

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF  
POUR  
LES ÉTALONS DE MESURE DES  
RAYONNEMENTS IONISANTS

Rapport de la 11<sup>e</sup> session  
1985

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

ISBN 92-822-2096-6

**COMITÉ CONSULTATIF  
POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS**

1985

---

Le présent volume comprend les rapports suivants :

- 11<sup>e</sup> session du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,
  - 8<sup>e</sup> réunion de la Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons),
  - 8<sup>e</sup> réunion de la Section II (Mesure des Radionucléides),
  - 7<sup>e</sup> réunion de la Section III (Mesures neutroniques).
-



---

## NOTICE SUR LES ORGANES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

---

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

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre<sup>(1)</sup>.

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

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

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

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

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

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

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

---

(<sup>1</sup>) Au 31 décembre 1985, quarante-sept États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. Pop. Dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Une quarantaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité International. La dotation annuelle du Bureau International est de l'ordre de 13 144 000 francs-or (en 1985), soit environ 23 850 000 francs français.

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

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

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

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

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

Le Bureau International publie aussi des monographies sur des sujets métrologiques et, sous le titre « Le Système International d'Unités (SI) », une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

La collection des *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée en 1966 par décision du Comité International.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité International des Poids et Mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des organes de la Convention du Mètre.

---

**Comité International des Poids et Mesures**

*Secrétaire*  
J. DE BOER

*Président*  
D. KIND

---

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE  
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

---

*Président* : E. AMBLER, National Bureau of Standards, Gaithersburg.

*Membres* :

R. S. CASWELL (président de la Section III), National Bureau of Standards, Gaithersburg.

W. H. HENRY (président de la Section I), Conseil National de Recherches, Ottawa.

H.-M. WEISS (président de la Section II), Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Le directeur du Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres.

SECTION I. *Rayons X et  $\gamma$ , électrons*

*Président* : W. H. HENRY, Conseil National de Recherches, Ottawa.

*Membres* :

AUSTRALIAN RADIATION LABORATORY [ARL], Yallambie.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], Ottawa.

- ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Ibaraki.
- INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [IMM], Leningrad.
- INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS [ICRU], Bethesda.
- NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], Gaithersburg.
- NATIONAL INSTITUTE OF RADIATION PROTECTION [NIRP], Stockholm.
- NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.
- ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.
- PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.
- POLSKI KOMITET NORMALIZACJI I MIAR [PKNM], Varsovie.
- RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIËNE [RIVM], Bilthoven.
- A. ALLISY, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
- A. BROSED, Junta de Energía Nuclear, Madrid.
- Le directeur du Bureau International des Poids et Mesures [BIPM], Sèvres.

## SECTION II. *Mesure des radionucléides*

*Président* : H.-M. WEISS, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

*Membres* :

- AUSTRALIAN ATOMIC ENERGY COMMISSION [AAEC], Sutherland.
- BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay.
- CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], Ottawa.
- INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [IMM], Leningrad.
- INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.
- NATIONAL ACCELERATOR CENTRE [NAC], Faure.
- NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], Gaithersburg.



NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

J.-J. GOSTELY, Institut d'Électrochimie et Radiochimie, EPFL, Lausanne.

J. G. V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River.

Le directeur du Bureau International des Poids et Mesures [BIPM],  
Sèvres.

### SECTION III. *Mesures neutroniques*

*Président* : R. S. CASWELL, National Bureau of Standards, Gaithersburg.

*Membres* :

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire de Métrologie  
des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], Ottawa.

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Ibaraki.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [IMM], Leningrad.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

J. J. BROERSE, Radiobiological Institute, Rijswijk.

H. LISKIEN, Bureau Central de Mesures Nucléaires, Euratom, Geel.

Le directeur du Bureau International des Poids et Mesures [BIPM],  
Sèvres.

---

ORDRE DU JOUR  
de la 11<sup>e</sup> session

---

1. Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM.
  2. Rapport du président du CCEMRI au CIPM.
  3. Divers.
-

---

RAPPORT  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE  
DES RAYONNEMENTS IONISANTS  
(11<sup>e</sup> session — 1985)  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
par R. S. CASWELL, rapporteur

---

**Résumé.** On décrit l'activité des trois sections du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants pendant les deux dernières années, ainsi que les projets de travaux futurs. Parmi les sujets discutés par la Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), on peut citer: l'importance de la détermination de la dose absorbée dans l'eau, la participation du BIPM aux comparaisons de dosimètres Fricke organisées par les laboratoires nationaux et internationaux, l'adoption de valeurs nouvelles recommandées pour certaines constantes physiques utilisées en dosimétrie, les implications de l'introduction par l'ICRU de nouvelles grandeurs pour l'équivalent de dose, et les rapports du Groupe de travail sur l'estimation des incertitudes. La Section II (Mesure des radionucléides) a étudié les résultats de la comparaison à grande échelle de  $^{133}\text{Ba}$  et de la comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$ , et elle a fait des projets pour une comparaison de  $^{125}\text{I}$ . Les progrès du Système international de référence du BIPM ont fait l'objet d'un compte rendu. Les groupes de travail ont résumé leurs activités, parmi lesquelles on peut mentionner des résultats récents obtenus dans le domaine des statistiques de comptage. La Section III (Mesures neutroniques) a examiné en détail les résultats des comparaisons achevées (source de  $^{252}\text{Cf}$ , comparaisons de mesures de débits de fluence de neutrons avec les réactions  $^{115}\text{In}(n,n')$ , Nb/Zr et  $\text{In}(n,\gamma)$ , comparaison de dosimétrie neutronique du NPL), et elle a étudié l'état d'avancement des comparaisons en cours ( $^{235}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$ , comparaison de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM). Le rapport du président de chaque section est suivi d'une présentation des travaux effectués au BIPM par le groupe correspondant. Les trois sections ont fait des recommandations au CIPM au sujet du maintien et du développement de la section des rayonnements ionisants du BIPM.

La onzième session du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI\*) s'est tenue au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, le 24 juillet 1985.

Étaient présents :

- E. AMBLER, membre du CIPM, président du CCEMRI.
- W. H. HENRY, président de la Section I; Conseil National de Recherches du Canada (NRC), Ottawa.
- H.-M. WEISS, président de la Section II; Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig.
- R. S. CASWELL, président de la Section III; National Bureau of Standards (NBS), Gaithersburg.
- J. G. V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited (AECL), Chalk River.
- Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Assistaient aussi à la réunion : J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM; T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM, A. ALLISY, A. RYTZ, J. W. MÜLLER, V. D. HUYNH, G. RATEL, Mme D. MÜLLER (BIPM); Mme M. BOUTILLON, Mlle M.-T. NIATEL et Mme A.-M. PERROCHE (en stage au BIPM); E. J. AXTON.

Le président, E. Ambler, ouvre la session et souhaite la bienvenue à J. G. V. Taylor qui succédera à H.-M. Weiss comme président de la Section II dès la fin de cette réunion. P. Giacomo fait d'abord quelques remarques préliminaires, puis R. S. Caswell est désigné comme rapporteur.

## **1. Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM**

Chaque président présente l'activité de sa section, et le personnel du BIPM les travaux récents effectués dans le laboratoire des rayonnements ionisants.

### **Section I — Rayons X et $\gamma$ , électrons (Président : W. H. Henry)**

W. H. Henry commence sa présentation en faisant remarquer que la meilleure méthode, et de loin, pour comparer les étalons primaires est de le faire dans un laboratoire central de référence, le BIPM. Les pays qui n'ont pas d'étalons primaires et ceux qui appartiennent au réseau AIEA de laboratoires de dosimétrie dotés d'étalons secondaires

---

\* Voir R 103 la liste des laboratoires et organisations mentionnés dans ce rapport.

(SSDL) dépendent du BIPM pour l'étalonnage de leurs instruments. Pour cette raison, la Section I a fait une recommandation (Recommandation R(I) 1 (1985)) stipulant que le système d'étalons de rayonnements ionisants établi au BIPM devrait être maintenu et développé, et que le BIPM devrait disposer du personnel nécessaire à l'accomplissement de ces tâches (*voir p. R 51*).

W. H. Henry souligne que la détermination de la dose absorbée dans l'eau est d'une importance primordiale pour la radiothérapie. Grâce à l'amélioration des techniques de l'imagerie, on obtient une meilleure information, ce qui donne des distributions plus exactes de la dose absorbée mais accroît la nécessité de prévoir des efforts pour améliorer la mesure de la dose absorbée. En réponse à une question de E. Ambler sur les comparaisons de dose absorbée dans l'eau, W. H. Henry répond qu'une comparaison de dose absorbée dans l'eau entre le NBS et le NRC, par l'intermédiaire de calorimètres en graphite dans les deux laboratoires, a donné un accord de 0,3 %, bien que les résultats puissent être tous deux erronés en valeur absolue. La dose absorbée peut être mesurée avec un calorimètre en graphite avec une exactitude meilleure que 0,5 % ( $1\sigma$ ). La mesure de la dose absorbée dans l'eau fait apparaître une incertitude quelque peu supérieure, mais cependant inférieure à 1 %. A. Allisy signale que quatre calorimètres en graphite, en provenance de laboratoires nationaux, ont été transportés au BIPM pour être comparés dans le faisceau de rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ . L'écart-type des résultats est d'environ 0,2 % (accord interne, non exactitude). E. Ambler est impressionné par ces résultats et demande à quelle époque la comparaison a eu lieu. A. Allisy répond que ce travail remonte à six ans. E. Ambler demande comment on obtient la dose absorbée dans l'eau. A. Allisy répond que l'utilisation d'un calorimètre à eau, mis au point au NBS, est une méthode. W. H. Henry indique qu'une chambre en graphite, remplie d'air, peut être comparée à un calorimètre en graphite dans un fantôme de graphite. La chambre d'ionisation est ensuite immergée dans l'eau et l'on obtient la dose absorbée dans l'eau après avoir fait les corrections appropriées.

W. H. Henry indique qu'il n'y a pas eu de comparaisons directes de calorimètres au cours des dernières années mais que, pour mesurer la dose absorbée dans l'eau, le NPL a préparé des dosimètres Fricke et les a expédiés au NRC et à l'AAEC. Ces instruments ont été irradiés dans des fantômes d'eau. Les résultats s'accordent à environ un centième près; ils reposent sur un étalonnage fait au NPL pour l'exposition. Cependant, si l'étalonnage est basé sur la même valeur  $G\varepsilon$ , où  $G$  est le rendement radiochimique du produit et  $\varepsilon$  le coefficient d'extinction, l'accord est meilleur (quelques millièmes). Un résultat semblable avait été obtenu pour la comparaison organisée par le BIPM il y a quelques années.

E. Ambler demande si cette information est résumée quelque part. W. H. Henry répond qu'elle apparaît dans les rapports sur les réunions

du BIPM et dans un article de W. A. Jennings sur les travaux de la Section I. E. Ambler répond que ce travail est impressionnant et très important pour tout le domaine concerné. Par exemple, il sera nécessaire pour étalonner les dosimètres à colorants qui sont d'un grand intérêt pratique. E. Ambler aimerait disposer de cette information sous forme d'un résumé clair pour son rapport au CIPM.

