Gravimètre absolu transportable BIPM-Jaeger (Construction mécanique; interféromètre; laser; méthode de mesure)	50
Station gravimétrique de Mizusawa	52
<i>Thermométrie.</i> — Échelle Internationale Pratique de Température (Comparaison internationale de cellules scellées. Comparaison de thermocouples platine/platine rhodié chemisés et non chemisés. Point triple de l'eau)	53
Études courantes	55
<i>Manométrie.</i> — Instrument de transfert de pression	56
Études courantes	56
<i>Électricité.</i> — Comparaisons de représentations nationales de l'ohm (Rattachement de Ω_{NPRL} et Ω_{IMM} à $\Omega_{69\text{-BI}}$. Comparaison internationale d'étalons de $1\ \Omega$	56
Comparaison internationale d'étalons de $10^4\ \Omega$	57
Coefficient de pression de thermomètres étalons, de sondes en platine et d'étalons de résistance de $1\ \Omega$ (Étalons du BIPM. Étalons voyageurs)	57
Comparaison de représentations nationales du volt (Rattachement de V_{NPRL} et V_{IMM} à $V_{76\text{-BI}}$. Comparaison internationale d'étalons de force électromotrice)	58
Conservation de l'unité de force électromotrice. Installation pour la comparaison de piles étalons. Enceintes thermorégulées pour la conservation des piles	59
Piles étalons (Piles saturées. Piles non saturées)	59
Comparateur cryogénique de courants	60
Équipement. Études courantes	61
<i>Photométrie.</i> — Radiométrie et spectroradiométrie.....	61
Études courantes	62
<i>Rayons X et γ, électrons.</i> — Rayons X (Comparaison entre les étalons d'exposition de la JEN [Espagne] et du BIPM. Étalonnage de chambres de transfert [Suède, Espagne]. Modification de la méthode de mesure du courant du tube du BIPM fonctionnant à 300 kV)	62
Rayonnement γ du ^{60}Co : Mesure des courants d'ionisation (Enregistrement automatique de données. Condensateurs pour cette mesure)	63
Mesure de l'exposition (Étalonnage de chambres d'ionisation [Espagne]. Futurs étalonnages de chambres pour la dosimétrie des neutrons)	63
Mesure de la dose absorbée dans le graphite (Influence de la masse volumique du graphite. Étalonnage de chambres d'ionisation. Correction de perturbation)	63
Dose absorbée dans l'eau (Comparaison de dosimètres chimiques. Détermination de cette dose absorbée)	65
Électrons (Poursuite des expériences en rapport avec la mesure de W)	67
<i>Radionucléides.</i> — Mesures d'activité.....	68
Comparaisons internationales de mesures d'activité (^{134}Cs ; ^{137}Cs ; ^{55}Fe ; comparaisons futures)	68
Mesures avec l'ensemble de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ (Sensibilité du compteur proportionnel aux rayonnements γ . Mesures d'activité de source de ^{60}Co à taux de comptage élevés. Étalonnage et distribution de sources solides minces)	69
Détecteur à germanium compensé au lithium, $^7\text{Ge}(\text{Li})$	70

Mesures relatives au moyen d'une chambre d'ionisation à puits pressurisée (Suppression des variations de capacité. Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons γ)	70
Statistiques de comptage	71
Perturbation des moments de comptage par la décroissance et le temps mort	71
Détermination d'une distribution <i>a priori</i>	73
Autres travaux	75
Spectrométrie alpha (^{243}Am ; ^{244}Cm ; ^{212}Po)	75
<i>Mesures neutroniques.</i> — Dosimétrie neutronique (Rappel de la méthode des deux chambres. Préparation de l'expérience. Remarque)	76
<i>Publications</i>	80
Publications du BIPM	80
Publications extérieures	80
Monographie et Rapports internes	82
<i>Certificats et Notes d'étude</i>	83
 IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES	 86
<i>Documentation; Système International d'Unités</i>	86
<i>Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux</i>	86
<i>Voyages, visites, conférences, exposés du personnel</i>	86
<i>Visites et stages au BIPM</i>	89
 V. COMPTES	 93
Rapport du Comité Consultatif des Unités (7^e session-1980) au CIPM, par S. GERMAN	U1
Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie (13^e session-1980) au CIPM, par M. DURIEUX	T1
Annexe I : Rapport sur la réunion concernant les mesures de pression (20-21 mars 1979), par P.R. STUART	A1
Annexe II : Rapport sur la réunion concernant les mesures de force (18-19 mars 1980), par A. BRAY	B1
Annexe III : Rapport sur l'enquête du BIPM concernant l'expression des incertitudes.	C1
Document I : Questionnaire	C 12
Document II : Réponse du NBS	C 17
Document III : Réponse du BNM	C 23
Document IV : Réponse de la PTB	C 26
Document V : Réponse du NPL	C 30
 Notices nécrologiques	
R.H. Field, par L.E. Howlett	XI
G. Bourdoun, par V.I. Kiparenko	XIII
 INDEX	 XV