W. H. Henry signale que trois comparaisons d'étalons d'exposition ont été faites au BIPM, et trois ailleurs, pendant les deux années passées. Dans l'une des comparaisons faites au BIPM, on a décelé une erreur dans la mesure de l'aire du diaphragme d'un laboratoire national. W. H. Henry pense que ceci est une illustration d'un des avantages d'une comparaison faite au BIPM, car il est peu vraisemblable qu'une telle erreur eût été détectée lors d'une comparaison bilatérale, par exemple. Le rapport final des comparaisons faites antérieurement dans le domaine de la radioprotection a été publié dans la littérature. W. H. Henry souligne aussi que la Section I a recommandé que, lors de l'organisation de comparaisons de dosimètres passifs, tels que les dosimètres Fricke, les laboratoires nationaux et internationaux envoient au BIPM un échantillonnage de leurs dosimètres pour irradiation en un point de référence du fantôme d'eau du BIPM, où la dose absorbée dans l'eau est connue. Ceci fait l'objet de la Recommandation R(1) 3 (1985) du rapport de la Section I au CIPM (voir p. R 52)

En réponse à une question de E. Ambler, A. Allisy indique que le BIPM a un fantôme d'eau et un fantôme de graphite. Le fantôme de graphite est employé pour les comparaisons entre les étalons calorimétriques et ionométriques. Pour les dosimètres Fricke il faut utiliser le fantôme d'eau. E. Ambler demande si cette méthode serait utilisable dans le domaine de la radioprotection. A. Allisy répond que l'ICRU a proposé, pour l'équivalent de dose, un nouvel ensemble de grandeurs qui définissent de manière explicite ce qui doit être mesuré en radioprotection. Ces nouveaux procédés ou conventions sont définis à partir d'un fantôme sphérique équivalent au tissu (TE). Ils devraient permettre d'améliorer l'exactitude des mesures en radioprotection. W. H. Henry signale qu'il serait souhaitable de répéter certaines comparaisons ou d'expédier un instrument de transfert au BIPM pour faire des comparaisons dans le fantôme d'eau du BIPM.

E. Ambler se demande si l'intensité de la source de  $^{60}\text{Co}$  est encore suffisante pour être utile et quel serait le coût de son remplacement. A. Allisy répond que la source a maintenant environ neuf ans et que son intensité est proche de la limite inférieure pour les mesures calorimétriques. Par contre, elle suffit pour les mesures de chambres d'ionisation. En réponse à la question de E. Ambler sur le coût du remplacement de la source de  $^{60}\text{Co}$  au BIPM, il ressort d'informations obtenues après la réunion qu'il serait d'environ 400 kilofrancs-or.

W. H. Henry continue en indiquant que les nouvelles valeurs des pouvoirs de ralentissement publiées par l'ICRU diminuent la valeur de

l'exposition obtenue avec une chambre en graphite de 0,75 %. Le changement des pouvoirs de ralentissement affecte aussi la valeur de  $W$  (énergie par paire d'ions) puisque les mesures donnent habituellement le produit  $W.s$ ; il en résulte qu'un changement de la valeur de  $s$  modifie celle de  $W$ . Le BIPM a calculé  $W$  et  $g$  (partie de l'énergie d'un électron perdue en rayonnement de freinage, qui est une constante nécessaire pour passer de l'exposition au kerma dans l'air). La Section I recommande que ces nouvelles valeurs de  $W$ ,  $s$  et  $g$  soient utilisées par les laboratoires nationaux à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1986. W. H. Henry mentionne que les nouvelles valeurs de  $\mu_{en}$  de J. H. Hubbell (NBS) modifieront également les valeurs numériques de certaines grandeurs mesurées au moyen des étalons de rayonnement. Il pense que les étalons doivent être changés le moins souvent possible.

W. H. Henry signale que l'ICRU a recommandé plusieurs grandeurs nouvelles pour l'équivalent de dose (rappelons que l'équivalent de dose,  $H$ , est relié à la dose absorbée,  $D$ , par la relation  $H = DQ$ , où  $Q$  est le facteur de qualité). Les nouvelles grandeurs, telles que l'équivalent de dose ambiant, sont définies en termes d'équivalent de dose en un point donné, dans un fantôme sphérique équivalent au tissu (TE) appelé « sphère ICRU ». Il est important que le BIPM fasse les expériences et les calculs nécessaires pour que les grandeurs d'étalonnage telles que l'exposition et le kerma dans l'air puissent être rattachées aux grandeurs nécessaires en radioprotection, à savoir les grandeurs définies par l'ICRU pour l'équivalent de dose.

W. H. Henry mentionne qu'un groupe de travail a fait une étude sur les estimations des incertitudes des étalons primaires fournies par les laboratoires nationaux. Les incertitudes combinées pour les chambres à parois d'air sont d'environ 0,3 % ; elles sont comprises entre 0,2 % et 0,8 % pour les chambres à cavité en graphite et entre 0,2 % et 0,6 % pour les calorimètres en graphite. On pense que ce travail a été utile mais qu'on gagnerait peu à le répéter.

W. H. Henry dit que, dans le domaine des étalons de mesure des rayonnements à usage industriel, des comparaisons ont eu lieu entre le NPL et le NBS pour des débits de dose élevés. L'accord est meilleur que 1 %, ce qui est considéré comme très satisfaisant. Le NPL a des installations pour étalonner les instruments des utilisateurs, et l'AIEA a l'intention de mettre en route un service du même genre. On pense donc qu'il n'est pas nécessaire que le BIPM dispose actuellement d'installations pour la mesure des débits de dose élevés.

En ce qui concerne les rapports d'activité établis par les laboratoires nationaux, W. H. Henry indique que le NBS a mis au point un calorimètre à eau et carbone pour éviter le problème de la réaction exothermique dans le calorimètre à eau. Des recherches faites au NRC ont permis d'expliquer l'écart systématique dû à cette réaction en faisant circuler des gaz dans l'eau ; on a trouvé que les réactions exothermiques pourraient être dues à des impuretés.

W. H. Henry indique aussi que, au cours de la réunion de la Section I, l'AIEA a fait un rapport sur le réseau de laboratoires de dosimétrie dotés d'étalons secondaires (SSDL). Un comité consultatif de l'AIEA a recommandé que l'Agence fasse étalonner ses dosimètres par le BIPM et que, pour les comparaisons, elle utilise des chambres d'ionisation à la place de dosimètres thermoluminescents (TLD), à cause de la plus grande exactitude qu'on peut ainsi obtenir. Par ailleurs, l'AIEA a constitué un comité scientifique qui comprend des représentants du BIPM et de l'ICRU. Elle pense de cette façon améliorer le réseau SSDL grâce à des liens avec le BIPM. Le réseau SSDL comprend 50 pays, dont 27 ont des laboratoires qui fonctionnent réellement.

Dans le domaine de la publicité, W. H. Henry signale la parution de plusieurs articles : un de W. A. Jennings (*Brit. J. Radiology*, **55**, 1982, p. 691), un de W. H. Henry sur la réunion de 1983 de la Section I (*Phys. Med. Biol.*, **29**, 1984, p. 1443), et un de W. A. Jennings, E. J. Axton et D. Smith sur les travaux des trois sections (*J. Soc. Radiol. Protection*, **4**, 1984, p. 166).

Les stagiaires du BIPM présentent ensuite leurs travaux dans le domaine des rayons X et  $\gamma$ , et des électrons. Mlle Niatel a fait des étalonnages et des comparaisons pour le Brésil, la Yougoslavie, l'AIEA, la France et la Chine. De plus, elle a fait une vingtaine d'étalonnages pour le groupe de dosimétrie neutronique. Les chambres Exradin (parois équivalentes au tissu) ont été étudiées dans l'air, dans le faisceau utilisé pour les étalonnages en exposition ; la stabilité est d'environ 0,15 %. Des mesures de courant d'ionisation dans un fantôme d'eau ont donné une stabilité moins bonne (environ 0,9 %). Une détermination expérimentale de  $C_\lambda$  a été faite à partir de ces mesures, mais l'incertitude expérimentale est de 1 %. Il ne semble pas qu'on ait les mêmes problèmes avec la chambre Shonka qu'avec la chambre Exradin.

Mlle Niatel décrit ensuite le projet de mesure de la dose absorbée dans l'eau au moyen d'une chambre en graphite placée dans un support en plexiglas. La valeur de la dose absorbée dans l'eau ainsi déterminée expérimentalement sera comparée à la valeur de la dose absorbée dans l'eau, déterminée par le calcul, à partir de la dose absorbée dans le graphite. E. Ambler demande s'il ne vaudrait pas mieux avoir une source de  $^{60}\text{Co}$  plus intense. Mlle Niatel répond par l'affirmative en ce qui concerne les calorimètres, mais que cela n'est pas nécessaire pour les mesures faites avec les chambres d'ionisation. En réponse à une autre question, elle indique que le support de plexiglas ne constitue pas un problème et qu'une correction est faite pour tenir compte de son épaisseur.

Mme Boutillon décrit les calculs faits pour déterminer la correction de perturbation,  $k_p$ , due à la présence de la chambre en graphite dans l'eau. Elle a étudié soigneusement la variation avec la profondeur, dans le fantôme d'eau, avec et sans la chambre, du rapport du kerma dû aux photons diffusés et du kerma dû aux photons primaires. La variation



de ce rapport à travers les éléments de la chambre permet de déterminer la correction de perturbation,  $k_p$ .

Mme Perroche a étudié l'effet des nouvelles valeurs du pouvoir de ralentissement sur l'énergie,  $W$ , pour produire une paire d'ions. La réévaluation tient compte des nouveaux pouvoirs de ralentissement de Berger et Seltzer (1982) et de l'ICRU (1984), des valeurs de  $\mu_{en}/\rho$  pour le faisceau diffusé aussi bien que pour le rayonnement primaire, et de deux déterminations récentes de  $W$ . Le résultat pour les électrons dans l'air sec est  $W/e = (33,97 \pm 0,06)$  J/C. La valeur précédente, recommandée par l'ICRU en 1979, était 33,85 J/C. A. Allisy souligne qu'il existe un accord satisfaisant entre les valeurs de  $W$  qui n'impliquent pas de pouvoirs de ralentissement et celles qui le font.

E. Ambler indique qu'il faut discuter deux points concernant le CCEMRI : (1) Après une présidence courte mais couronnée de succès, W. H. Henry doit quitter le CCEMRI à cause de son départ prématuré du NRC, et il faut lui trouver un successeur. Après en avoir discuté, on décide de demander à J.-P. Simoen, du LMRI, France, de devenir le nouveau président de la Section I, ce qu'il accepte au cours de la réunion. (2) La publication du rapport du président du CCEMRI au CIPM est discutée et on décide de publier ce document avec le rapport de la réunion du CCEMRI (voir p. R 15).

## Section II — Mesure des radionucléides (Président : H.-M. Weiss)

H.-M. Weiss fait un compte rendu des trois comparaisons qui ont eu lieu depuis la dernière réunion. La comparaison de  $^{137}\text{Cs}$  a été terminée et l'analyse a fait l'objet du Rapport BIPM-83/8 (1983). Une version condensée a été publiée par A. Rytz (*Nucl. Instr. and Meth.*, **228**, 1985, p. 506).

Dans le cas du  $^{133}\text{Ba}$ , on a rencontré des problèmes d'ordre chimique avec les solutions utilisées. Une nouvelle solution avait été préparée après la seconde comparaison restreinte et un contrôle chimique avait été fait par le NBS. Six ampoules avaient d'abord été distribuées. Deux mesures avaient été faites avec des chambres d'ionisation  $4\pi$  par chacun des participants à cette troisième comparaison restreinte, d'abord en mesurant les ampoules telles qu'elles avaient été distribuées, puis après transfert dans les ampoules des laboratoires participants. On avait fait des contrôles de stabilité, puis des contrôles pour l'adsorption aux parois qui avait été jugée négligeable. La Section II était alors prête pour une comparaison à grande échelle qui a commencé en 1984. Les ampoules ont été expédiées par le NBS en Amérique du Nord et du Sud et par la PTB aux autres laboratoires. Dix-neuf laboratoires ont participé à la comparaison. L'écart-type de la moyenne des résultats finaux est de 0,36 %. Cependant, il se pourrait qu'il y ait un problème métrologique ; en effet, une extrapolation multiparamétrique faite par le

NPL a donné une dispersion de 5 %, ce qui indique qu'il existe un problème non résolu. Le projet de rapport final de la comparaison a été examiné par la Section II au cours de la réunion de 1985.

L'autre comparaison est celle du  $^{109}\text{Cd}$ . Ce radionucléide est important pour l'étalonnage de spectromètres à photons parce qu'il émet un rayonnement gamma de 88 keV. Toutefois, il convient de se méfier de la simplicité apparente de son schéma de désintégration. Le  $^{109}\text{Cd}$  est également important en raison de son emploi dans l'industrie pour l'analyse par fluorescence de rayons X. Il a un état métastable qui ne permet pas l'emploi de la technique des mesures par coïncidences. Une solution pure de  $^{109}\text{Cd}$  a été fournie par le NAC et expédiée pour distribution à l'OMH via le BIPM. Six laboratoires ont participé à la comparaison restreinte. La dispersion totale des résultats est de 1,7 % ; l'écart-type de la moyenne pondérée est de 0,25 % et l'écart-type de la moyenne 0,5 %. Dix-neuf laboratoires sont intéressés par une comparaison à grande échelle.

H.-M. Weiss signale que le Système international de référence (SIR) a maintenant mesuré 300 échantillons indépendants de 45 radionucléides.

H.-M. Weiss décrit ensuite les travaux de trois des groupes de travail créés par la Section II. Le premier, coordonné par G. Winkler (IRK), étudie les expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité. Ces systèmes utilisent un cristal à puits ou deux cristaux pour le comptage intégral. L'efficacité est calculée à partir des coefficients d'atténuation des photons dans le NaI et ajustée en mesurant des sources étalons. L'accord trouvé est excellent (quelques unités pour mille). C'est une très bonne technique pour déterminer des schémas de désintégration complexes. Le problème majeur consiste à trouver une bonne correction de temps mort.

Le deuxième groupe de travail étudie la préparation des sources minces et les problèmes chimiques qui y sont associés. Ce groupe, coordonné par D. C. Santry (NRC), a fait une enquête parmi les laboratoires sur les méthodes spéciales de préparation de sources minces. Un questionnaire a été expédié à cinquante laboratoires et on a reçu dix-sept réponses. Le groupe de travail préparera un rapport pendant les deux années à venir.

E. Ambler demande quelle est l'importance des sources minces. H.-M. Weiss répond qu'elles sont nécessaires pour faire des comptages absolus par la méthode des coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  ; plus la source est mince, plus la mesure de l'activité peut être exacte.

Le troisième groupe de travail étudie des difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de l'activité de certains radionucléides. H.-M. Weiss en est le coordonnateur. On a examiné vingt radionucléides présentant des difficultés plus ou moins importantes. Un rapport est attendu au cours des deux prochaines années.

J. G. V. Taylor, qui succédera à H.-M. Weiss comme président de la Section II, expose les projets de travaux futurs de la section. Étant

donné le succès de la comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$ , une comparaison à grande échelle sera entreprise. Elle sera organisée par le BIPM et l'OMH. Le  $^{125}\text{I}$  a été sélectionné pour la comparaison suivante parce qu'il est très utilisé en médecine nucléaire et sa mesure nécessite des techniques qui n'ont pas été employées dans les comparaisons précédentes. C'est un nucléide à capture électronique, mais la transition gamma qui suit subit une forte conversion interne donnant des rayons X qu'on ne peut pas distinguer des rayons  $\gamma$  qui suivent la capture électronique. E. Ambler demande comment, étant donné ces difficultés, on peut mesurer ce nucléide. J. G. V. Taylor répond qu'on recherche les coïncidences entre divers rayons X. On commencera par une comparaison restreinte. J. G. V. Taylor pense que c'est une excellente façon de procéder car une comparaison à grande échelle est onéreuse. E. Ambler se demande si des complications particulières n'interviennent pas dans cette comparaison. J. G. V. Taylor répond qu'il faut faire très attention à la chimie de l'iode. On peut avoir des problèmes avec des récipients en verre traités par les silicoes. En réponse à une remarque de E. Ambler qui pense que cette comparaison est compliquée, J. G. V. Taylor dit qu'elle s'avérera sans doute plus simple que dans le cas du  $^{133}\text{Ba}$  ou du  $^{109}\text{Cd}$ . Elle est également importante parce que l'iode ne peut pas être mesuré par le SIR. Le  $^{125}\text{I}$  a une période de 60 jours, ce qui convient bien. Il n'est pas commode de faire des comparaisons de nucléides dont la période est inférieure à deux semaines.

J. G. V. Taylor signale qu'il existe un regain d'intérêt pour le comptage à gaz interne mis au point par W. B. Mann au NBS. D. D. Hoppes (NBS) fera une enquête à ce sujet auprès des laboratoires nationaux. Le comptage à gaz présente un intérêt technique pour plusieurs raisons : l'utilisation du  $^{133}\text{Xe}$  en médecine nucléaire, l'importance du  $^{85}\text{Kr}$  dans le traitement des déchets car il est difficile à éliminer par des procédés chimiques, et l'importance du  $^3\text{H}$ . E. Ambler demande s'il existe un intérêt pour le radon. H.-M. Weiss répond qu'il n'est pas mesuré de cette façon ; on mesure ses dérivés par spectrométrie  $\alpha$ . Il s'ensuit une discussion sur les problèmes de manipulation des gaz et sur la façon d'éliminer le  $^{85}\text{Kr}$  (par absorption dans du charbon de bois à la température de l'azote liquide).

J. G. V. Taylor signale aussi l'éventualité d'une autre comparaison à des taux de comptage très élevés. La situation dans ce domaine s'est améliorée considérablement, en partie grâce aux travaux de J. W. Müller (BIPM). E. Ambler demande si les limites sont données par le détecteur. J. G. V. Taylor répond que ces détecteurs sont très rapides. Les compteurs proportionnels à gaz mesurent  $10^6$  impulsions par seconde et les scintillateurs liquides sont encore plus rapides. La limite est habituellement donnée par la stabilité de l'électronique. Le système de J. W. Müller, qui utilise un temps mort étendu, sacrifie la vitesse pour obtenir une exactitude plus élevée, surtout pour les taux de comptage élevés.

On discute ensuite la possibilité de nommer de nouveaux membres dans la Section II. On décide d'inviter l'OMH à devenir membre de la Section II, et W. Bambynek (BCMN) et G. Winkler (IRK) à en devenir des membres nominativement désignés.

A. Rytz présente les travaux du BIPM et décrit sa participation aux comparaisons internationales. En ce qui concerne le  $^{133}\text{Ba}$ , il est intéressant de noter que les résultats de la comparaison internationale et ceux du SIR ont donné la même valeur moyenne.

La comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$  a été couronnée de succès. Pour déterminer l'activité massique indépendante du coefficient de conversion interne, il faut mesurer les taux d'émission du rayonnement gamma et des électrons de conversion. La date de référence de la comparaison à grande échelle de  $^{109}\text{Cd}$  sera mars 1986. Il se peut que le BIPM ne puisse pas y participer car le compteur à pression ne sera peut-être pas prêt. La comparaison restreinte de  $^{125}\text{I}$  aura lieu en automne 1986.

On a construit un nouveau système électronique pour mesurer le courant dans les chambres d'ionisation du SIR. La chambre d'ionisation utilisée pour mesurer les rayons  $\gamma$  est sensible au rayonnement de freinage des rayons  $\beta$ . Pour faire une correction pour le rayonnement bêta le BIPM a étudié la sensibilité de la chambre d'ionisation en utilisant des émetteurs bêta purs :  $^{204}\text{Tl}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Y}$  et le  $^{144}(\text{Ce} + \text{Pr})$  qui émet aussi quelques rayons  $\gamma$ . En plus d'une nouvelle courbe pour l'efficacité de la chambre pour les rayons  $\beta$ , on a recalculé l'efficacité pour les rayons  $\gamma$ , ce qui est important pour pouvoir faire des corrections pour les impuretés radionucléidiques. Cette courbe d'efficacité pour les rayonnements gamma n'est pas très différente de celle qu'on a obtenue il y a deux ans, mais elle contient beaucoup plus de données et est donc plus fiable. Jusqu'à présent, le Système international de référence a permis de mesurer 413 ampoules et compte 288 résultats ; 24 laboratoires y ont participé et ont envoyé au BIPM 46 radionucléides différents, parmi lesquels certains avaient une période courte. R.S. Caswell demande combien de fois on a obtenu un résultat anormal. A. Rytz répond que cela se produit trois ou quatre fois par an. Parfois il y a une erreur dans les mesures des laboratoires ; d'autres fois il s'agit seulement d'une erreur dans le calcul de la date de référence.

A. Rytz décrit ensuite les mesures d'énergie de particules  $\alpha$  faites au BIPM avec le spectromètre magnétique de  $180^\circ$ , à champ uniforme. C'est le seul instrument au monde conçu pour des mesures absolues de l'énergie de particules  $\alpha$ . Cet instrument a permis de mesurer, au cours des années, les énergies de particules  $\alpha$  de 26 radionucléides et la mesure du  $^{27}\text{e}$  est en cours. Tout récemment, on a mesuré du  $^{252}\text{Cf}$  qui contenait du  $^{250}\text{Cf}$  sous forme d'impureté. Les résultats sont en accord avec ceux de Baranov (Moscou) en ce qui concerne les énergies, mais l'exactitude obtenue est très supérieure. E. Ambler demande à A. Rytz si ce travail continuera après son départ. A. Rytz pense que cela est douteux. Il possède une longue expérience dans ce domaine, qu'il serait difficile de

retrouver. De plus, il ne reste plus beaucoup de radionucléides à mesurer.

G. Ratel, du groupe des radionucléides du BIPM, étudie les mesures d'activité et les compteurs proportionnels. Il est en train de construire un nouveau compteur à pression pour les mesures  $4\pi\beta\gamma$ , comme on l'a fait dans d'autres laboratoires. Cet instrument offre deux avantages : on peut sélectionner à volonté une partie du spectre et modifier l'efficacité pour les rayons  $\beta$  de façon continue et réversible. Le compteur proportionnel sera identique à celui qui est utilisé à la PTB depuis dix ans. Il fonctionnera dans une gamme de pressions de 0,1 à 3 MPa et étendra considérablement les possibilités du BIPM dans le domaine des mesures d'activité.

J. W. Müller, du BIPM, présente quelques résultats nouveaux obtenus dans le domaine des statistiques de comptage. Il a cherché comment on peut obtenir des poids statistiques quand les mesures sont corrélées et il a trouvé que la formule pour les poids peut mener à des valeurs négatives. Ce résultat, plutôt surprenant, conduit à une discussion sur la signification d'un poids négatif.

J. W. Müller présente aussi les résultats d'une analyse qui montre que les événements qui se produisent après une impulsion choisie au hasard sont aléatoires dans le temps, mais ceux qui se produisent avant ne le sont pas. Il donne des informations détaillées sur la définition d'un temps mort généralisé dans les mesures de taux de comptage élevés. Un autre résultat scientifique présenté par J. W. Müller concerne l'« effet Gandy ». L'explication traditionnelle de cet effet n'est pas vraiment satisfaisante, et elle est en désaccord avec des mesures faites au BIPM. La nouvelle analyse de J. W. Müller et les mesures expérimentales sont cohérentes.

### Section III — Mesures neutroniques (Président : R. S. Caswell)

R. S. Caswell présente le programme assez chargé de mesures neutroniques effectuées pendant les deux dernières années sous les auspices de la Section III. Des progrès importants ont été faits et on projette, quand les comparaisons en cours seront achevées, de continuer avec un programme à long terme plus réduit.

Dans le domaine des sources de neutrons, on a terminé les mesures de la comparaison de la source de  $^{252}\text{Cf}$  (taux d'émission d'environ  $10^7\text{ s}^{-1}$ ); une analyse des résultats a été faite et soumise aux participants avant d'être publiée. L'accord est plutôt bon, à l'exception de deux résultats qui s'éloignent de l'ensemble des autres. Il ressort d'une analyse statistique approfondie des résultats faite par E. J. Axton que, si l'on applique des corrections uniformes, les mesures sont améliorées de telle sorte que l'accord entre les résultats est de 2 %. E. J. Axton a trouvé un autre résultat intéressant au cours de l'analyse :

si l'on utilise des corrections et des sections efficaces uniformes, la différence apparente entre la méthode du bain de sulfate de manganèse et l'emploi de feuilles d'or dans l'eau disparaît. L'accord entre les mesures montre une amélioration significative (dispersion réduite d'un facteur deux) par rapport à une comparaison similaire organisée par le BIPM (V. Naggiar, in *Recueil de Travaux du BIPM*, Vol. 1, 1966-1967).

La comparaison d'une source intense de  $^{252}\text{Cf}$  ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ) a connu des difficultés dues à des problèmes de manipulation au NPL. On se demande actuellement s'il faut continuer la comparaison, la recommencer avec une nouvelle source, ou peut-être même l'abandonner.

Cinq comparaisons de mesures de débit de fluence étaient en cours, dont deux sont terminées et les résultats publiés. Deux autres sont en cours d'analyse et seule la cinquième se poursuit. La comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')$  à 2,5 et à 5 MeV était coordonnée par H. Liskien (BCMN). Cinq des six résultats obtenus à 2,5 MeV sont en excellent accord entre eux (environ 1 %). La dispersion des résultats à 5 MeV est d'environ 4 %. L'analyse a été publiée par H. Liskien (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 55). Les résultats obtenus par cette méthode de transfert à 14,8 MeV sont moins bons que pour les deux énergies plus faibles ; à cause de la forme de la fonction d'excitation de la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')$ , le détecteur est très sensible aux neutrons diffusés. Pour cette raison, il est possible que la méthode Nb/Zr convienne mieux dans le domaine d'énergie de 14 MeV, car ce détecteur est presque totalement insensible aux neutrons diffusés. E. J. Axton signale que, dans une certaine mesure, cette remarque de R. S. Caswell n'est pas valable car il est important de connaître les champs de neutrons diffusés dans le laboratoire et l'emploi de la méthode Nb/Zr ne fait que masquer le problème. G. Dietze poursuit l'analyse des corrections à appliquer dans le cadre de cette comparaison pour les neutrons diffusés à 14,8 MeV.

La comparaison Nb/Zr, coordonnée par V. E. Lewis (NPL), dans le domaine d'énergies de 14 à 15 MeV, est terminée et les résultats sont publiés (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 49). La dispersion atteint peut-être 3 %.

Les résultats de la comparaison utilisant la réaction  $\text{In}(n,\gamma)$  à 0,144 et à 0,565 MeV est en cours d'analyse par le coordonnateur, T. B. Ryves (NPL).

La seule comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons qui est en cours est la comparaison faite avec des chambres à fission de  $^{235}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$  qui circuleront d'un laboratoire à l'autre pendant plusieurs années. Elle est coordonnée par D. B. Gayther (AERE) qui a conçu les chambres. Un aspect particulièrement intéressant de cette comparaison est que, dans le passé, on a utilisé généralement des faisceaux monocinétiques produits par des accélérateurs Van de Graaff pour comparer les mesures de fluence. Les chambres à fission permettent maintenant de faire des comparaisons avec des accélérateurs linéaires,

qui produisent des neutrons à spectres blancs, aussi bien qu'avec les accélérateurs Van de Graaff qui produisent des neutrons monocinétiques. Trois laboratoires ont participé jusqu'à présent à cette comparaison qui se poursuivra pendant plusieurs années.

Deux comparaisons sont effectuées dans le domaine de la dosimétrie neutronique. La comparaison du NPL à 14,7 MeV a comporté des mesures dans l'air et en quatre points dans un fantôme d'eau. Les résultats de cette comparaison, à laquelle sept laboratoires ont participé, sont tout à fait satisfaisants, les écarts-types pour la dose totale étant de l'ordre de 1 % pour le kerma dans l'air. Une nouvelle méthode, qui a la faveur des laboratoires, consiste à utiliser une chambre en matériau équivalent au tissu (TE) en association avec un compteur Geiger-Müller (GM) comme dosimètre de rayons  $\gamma$  insensible aux neutrons. L'analyse des résultats de cette comparaison a été faite par V. E. Lewis (NPL), le coordonnateur, et revue par la Section III en mai 1985.

La comparaison à long terme organisée par le BIPM avec des instruments de transfert vient de commencer après une longue période de préparation (choix des instruments, contrôles, établissement du protocole et du calendrier). Neuf laboratoires sont intéressés par la comparaison qui s'étendra sans doute sur plusieurs années. E. Ambler demande combien d'hôpitaux font de la thérapie neutronique. R. S. Caswell répond qu'il y en a une vingtaine dans le monde, mais on considère que cette technique en est encore au stade de la recherche. E. Ambler demande quel est l'avenir de la thérapie neutronique. R. S. Caswell répond qu'il existe deux camps. L'un pense que la thérapie neutronique n'est pas meilleure que la thérapie conventionnelle et qu'elle n'est donc pas avantageuse puisqu'elle est plus onéreuse et plus compliquée. L'autre camp pense qu'on a déjà prouvé que les neutrons sont meilleurs que les rayonnements conventionnels pour certaines tumeurs et qu'ils deviendront donc partie intégrante de l'arsenal permanent de la radiothérapie, et seront employés peut-être dans 20 % des cas traités par les rayonnements, ce qui est comparable ou supérieur à l'emploi des électrons. Personne ne pense que les neutrons deviendront un jour aussi importants en radiothérapie que les photons d'énergie élevée.

V. D. Huynh, du BIPM, donne ensuite quelques informations sur les activités du groupe de mesures neutroniques du BIPM, qui comprennent la participation à la comparaison de dosimétrie neutronique du NPL. Cette participation est importante car elle permettra d'inclure les résultats obtenus dans ceux de la comparaison BIPM au moyen d'instruments de transfert. V. D. Huynh a également étalonné le faisceau de neutrons de 14,7 MeV du BIPM en kerma dans le tissu, à l'air libre, en utilisant des mesures absolues de fluence combinées aux facteurs kerma et il a comparé ce résultat aux mesures de chambres d'ionisation. Les deux résultats s'accordent à 0,8 % près.

En vue de la comparaison à long terme au moyen d'instruments de transfert le BIPM dispose de six chambres d'ionisation TE et de quatre chambres Mg/Ar pour mesurer la composante de rayonnement  $\gamma$  du champ mixte neutrons/rayonnement gamma. On a des difficultés avec la chambre Mg/Ar, dues à des effets de débit de circulation du gaz et à des effets de polarité. Il semble que ces effets soient propres à l'argon. Si l'on utilise un gaz TE, l'effet de polarité et l'effet du débit de gaz disparaissent. J. G. V. Taylor suggère que ceci pourrait être dû à un état métastable de l'argon.

## 2. Discussion du rapport du président du CCEMRI au CIPM

E. Ambler indique qu'il souhaite voir figurer dans le rapport la situation des comparaisons d'étalons primaires de rayons X et  $\gamma$ . On devrait y indiquer quelles sont les possibilités les meilleures des laboratoires nationaux, en particulier dans le domaine des mesures de dose absorbée. E. Ambler suggère aussi que les réalisations mentionnées dans le tableau A du projet de rapport devraient comporter des valeurs précises, pour qu'on comprenne bien la signification de ce qui a été réalisé. R. S. Caswell indique que, dans la préparation du projet de rapport à partir d'informations communiquées par les présidents des sections, le tableau B a été rédigé par ces derniers. Le personnel du BIPM devrait vérifier ce tableau soigneusement.

## 3. Questions diverses

Des dispositions sont prises pour mettre au point le rapport du président du CCEMRI au CIPM, le 25 juillet.

R. S. Caswell signale que l'élection de A. Allisy en juin comme président de l'International Commission on Radiation Units and Measurements est un honneur pour le BIPM et le CCEMRI.

On remercie E. Ambler pour les services fructueux qu'il a rendus pendant de longues années en tant que président du CCEMRI.

La séance est ensuite levée.

Septembre 1985, révisé janvier 1986

---



## ANNEXE R 1

---

### **Rapport du président du CCEMRI au Comité International des Poids et Mesures**

---

Les rayonnements ionisants continuent à être très utilisés en médecine (diagnostic et traitement), dans la production de l'énergie électrique et dans une multitude d'applications industrielles comprenant le traitement des matériaux en vue d'améliorer leurs qualités et, dans certains pays, l'irradiation pour la désinsectisation et la conservation des denrées alimentaires.

L'utilisation et la mesure des rayonnements ionisants est de plus en plus un sujet de préoccupation pour les collectivités. Cette préoccupation se manifeste par la mise en place dans la plupart des pays de réglementations destinées à protéger les citoyens contre les risques potentiels des rayonnements. Par ailleurs, on commence maintenant à estimer la probabilité de l'existence d'une relation de cause à effet, probabilité utilisée légalement pour déterminer l'indemnisation des personnes; dans le cas de cancers pouvant être dus au rayonnement, cette indemnisation dépend des doses reçues et du type de cancer concerné. Pour permettre d'établir une réglementation et une juridiction concernant les rayonnements, les laboratoires nationaux doivent disposer d'étalons de mesure exacts et cohérents pouvant servir de références pour contrôler les mesures courantes.

Il en résulte que les mesures exactes de rayonnements ionisants continuent à être d'une très grande importance. Des exactitudes d'environ 1 % sont nécessaires pour les mesures de neutrons, de rayons X et  $\gamma$ , et de radioactivité, quand on veut réaliser une centrale électrique nucléaire. Une exactitude du même ordre est nécessaire pour les étalons nationaux de mesure, afin de déterminer la dose absorbée délivrée aux tumeurs à environ 5 % près, ce qui est l'exactitude généralement reconnue comme nécessaire en radiothérapie. Une telle exactitude est difficile à atteindre en raison de la grande complexité de l'interaction du rayonnement avec la matière, et de la diversité des énergies et des intensités des différents types de rayonnement concernés. Les laboratoires

nationaux s'efforcent de répondre à cette demande, pour une gamme de besoins toujours croissante, en poursuivant le programme des comparaisons qui sont organisées par les trois sections du CCEMRI et qui utilisent fréquemment les laboratoires et le personnel du BIPM. Des mesures d'une exactitude légèrement inférieure, faites dans le domaine des faibles doses, sont nécessaires pour la protection des travailleurs et des populations, ainsi que pour le contrôle de l'environnement. Ces exactitudes plus faibles, fréquemment de l'ordre de 10 %, demandent parfois aux laboratoires nationaux des exactitudes qui les obligent souvent à développer leurs capacités de mesure dans le cas de certains rayonnements où la mesure est difficile, comme les neutrons par exemple.

La mesure des rayonnements ionisants est parfois décisive pour la santé et la sécurité, par exemple en radiothérapie. Le rôle central du CIPM et du BIPM dans le système international de mesure pour tous les rayonnements ionisants est d'une très grande importance.

Le CCEMRI\* comporte actuellement trois sections : Section I, Rayons X et  $\gamma$ , électrons ; Section II, Mesure des radionucléides ; Section III, Mesures neutroniques. Dans la présentation de ce rapport on considère successivement ces trois sections. Pour chacune d'elles on envisage :

- A. Les besoins en étalons,
- B. Le programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985,
- C. Les réalisations pendant la période de 1983 à 1985,
- D. Les travaux envisagés de 1985 à 1987.

Les activités du BIPM qui sont directement liées aux activités du CCEMRI figurent dans la partie correspondante de ce rapport.

## Section I — Rayons X et $\gamma$ , électrons

### A. *Besoins en étalons*

Il est utile d'affirmer à nouveau, comme dans les rapports précédents, que les difficultés spécifiques rencontrées dans la mesure des rayons X et  $\gamma$ , et des électrons, ainsi que l'exactitude requise en dosimétrie appliquée, font qu'il est nécessaire d'avoir des étalons de rayonnement pour effectuer des mesures satisfaisantes et cohérentes (afin d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques, ce qui est la tâche du BIPM). Le domaine des énergies des particules ionisantes elles-mêmes

---

\* Voir page R 103 la liste des laboratoires et organisations mentionnés dans ce rapport.

et le domaine des débits de fluence rencontrés peuvent couvrir plusieurs ordres de grandeur. Dans les domaines de la protection et de l'environnement on est de plus en plus préoccupé par les risques liés à l'exposition aux rayonnements. L'ICRU a récemment recommandé des grandeurs à utiliser dans ces domaines et il est nécessaire de mesurer ces nouvelles grandeurs pour les rattacher aux étalons nationaux. La radiothérapie, qui est très importante et bénéfique dans le traitement des maladies, demande que la dose absorbée soit déterminée avec une exactitude qui approche parfois celle des étalons. Pour les débits de fluence élevés, utilisés dans l'industrie pour le traitement des fournitures médicales et des denrées alimentaires, etc., le coût de l'opération a une influence sur l'exactitude demandée. La nature complexe des interactions du rayonnement et de la matière à tous ces niveaux exige l'emploi de techniques spéciales en dosimétrie. C'est seulement avec des mesures rattachées à un étalon national qu'on peut obtenir des résultats qui constituent un système cohérent dans un pays. L'extension à une échelle mondiale demande que les étalons nationaux eux-mêmes soient reliés entre eux dans un système unifié par l'intermédiaire du BIPM.

La détermination de la dose absorbée dans l'eau, en particulier, continue à avoir une importance primordiale en radiothérapie. Sa mesure calorimétrique directe a fait apparaître des écarts de quelques pour cent, dus en partie à des réactions exothermiques dans l'eau irradiée, par rapport aux valeurs déterminées à partir de calorimètres en graphite. Ces derniers instruments, utilisés par plusieurs laboratoires nationaux comme étalons primaires de dose absorbée dans le graphite, présentent pour une mesure un écart-type total associé de quelques pour mille (CCEMRI(I)/85-22) ; lors des comparaisons de ces calorimètres au BIPM l'écart-type était de 0,2 % (CCEMRI(I), 5<sup>e</sup> réunion, 1979 ; M.-T. Niatel *et al.*, *Phys. Med. Biol.* **30**, 1985, pp. 67-75). Cependant, si l'on déduit la dose absorbée dans l'eau de telles mesures, ou de mesures d'exposition, il en résulte une incertitude accrue, qui est actuellement de l'ordre de 1 %. Des comparaisons de mesures de dose absorbée dans l'eau (CCEMRI(I), 5<sup>e</sup> réunion, 1979, 6<sup>e</sup> réunion, 1981, et CCEMRI(I)/85-20, 21), avec des chambres d'ionisation et des dosimètres Fricke, ont fait apparaître des différences de 0,3 % dans le premier cas et jusqu'à 2,5 % dans le second. Étant donné que l'exactitude actuellement requise en radiothérapie est de 5 % pour certaines tumeurs et que les améliorations en cours concernant la radiographie font penser qu'une exactitude croissante sera nécessaire, un effort soutenu sera indispensable pour établir des étalons appropriés pour mesurer la dose absorbée dans l'eau.

#### B. Programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985

On avait prévu de continuer les comparaisons d'étalons d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée. Le programme comportait aussi de nouvelles comparaisons de systèmes de dosimétrie Fricke.

Une compilation devait être faite des estimations détaillées des incertitudes associées aux étalons de mesure. A cette fin, on avait constitué un groupe de travail pour rassembler des données sur les chambres à parois d'air, les chambres à cavité en graphite et les calorimètres en graphite. La présentation des incertitudes devait être conforme à la Recommandation du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, **49**, 1981, p. A11).

Il avait été convenu que les changements concernant les étalons nationaux devraient être rares, mais que de tels changements sont à envisager lors de l'adoption de valeurs améliorées de constantes physiques, comme cela est prévu, par exemple, pour les rapports des pouvoirs de ralentissement.

On devait continuer à se préoccuper du problème de la détermination de la dose absorbée dans l'eau, par des mesures directes ou par l'emploi de facteurs de conversion.

On devait aussi s'intéresser à la radioprotection et aux usages industriels des rayonnements : il s'agit, dans le premier cas, des nouvelles grandeurs recommandées par l'ICRU pour la protection contre les rayonnements et, dans le second cas, des progrès dans la mise en place de services de référence, par l'AIEA et les laboratoires nationaux, et du rôle du BIPM dans ce domaine.

Par ailleurs, la section estima que ses travaux devraient faire l'objet d'une plus large diffusion par la publication de rapports dans des revues scientifiques appropriées.

### *C. Réalisations pendant la période de 1983 à 1985*

Sept comparaisons (dont trois au BIPM) ont été effectuées avec des étalons d'exposition dans les domaines d'énergie de la radiothérapie. Une différence observée lors d'une comparaison effectuée au BIPM a conduit à une amélioration de la mesure mécanique du diaphragme de l'étalon national d'exposition concerné (chambre à parois d'air). Le BIPM a aussi étalonné, dans son faisceau de rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , deux chambres d'ionisation à cavité, à parois de graphite. L'un de ces étalonnages a permis une comparaison avec l'étalon d'exposition d'un laboratoire national. Les deux chambres de transfert, dont le volume peut être déterminé d'après leur construction, pourront aussi être utilisées comme étalons nationaux primaires d'exposition. Par ailleurs, des étalonnages ont été effectués au BIPM pour cinq pays et pour l'AIEA, dans les faisceaux de rayons X et du  $^{60}\text{Co}$ .

Trois laboratoires nationaux ont comparé leurs mesures de dose absorbée dans l'eau, dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ , avec des dosimètres chimiques Fricke. Pour deux d'entre eux, la mesure de la dose absorbée repose sur des calorimètres de graphite. On a trouvé que les deux valeurs sont en accord avec les résultats des dosimètres Fricke à

quelques pour mille près quand on utilise pour les dosimètres chimiques la valeur de  $G_E$  recommandée par Svensson et Brahme (*Acta Radiol.* **18**, 1979, p. 326).

Plusieurs comparaisons ont été faites à de faibles énergies et à des énergies élevées de rayonnement. P. Spanne *et al.* ont publié les résultats détaillés d'une comparaison faite par douze laboratoires, avec de faibles kermas dans l'air (environ 0,3 mGy), pour des faisceaux de rayonnement de  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{60}\text{Co}$  (*Rad. Prot. Dosimetry*, **6**, 1984, pp. 261-264). Presque tous les écarts sont inférieurs à 5 %. Deux laboratoires ont fait récemment une comparaison d'étalons utilisés en radioprotection en utilisant des rayons X émis à 150 kV. Un autre laboratoire national a pris part à la septième comparaison internationale de dosimètres intégrateurs pour la surveillance de l'environnement. Dans le domaine industriel, deux laboratoires nationaux ont fait une comparaison de dose absorbée dans l'eau, dans des irradiateurs de  $^{60}\text{Co}$ ; l'accord est meilleur que 1 %.

La Section I a discuté le besoin de comparaisons pérennes d'étalons nationaux primaires au BIPM. Elle pense que les comparaisons des étalons actuels (et futurs) devraient être répétées de temps en temps. Dans les cas où il n'est pas commode de transporter l'étalon primaire au BIPM, on souligne l'intérêt que présente un instrument de transfert. Étant donné la préoccupation croissante concernant les rayonnements et la santé, et la nécessité de préserver la cohérence mondiale des mesures de rayonnements ionisants par des comparaisons pérennes, la Section I recommande formellement que le système d'étalons du BIPM soit maintenu et développé selon les besoins, et que le BIPM dispose du personnel approprié pour accomplir les tâches nécessaires (Recommandation R(I)-1 (1985), qui figure dans le rapport de la Section I au CIPM, p. R 51).

Le Groupe de travail sur l'estimation des incertitudes, créé par la Section I lors de sa septième réunion, a rassemblé des données sur les composantes des incertitudes estimées pour trois catégories d'étalons : 19 étalons à parois d'air, 12 chambres d'ionisation à cavité, à parois de graphite, et 5 calorimètres en graphite. Les incertitudes du type A (estimées par des méthodes statistiques) sont en général inférieures aux incertitudes du type B (estimées par d'autres méthodes). Bien que les valeurs individuelles données par les participants pour l'une des composantes d'une incertitude diffèrent souvent de plus d'un ordre de grandeur, les incertitudes combinées (à l'exception de celles d'un seul laboratoire) s'accordent à un facteur 3 près. La Section I pense que ce travail a été utile, mais qu'on gagnerait peu à le répéter.

Depuis la réunion de 1983, de nouvelles valeurs des pouvoirs de ralentissement pour les électrons ont été publiées. Le BIPM a utilisé ces valeurs pour réévaluer  $W$  pour l'air ( $W$  est l'énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions), et pour calculer  $g$ , la fraction de l'énergie initiale d'un électron perdue par rayonnement. La Section

I recommande que l'on commence à utiliser ces nouvelles valeurs, dans le système actuel d'étalons, à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1986.

En ce qui concerne la détermination de la dose absorbée dans l'eau à partir de mesures de chambres d'ionisation, un laboratoire a amélioré sa méthode de Monte-Carlo pour le calcul de spectres, dans un fantôme d'eau irradié par des rayons X. Pour le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ , le BIPM travaille actuellement sur la détermination de la correction de perturbation requise pour tenir compte de la présence d'une chambre d'ionisation en graphite dans un fantôme d'eau. Le BIPM a mesuré aussi le facteur de conversion  $C_\lambda$  pour une chambre Exradin T2, mais l'incertitude sur ce facteur est grande à cause du manque de stabilité de la chambre Exradin.

La Section I a discuté les implications de la recommandation de l'ICRU concernant de nouvelles grandeurs pour déterminer l'équivalent de dose. Considérant qu'une exactitude croissante sera nécessaire pour les mesures utilisées en radioprotection, et que dans un but de cohérence internationale ces mesures devraient être rattachées au système actuel d'étalons d'exposition et de kerma dans l'air du BIPM, la section recommande que le BIPM détermine les facteurs nécessaires pour obtenir l'équivalent de dose ambiant à partir de l'exposition et du kerma dans l'air pour les qualités de rayonnement du système actuel (Recommandation R(I)-2 (1985), dans le rapport de la Section I au CIPM, p. R 52).

En ce qui concerne les usages industriels du rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ , un laboratoire national a signalé qu'il étalonne maintenant les systèmes de dosimétrie des utilisateurs dans des domaines de débits de dose élevés et qu'il offre un service de référence basé sur la dosimétrie chimique au bichromate. L'AIEA a presque terminé les travaux de mise en œuvre d'un service de mesures de contrôle destiné à ses états membres et qui sera opérationnel en 1985. On pense que le rattachement des mesures de doses absorbées élevées au système international peut se faire au moyen de dosimètres utilisables dans une gamme d'énergies suffisamment étendue.

Pour aider à assurer l'uniformité des mesures de dose absorbée dans l'eau jusqu'à 200 grays (limite supérieure pratique disponible au BIPM), la section recommande que, lorsqu'ils organisent des distributions de dosimètres passifs, les laboratoires envoient au BIPM un échantillonnage à irradier dans le fantôme d'eau du BIPM, en un point de référence où la dose absorbée est connue (Recommandation R(I)-3 (1985), dans le rapport de la Section I au CIPM, p. R 52).

Pour faire connaître les travaux de la Section I, le président a publié un rapport sur la 7<sup>e</sup> réunion (*Phys. Med. Biol.* **29**, 1984, pp. 1443-1446) et a fait un exposé au premier Inter-American Meeting of Medical Physics. Un article ayant comme coauteur le président précédent donne un compte rendu des activités des trois sections du CCEMRI (*J. Soc. Radiol. Prot.*, **4**, 1984, pp. 166-176).

## D. Travaux envisagés de 1985 à 1987

Les comparaisons d'étalons de mesure d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée seront poursuivies. En ce qui concerne les dosimètres passifs expédiés par voie postale et utilisés par les laboratoires nationaux ou internationaux pour une comparaison ou un service de référence, un échantillonnage sera expédié au BIPM et irradié dans le fantôme d'eau du BIPM, en un point de référence où la dose absorbée est connue.

On poursuivra les travaux concernant la détermination de la dose absorbée dans un fantôme d'eau par mesure directe et par la méthode des chambres d'ionisation à cavité qui permettent d'obtenir la dose absorbée à partir d'autres grandeurs.

On déterminera les facteurs nécessaires pour obtenir, à partir de l'exposition et du kerma dans l'air, l'équivalent de dose ambiant, grandeur recommandée récemment par l'ICRU pour la radioprotection.

On continuera à s'intéresser aux progrès intervenus dans la réalisation et la comparaison d'étalons pour les rayonnements à usage industriel.

Les membres sont invités à poursuivre leur effort pour informer les revues scientifiques et les organisations appropriées sur les travaux de la section.

## Section II — Mesure des radionucléides

### A. Besoins en étalons

Les radionucléides sont très utilisés dans la recherche scientifique et la métrologie appliquée, dans de nombreux procédés industriels et en médecine nucléaire. Il est inévitable qu'ils forment aussi un groupe important de déchets, en provenance en particulier des centrales nucléaires et des hôpitaux.

Depuis quelques années, la demande d'étalons de radioactivité s'est accrue dans le monde entier. Cette augmentation est due principalement à des réglementations nouvelles ou plus strictes concernant la protection du public contre les risques potentiels des rayonnements. Ces réglementations exigent des mesures d'activité plus nombreuses et plus exactes dans les domaines de la médecine nucléaire et du traitement des déchets.

Des étalons d'une exactitude de l'ordre de quelques pour mille sont nécessaires dans la recherche scientifique, par exemple pour l'étalonnage en efficacité de systèmes de spectrométrie à semiconducteurs utilisés dans la mesure des probabilités d'émission de rayons X ou  $\gamma$ , qui sont très importantes pour la détermination des schémas de désintégration. Ainsi que l'ont montré les comparaisons internationales et le Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de

rayons gamma (SIR), cette exactitude est atteinte pour quelques radionucléides, mais ne l'est pas encore pour d'autres qui sont plus difficiles à mesurer.

### B. Programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985

Une comparaison à grande échelle de  $^{133}\text{Ba}$ , à laquelle 25 laboratoires s'étaient intéressés, avait été prévue pour le printemps de 1984.

La solution devait être préparée et mise en ampoules par le NBS en utilisant des ampoules et des techniques éprouvées. Étant donné la dispersion des résultats de deux comparaisons restreintes précédentes, la stabilité chimique de la solution devait d'abord être contrôlée par les laboratoires ayant participé aux comparaisons restreintes. Si ce premier contrôle, proposé pour la fin de 1983, était satisfaisant, les ampoules restantes devaient être distribuées pour la comparaison à grande échelle.

Une comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$  avait été prévue pour la fin de 1984, sous réserve de disposer d'une solution suffisamment pure. Le  $^{109}\text{Cd}$  est un radionucléide très intéressant pour l'étalonnage en efficacité des spectromètres à semiconducteurs. De plus, c'est une source fréquemment employée pour l'analyse par fluorescence de rayons X. À cause de sa transformation par capture électronique via un état métastable de période longue ( $T_{1/2} \approx 40$  s), on ne peut pas l'étalonner par la méthode des coïncidences habituelle et il faut utiliser des techniques spéciales.

Trois nouveaux groupes de travail, créés à la réunion de 1983, devaient rassembler des données sur les sujets suivants :

- préparation de sources minces et problèmes chimiques associés,
- difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de l'activité de certains radionucléides,
- expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité.

### C. Réalisations pendant la période de 1983 à 1985

#### 1. Achèvement des travaux prévus pendant la période précédente

Le rapport final sur la comparaison à grande échelle du  $^{137}\text{Cs}$  (mai 1982) a été modifié légèrement pour tenir compte des commentaires faits par la Section II à la réunion de 1983, et a été publié (Rapport BIPM-83/8 (1983)). Une version condensée a été publiée dans la littérature (A. Rytz, *Nucl. Instr. and Meth.*, **228**, 1985, pp. 506-511).

#### 2. Comparaisons internationales

Une nouvelle solution de  $^{133}\text{Ba}$  a été préparée par le NBS en juillet 1983, contrôlée pour la stabilité chimique et mise dans des ampoules



de type NBS. Six de ces ampoules ont été distribuées en octobre aux laboratoires participant à la comparaison restreinte. On avait demandé aux participants de déterminer l'activité massique de la solution, d'abord en mesurant l'ampoule originale dans une chambre d'ionisation  $4\pi\gamma$  étalonnée, en utilisant la valeur de la masse de solution indiquée par le NBS, puis en la mesurant après transfert gravimétrique dans les ampoules des laboratoires. Dans les six cas, les deux valeurs différaient de moins de 0,2 %. La stabilité chimique de la solution était donc suffisante pour entreprendre une comparaison à grande échelle. Dans le courant du printemps 1984, les ampoules restantes ont été expédiées aux autres laboratoires intéressés par la comparaison.

Dix-neuf laboratoires ont transmis leurs résultats au BIPM. La dispersion totale est de 1,7 % et l'écart-type de la moyenne s'élève à 0,36 %. Un projet de rapport a été discuté à la dernière réunion de la Section II. Il sera modifié légèrement pour tenir compte des commentaires de quelques participants, puis publié comme rapport BIPM.

Après que le NAC eut aimablement informé le BIPM qu'il pouvait lui fournir une solution adéquate de  $^{109}\text{Cd}$ , on a organisé une comparaison restreinte pour la fin de 1984. La solution mère a été expédiée à l'OMH qui s'est chargé de la dilution, de la mise en ampoules et de l'expédition aux six participants. Le travail expérimental est terminé. Huit résultats, obtenus par des méthodes différentes, ont été fournis. La dispersion totale est de 1,7 %, et l'écart-type de la valeur moyenne pondérée s'élève à 0,2 %, ce qui peut être considéré comme un bon accord, eu égard à la difficulté des mesures. Quelques informations complémentaires seront ajoutées au rapport qui sera publié comme rapport BIPM.

### 3. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)

Le système comprend maintenant environ 300 résultats indépendants, provenant de la mesure de 45 radionucléides différents. Un certain nombre de résultats ont dû être modifiés à la suite d'une amélioration de la méthode de calcul des corrections d'impuretés. Des mesures et des calculs ont été faits pour déterminer l'effet du rayonnement de freinage. Sa contribution au courant d'ionisation est normalement très inférieure à 0,1 %, mais dans certains cas particuliers elle est supérieure (par exemple, avec le  $^{144}\text{Ce}$  elle s'élève à plus de 30 %). Un rapport intitulé « Minimum activity and maximum impurity rates for SIR samples » (Rapport BIPM-83/9) a été expédié aux laboratoires participants et une description détaillée du SIR a été publiée (A. Rytz, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **34**, 1983, pp. 1047-1056).

Le système électronique de mesure du courant d'ionisation a été reconstruit. La méthode est la même (balance de Townsend avec compensation pas à pas), mais plusieurs composants électroniques ont été remplacés ou modernisés.

#### 4. Groupes de travail

- Principes de la méthode des coïncidences (Coordonnateur : J. W. Müller).

Comme par le passé, le groupe a stimulé des études détaillées (expérimentales et théoriques) dans divers domaines liés aux méthodes de mesure. Les projets d'une vingtaine de rapports ont circulé parmi les membres du groupe.

- Préparation de sources minces et problèmes chimiques associés (Coordonnateur : D. C. Santry).

Une enquête adressée à une cinquantaine de personnes travaillant dans la métrologie des radionucléides, ainsi qu'une recherche bibliographique, n'ont pas permis de découvrir beaucoup de travaux nouveaux depuis 1973. Un rapport sera préparé, mais si de nouvelles informations ne sont pas disponibles le groupe devrait cesser son activité.

- Difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de l'activité de certains radionucléides (Coordonnateur : H.-M. Weiss).

Une étude des radionucléides utilisés fréquemment a fait apparaître qu'une vingtaine de nucléides présentent des problèmes réels ou potentiels, dus pour la plupart à des états métastables ou à une désintégration par émission de rayonnement bêta et capture électronique. Un rapport sera préparé.

- Expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité (Coordonnateur : G. Winkler).

Un rapport a été présenté à la dernière réunion. Il contient, pour une vingtaine de radionucléides mesurés dans quatre laboratoires, une comparaison des valeurs d'activité obtenues par la méthode  $4\pi\gamma$ (NaI), et basées sur les efficacités totales calculées, avec les résultats obtenus par une autre méthode. L'accord est de quelques pour mille dans la plupart des cas. Il est recommandé d'étudier les problèmes associés aux corrections d'empilement et de temps morts. Le rapport sera complété et distribué.

#### D. Travaux envisagés de 1985 à 1987

Comme la comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$  a été couronnée de succès, on a jugé utile d'organiser une comparaison à grande échelle. Lors d'une enquête précédente, 19 laboratoires avaient manifesté de l'intérêt pour une telle comparaison. Le NAC avait offert de fournir une solution de  $^{109}\text{Cd}$  en provenance du lot de grande pureté utilisé pour la comparaison restreinte. Les échantillons seront expédiés aux participants dans le courant du printemps de 1986. La date de référence proposée est 1986-03-01.

La Section II a décidé, à sa réunion de 1985, que le  $^{125}\text{I}$  serait le prochain radionucléide à faire l'objet d'une comparaison de mesures d'activité. Il est très utilisé en médecine nucléaire, mais l'énergie des rayons X et  $\gamma$  provenant de la désintégration du  $^{125}\text{I}$  est trop faible pour permettre une mesure par le SIR, si bien que l'on ne possède pas d'information sur l'uniformité des mesures au plan international. L'OMH a proposé de fournir du  $^{125}\text{I}$  pour une comparaison restreinte entre cinq laboratoires vers la fin de 1986.

Deux autres comparaisons ont été suggérées à la dernière réunion : une comparaison d'un gaz radioactif par comptage interne à l'état gazeux et une comparaison de mesures de sources à taux de comptage élevé, semblable à celle qui a été faite il y a huit ans. Une répétition de cette dernière expérience semble justifiée car depuis cette époque on a mis au point des formules de correction plus précises (Cox-Isham) et des méthodes de mesure plus appropriées (comme l'échantillonnage sélectif). D. D. Hoppes (comptage interne) et J.-J. Gostely (taux de comptage élevés) rechercheront quels sont les laboratoires intéressés et prépareront une proposition détaillée qui sera discutée lors de la prochaine réunion de la Section II.

Étant donné l'utilisation croissante des radionucléides dans différents domaines et le besoin accru de rattachement des mesures d'activité aux étalons internationaux, qui ne peut être assuré que par le BIPM, la Section II souligne l'importance du maintien et du développement du programme de métrologie des radionucléides du BIPM, et la nécessité de maintenir le personnel indispensable pour l'accomplir. Cette préoccupation est formulée dans une recommandation qui figure dans le rapport de la Section II au CIPM (Recommandation R(II)-1 (1985)).

### Section III — Mesures neutroniques

#### A. Besoins en étalons

Des mesures neutroniques fiables sont nécessaires dans de nombreux domaines : développement sûr et efficace de l'énergie nucléaire, y compris la mise au point de réacteurs nucléaires à fission et à fusion, protection du personnel contre les rayonnements neutroniques dans des laboratoires nucléaires nombreux et variés, traitement du cancer par les rayonnements neutroniques, actuellement au stade expérimental, et pour d'autres applications des neutrons dans la science et l'industrie.

On a besoin d'étalons de débit de fluence neutronique dans les réacteurs à fission et à fusion, pour déterminer les « étalons » de sections efficaces et pour étalonner les instruments utilisés dans l'environnement hostile de ces réacteurs. Des besoins en exactitude aussi rigoureux que 1 % sont fréquents. Des mesures prouvant une telle exactitude sont

souvent nécessaires pour satisfaire les exigences des réglementations gouvernementales.

La protection du personnel contre les rayonnements neutroniques est actuellement un problème très important. D'une part, le facteur de qualité pour les neutrons (comme indicateur de risque) a été récemment augmenté par l'International Commission on Radiological Protection (ICRP). D'autre part, il est généralement reconnu que les instruments actuels de surveillance du personnel doivent être améliorés. Pour leur mise au point et leur étalonnage il faut des faisceaux de neutrons étalonnés avec des exactitudes de 3 à 10 %. Une grande partie du programme de comparaisons neutroniques de la Section III a pour but de fournir de bons étalons pour faire des mesures dans de tels faisceaux de neutrons. Si les exigences d'exactitude sont satisfaites pour certaines énergies de neutrons, des travaux sont encore nécessaires pour d'autres énergies.

Les mesures neutroniques sont importantes pour de nombreuses autres applications : thérapie du cancer par les neutrons, qui demande une exactitude de 1 à 2 % pour les étalons de kerma et de dose absorbée, propriétés statiques et dynamiques de la matière condensée par diffraction neutronique, analyse par activation, radiographie neutronique, recherche en biologie et applications industrielles telles que la détermination du contenu en eau des matériaux par des méthodes non destructives.

## B. Programme de travail prévu pour la période de 1983 à 1985

### 1. Comparaisons internationales de mesures du taux d'émission de sources neutroniques de $^{252}\text{Cf}$

Dans le cas de la source SR144 ( $10^7 \text{ s}^{-1}$ ), on avait prévu l'achèvement des rapports des participants et l'analyse de la comparaison. Une revue critique et la publication étaient également prévues. Pour la source la plus intense ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ), on devait terminer les mesures et publier les résultats.

### 2. Comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

On avait prévu de terminer les analyses et la publication des résultats de la comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')$  à 2,5 et à 5,0 MeV, et de la comparaison Nb/Zr à 14,8 MeV. Dans le cas de la comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')$  à 14,8 MeV, une étude détaillée des corrections de diffusion devait être effectuée.

La comparaison des mesures de  $^{115}\text{In}(n,\gamma)$  à 144 et à 565 keV devait être poursuivie, l'analyse, la revue critique et la publication des résultats étant envisagées pour 1985-1986.

Les mesures de chambres à fission devaient se poursuivre pendant la période de 1983 à 1985, avec analyse et publication des résultats pendant la période de 1985 à 1987.

### 3. Comparaisons internationales de dosimétrie neutronique

L'analyse, la revue critique et la publication des résultats de la comparaison de dosimétrie neutronique à 14,7 MeV organisée par le NPL avaient été prévues pour la période de 1983 à 1985.

Pour la comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM, il avait été prévu de mettre au point le protocole de la comparaison et de commencer les mesures qui devraient se prolonger pendant la période de 1985 à 1987.

#### C. Réalisations pendant la période de 1983 à 1985

##### 1. Comparaisons internationales de mesures du taux d'émission de sources neutroniques de $^{252}\text{Cf}$

a) *Comparaison de la source SR144* (E. J. Axton, NPL et BIPM, coordonnateur). Un projet de rapport sur la comparaison de cette source, dont l'activité au début des mesures était de  $4,5 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ , a été rédigé et distribué en mars 1985 aux participants et aux membres de la Section III. Quatorze laboratoires y ont participé, dont trois avec d'autres sources. Une analyse très détaillée a été faite par la méthode des moindres carrés. À l'exception de deux résultats qui s'écartent beaucoup de l'ensemble, l'accord est très bon, toutes les valeurs se situant autour de la moyenne, à environ 1 % près, ce qui représente une grande amélioration par rapport à la comparaison précédente du taux d'émission d'une source de neutrons organisée par le BIPM et analysée par V. Naggiar en 1967. On espère qu'après réception des commentaires des participants en juillet 1985, une version finale de l'analyse pourra être préparée en août 1985. Le rapport sera ensuite soumis à *Metrologia* pour publication.

b) *Comparaison de la source SR255Z* (W. G. Alberts, PTB, coordonnateur). Cette comparaison d'une source intense de  $^{252}\text{Cf}$  ( $\approx 10^9 \text{ s}^{-1}$ ) devait avoir lieu entre trois laboratoires (NBS, PTB et NPL). Le NBS a terminé ses mesures en 1977 et la PTB en 1978. La source se trouve actuellement au NPL, où des problèmes de sécurité sont apparus lors de la manipulation. Étant donné que l'intensité de la source n'est plus que de  $10^8 \text{ s}^{-1}$ , la Section III a décidé d'envisager de nouvelles mesures de comparaison entre le NBS et la PTB avec une source plus intense. On a demandé à W. G. Alberts (PTB) et E. D. McGarry (NBS) de faire un résumé des résultats obtenus jusqu'à présent, pour permettre de prendre une décision quant à une nouvelle comparaison bilatérale.

##### 2. Comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

a) *Comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  à 2,5, 5,0 et 14,8 MeV* (H. Liskien, BCMN, coordonnateur). Les résultats obtenus à 2,5 et 5,0 MeV ont été revus, analysés et publiés dans *Metrologia* (20,

1984, p. 55), sous le titre « International fluence-rate intercomparison for 2.5 MeV and 5.0 MeV neutrons ». Le résumé est reproduit ci-dessous :

« On a comparé des mesures de fluence de neutrons de 2,5 MeV et 5 MeV faites dans des laboratoires d'étalonnage. La méthode de comparaison est basée sur la détermination du rapport des activités  $\gamma$  entre le  $^{115}\text{In}^m$  produit par des neutrons rapides dans un échantillon d'indium, d'une part, et une source étalonnée de  $^{51}\text{Cr}$ , d'autre part. Les résultats montrent que la contribution de l'incertitude due à la méthode de transfert n'augmente pas l'incertitude totale de façon significative et que ces résultats sont cohérents à une exception près ».

À 14,8 MeV, les corrections pour la diffusion des neutrons dans la salle de mesure et sur la cible sont très importantes, car ces neutrons, qui ont des énergies dégradées, produisent un effet disproportionné en raison de la valeur de la section efficace de la réaction aux basses énergies qui est beaucoup plus élevée qu'à l'énergie de 14,8 MeV. Par conséquent, une comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  pour cette énergie de neutrons permet de contrôler non seulement la méthode de détermination de la fluence employée, mais surtout la pureté de la source de 14 MeV. Une analyse des corrections correspondantes, faite sur la même base pour tous les participants (même code de calcul par la méthode de Monte-Carlo, avec les mêmes données neutroniques), est en cours à la PTB.

b) *Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides : Nb/Zr à 14,8 MeV (V.E. Lewis, NPL, coordonnateur).*

Neuf laboratoires ont participé à cette comparaison d'énergie et de fluence neutroniques qui s'est déroulée de juin à novembre 1981 et était coordonnée par le NPL. Elle complétait la comparaison de mesures de fluence reposant sur l'irradiation d'échantillons d'indium et est décrite dans un article publié dans *Metrologia* (20, 1984, p. 49) en même temps que la description du travail concernant la comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ . Les quotients de l'activité du niobium par la fluence, mesurés par les participants, étaient généralement cohérents, à part quelques exceptions dont les causes sont connues. L'accord entre les énergies moyennes obtenues à partir du rapport des activités du zirconium et du niobium et celles qui ont été obtenues par les participants est généralement satisfaisant.

c) *Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides :  $^{115}\text{In}(n,\gamma)$  à 0,144 et à 0,565 MeV (T.B. Ryves, NPL, coordonnateur).* Cette comparaison, organisée par le NPL, s'est déroulée du milieu de 1982 au début de 1985. Cinq laboratoires ont participé à 0,144 MeV et six à 0,565 MeV. Les résultats finaux ont été adressés au coordonnateur et l'analyse est en cours. Elle devrait être revue par les participants vers le milieu de 1985 et publiée au début de 1986. Des indications

préliminaires montrent que la technique convient en général pour ces énergies de neutrons et que les résultats sont satisfaisants, à une exception près.

d) *Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides au moyen de chambres à fission utilisées comme instruments de transfert* (D.B. Gayther, AERE, coordonnateur). Après un début lent, le programme de mesures de la comparaison de fluence avec des chambres à fission de Harwell en est à mi-chemin. Les mesures ont été effectuées par le NBS, le BIPM et la PTB, et les deux premiers laboratoires ont rédigé leur rapport final. Les chambres sont actuellement au BCMN où les mesures viennent de commencer avec l'accélérateur linéaire. Le but principal de cet exercice est de comparer les déterminations du débit de fluence faites en utilisant deux types de sources de neutrons : des sources « blanches » pulsées (tels que les accélérateurs linéaires) et des sources qui utilisent les accélérateurs monoénergétiques. Il est, par conséquent, agréable de constater que les mesures faites à 0,5 MeV par le NBS, avec l'accélérateur linéaire et le Van de Graaff, sont en excellent accord. Des mesures sont prévues à l'ETL, au NPL et à l'AERE, et peut-être dans un autre laboratoire. Au rythme actuel, le programme de mesures s'étendra jusque vers le milieu de 1987.

### 3. Comparaisons de dosimétrie neutronique

a) *Comparaison de dose absorbée de neutrons à 14,7 MeV au NPL* (V.E. Lewis, NPL, coordonnateur). Les résultats de la comparaison organisée par le NPL dans son laboratoire, en 1983, ont été analysés et un rapport a été préparé pour publication. La cohérence des mesures de dose totale faites avec la chambre d'ionisation équivalente au tissu (TE) est satisfaisante et montre une amélioration sensible par rapport aux comparaisons à grande échelle organisées auparavant. Le compteur Geiger-Müller (GM) à compensation d'énergie est apparu comme un instrument efficace, permettant de déterminer séparément, avec une exactitude suffisante, les composantes neutronique et photonique de la dose absorbée. Toutefois, l'emploi d'une chambre d'ionisation en magnésium remplie d'argon (Mg/Ar) comme dosimètre « insensible aux neutrons » a produit des incohérences inacceptables.

b) *Comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM* (V.D. Huynh, BIPM, coordonnateur). On a étudié des chambres d'ionisation TE et Mg/Ar qui serviront d'instruments de transfert de référence pour la prochaine comparaison internationale de mesures de kerma. Six chambres TE (Exradin, type T2) et quatre chambres Mg (Exradin, type MG2) ont été étudiées dans le faisceau de rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , en collaboration étroite avec le groupe de mesure de rayons X et  $\gamma$  du BIPM. Certaines chambres ont été étudiées aussi dans le

faisceau de neutrons (d+T). Les parois de deux des chambres TE ont été fabriquées au BIPM avec une épaisseur (2,5 mm et 4,0 mm, respectivement) différente de celle des chambres originales Exradin T2, dans le but d'améliorer leur stabilité à long terme.

#### D. Travaux envisagés de 1985 à 1987

1. Comparaisons internationales de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$

Pour la comparaison de la source SR144, on a prévu une revue du projet de rapport par les participants, puis la publication pendant cette période.

Pour la comparaison de la source intense, les résultats obtenus jusqu'à présent seront étudiés et l'on décidera si une nouvelle comparaison doit être entreprise avec une nouvelle source.

2. Comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

Étant donné que les comparaisons de  $^{115}\text{In}(n,n')$ , à 2,5 MeV et 5,0 MeV, et la comparaison Nb/Zr, à 14,8 MeV, sont terminées et leurs résultats publiés, l'accent sera mis sur l'achèvement de l'analyse de la comparaison  $^{115}\text{In}(n,\gamma)$  et la publication des résultats.

La comparaison utilisant les chambres à fission de  $^{235}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$  comme instruments de transfert continuera pendant cette période; l'analyse et la publication des résultats se feront ultérieurement.

On continuera à étudier la possibilité d'utiliser comme étalons de transfert une série limitée de feuilles irradiées qui seraient disponibles sur demande au BIPM pour des comparaisons internationales de mesures de débit de fluence.

3. Comparaisons de dosimétrie neutronique

La publication du rapport sur la comparaison de dosimétrie neutronique organisée par le NPL à 14,7 MeV est attendue dans les deux années à venir.

Onze laboratoires participeront à la comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM, pendant la période de 1985 à 1987. Si d'autres laboratoires s'y ajoutent, la comparaison continuera pendant la période suivante, de même que l'analyse des résultats.

Le programme futur de mesures neutroniques de la Section III prévoit des comparaisons de dose neutronique (commencée) et de fluence neutronique (à l'étude par un groupe de travail), dans lesquelles le BIPM jouera le rôle de point central et aura la responsabilité à long terme de la fourniture et de la maintenance des instruments de transfert,



ainsi que de leur stabilité à long terme. La Section III a fait, en rapport avec ces travaux, une recommandation soulignant l'importance d'un soutien continu au programme de mesures neutroniques du BIPM. C'est la Recommandation R(III)-1 (1985) qui apparaît dans le rapport de la Section III au CIPM.

Juillet 1985,  
révisé septembre 1985

E. AMBLER  
Président du CCEMRI

---

TABLEAU A

Résumé du programme de travail et des réalisations correspondantes

CCEMRI, 1983 à 1985

Programme de travail envisagé

Réalisations

Section I — Rayons X et  $\gamma$ , électrons

Poursuite du programme de comparaisons d'étalons de mesure d'exposition et de dose absorbée.

Neuf comparaisons ont eu lieu, dont trois ont été faites au BIPM. Les laboratoires de 14 pays y ont participé. L'accord était en général de 1 %.

Compilation des estimations des composantes des incertitudes pour les chambres à paroi d'air, les chambres à cavité en graphite et les calorimètres en graphite.

Étude terminée. La compilation comprend des estimations d'incertitudes pour 36 étalons de mesure. La plupart des incertitudes globales ( $1\sigma$ ) sont comprises entre 0,1 et 0,8 %.

Amélioration des facteurs de conversion permettant d'obtenir des grandeurs telles que la dose absorbée.

Des valeurs révisées de  $W$ , énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions dans l'air ( $W/e = 33,97$  J/C), et de  $g$ , fraction de l'énergie initiale d'un électron perdue par rayonnement, ont été calculées. Des calculs améliorés de spectres ont été faits.

Étude des conséquences de l'adoption de nouvelles grandeurs en radioprotection.

Des déterminations de facteurs de conversion ont été faites pour obtenir les nouvelles grandeurs ICRU dans des champs de photons. D'autres déterminations sont recommandées.

Étude des progrès dans l'établissement d'étalons pour les rayonnements à usage industriel.

Des services de mesure de routine existent maintenant ou sont en cours d'installation.

Section II — Mesure des radionucléides

Achèvement des comparaisons précédentes.

Rapport final sur la comparaison de  $^{137}\text{Cs}$  et version abrégée discutés et publiés.

Comparaison de  $^{133}\text{Ba}$  (restreinte et à grande échelle).

Travail expérimental terminé; projet de rapport final discuté. Dispersion totale: 1,7 %, écart-type: 0,36 %.

- Comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$ . Travail expérimental terminé ; résultats discutés. Dispersion totale : 1,7 %, écart-type : 0,5 %.
- Système international de référence. Programme à long terme ; actuellement 300 résultats de 45 radionucléides différents.

### Section III — Mesures neutroniques

- Comparaisons internationales de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$ . Pour la source de  $10^7 \text{ s}^{-1}$ , l'analyse est achevée. Revue en cours par les participants. Écart-type des résidus : 0,52 %.
- Pour la source de  $10^9 \text{ s}^{-1}$ , la comparaison est retardée à cause de problèmes de manipulation. Elle sera recommencée avec une nouvelle source ou abandonnée.
- Comparaisons de débits de fluence de neutrons rapides. Les comparaisons de  $^{115}\text{In}(n,n')$  à 2,5 et à 5,0 MeV sont terminées et publiées. Les corrections de diffusion à 14,8 MeV sont en cours d'analyse. À 2,5 MeV, les résultats sont en accord étant donné les domaines d'incertitudes qui sont de 1,5 à 2,7 %. À 5 MeV, les écarts sont inférieurs aux incertitudes qui sont de 2,4 à 2,7 %.
- La comparaison Nb/Zr à 14,8 MeV est terminée et publiée. La plupart des résultats s'accordent à 1,3 % près.
- La comparaison  $^{115}\text{In}(n,\gamma)$  à 144 et à 565 keV est terminée. L'analyse est en cours.
- La comparaison de débit de fluence avec des chambres à fission comme instruments de transfert est en cours.
- Comparaisons de dosimétrie neutronique. Comparaison organisée par le NPL à 14,7 MeV : analyse terminée. Les écarts-types des doses totales sont de 1 à 2 %.
- Début de la comparaison à long terme organisée par le BIPM avec des instruments de transfert.

TABLEAU B

**Programme des travaux du Laboratoire  
des Rayonnements Ionisants du BIPM**

Progrès accomplis de 1983 à 1985

Programme prévu de 1985 à 1987

**Section I — Rayons X et  $\gamma$ , électrons**

Comparaisons internationales d'éta-  
lons d'exposition (rayons X, 10 à  
50 kV et 100 à 250 kV ; rayonnement  $\gamma$   
du  $^{60}\text{Co}$ ).

Poursuite des comparaisons interna-  
tionales et des étalonnages en termes  
d'exposition, de kerma dans l'air et  
de dose absorbée.

Étalonnage d'instruments de référence  
nationaux en termes d'exposition et  
de dose absorbée.

Participation aux comparaisons inter-  
nationales de dose absorbée dans l'eau  
avec des dosimètres passifs.

Révision de la compilation des valeurs  
de  $W/e$ , énergie nécessaire pour pro-  
duire une paire d'ions dans l'air.

Détermination des facteurs nécessaires  
pour obtenir l'équivalent de dose  
ambient à partir de l'exposition et du  
kerma dans l'air, pour les qualités de  
rayonnement du système actuel.

Calcul de  $g$ , fraction d'énergie perdue  
par un électron par rayonnement de  
freinage.

Étude de la perturbation due à la  
présence d'une chambre à cavité en  
graphite dans un fantôme d'eau.

Détermination expérimentale de la  
dose absorbée dans l'eau dans un  
fantôme d'eau et achèvement de la  
détermination de la correction de  
perturbation.

Détermination expérimentale de rap-  
ports ( $C_x$ ) de la dose absorbée aux  
facteurs d'étalonnage en exposition.

Poursuite de la détermination expé-  
rimentale de rapports ( $C_x$ ) de la dose  
absorbée aux facteurs d'étalonnage en  
exposition.

Collaboration avec le groupe de me-  
sures neutroniques pour étudier des  
chambres d'ionisation de référence.

Poursuite de la collaboration avec le  
groupe de mesures neutroniques pour  
étudier les caractéristiques des  
chambres d'ionisation de référence.

**Section II — Mesure des radionucléides**

Organisation de comparaisons inter-  
nationales et participation :  $^{133}\text{Ba}$   
(comparaisons restreinte et à grande  
échelle), analyse.

Organisation de comparaisons inter-  
nationales de radionucléides avec les  
laboratoires nationaux.

Préparation et distribution de sources solides étalonnées.

Construction d'un convertisseur rapide pour mesures d'activité par la méthode d'échantillonnage sélectif.

Nouveaux résultats obtenus avec le Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$  (SIR).

Poursuite d'études particulières de statistiques de comptage.

Installation d'un système de spectrométrie gamma à Ge(Li).

Mesure de l'énergie des particules  $\alpha$  émises par le  $^{236}\text{Pu}$  et emploi d'une nouvelle méthode de détection.

Préparation et fourniture de sources solides étalonnées.

Construction d'un compteur proportionnel à pression. Installation d'un second ensemble à coïncidences  $4\pi\beta\gamma$ .

Poursuite de la mesure par le SIR des échantillons fournis par les laboratoires nationaux.

Corrections de mesures d'activité dues à un premier temps mort et évaluation des perturbations que peut produire ce temps mort.

Mesures d'activité reliées aux mesures neutroniques. Mesures d'impuretés radionucléidiques.

Mesures d'énergie des particules  $\alpha$  émises par le  $^{227}\text{Ac}$  et le  $^{231}\text{Pa}$ .

### Section III — Mesures neutroniques

Détermination de la contribution de neutrons diffusés par le support de cible dans la comparaison de débit de fluence de neutrons à 14,8 MeV par la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')$ .

Participation à la comparaison de mesures de débit de fluence à 14,65 MeV avec des chambres de transfert à fission.

Étalonnage du faisceau de neutrons (d+T) du BIPM en kerma dans le tissu, dans l'air, par la méthode de fluence et la méthode de chambre d'ionisation. Accord à 0,8 % près.

Étude de chambres d'ionisation Mg/Ar et de chambres à parois équivalentes au tissu pour servir de références et d'instruments de transfert pour la comparaison de dosimétrie neutronique à long terme organisée par le BIPM. Mesures faites dans le faisceau de rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  et dans le faisceau de neutrons (d+T) du BIPM.

Maintien et développement d'étalons de référence pour étalonnages : bain de sulfate de manganèse pour sources de neutrons, faisceaux de neutrons de 2,5 et 14,65 MeV de fluence connue, chambres d'ionisation TE pour étalonnage de dose neutronique.

Fourniture des instruments de dosimétrie neutronique et organisation de la comparaison BIPM à long terme qui vient de commencer. L'ensemble des instruments comprend deux chambres d'ionisation TE, une chambre d'ionisation Mg/Ar et un compteur GM particulièrement peu sensible aux neutrons.

Établissement d'étalons de transfert pour comparaisons internationales : source Ra-Be( $\alpha,n$ ) du BIPM, irradiation de feuilles telles que Nb/Zr et  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$ , et instrument du type sphère modératrice.



**Section I — Rayons X et  $\gamma$ , électrons**

8<sup>e</sup> réunion (avril 1985)

---

ORDRE DU JOUR  
de la 8<sup>e</sup> réunion

---

1. Travaux récents effectués au BIPM.
  2. Travaux futurs à effectuer au BIPM.
  3. Comparaison d'étalons de mesure (exposition, dose absorbée et dosimétrie chimique Fricke).
  4. Constantes physiques utilisées dans les mesures de rayonnement.
  5. Grandeurs et unités dans le domaine de la protection contre les rayonnements.
  6. Rapport du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes.
  7. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel.
  8. Rapports d'activité des laboratoires.
  9. Rapport de l'AIEA.
  10. Publicité.
-



---

RAPPORT  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par S. C. ELLIS, rapporteur

---

**Résumé.** La Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants a tenu sa huitième réunion en avril 1985. Les travaux récents effectués au BIPM ont été examinés et des recommandations ont été faites au sujet des travaux futurs. Les résultats de comparaisons d'étalons nationaux effectuées au BIPM ou entre les laboratoires ont été discutés. Il a été convenu d'adopter un ensemble de valeurs révisées et cohérentes pour les rapports des pouvoirs de ralentissement et les facteurs associés qui sont utilisés dans la réalisation des grandeurs de rayonnement. On a reconnu la nécessité de rattacher aux étalons actuels les nouvelles grandeurs d'équivalent de dose de l'ICRU et on a défini les qualités de rayonnement pour lesquelles le besoin d'accord sur les facteurs de conversion est le plus urgent. On a présenté les résultats d'une étude, mise en route au cours de la septième réunion de la Section I, sur l'estimation des incertitudes pour les étalons primaires des laboratoires nationaux. Des rapports d'activité en provenance de divers laboratoires décrivent les installations nouvelles, les services et les programmes de recherche. Trois recommandations officielles ont été adoptées.

La Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons)\* du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) a tenu sa huitième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 15, 16 et 17 avril 1985.

Étaient présents :

W. H. HENRY, président de la Section I, Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa.

Les délégués des laboratoires membres :

Australian Radiation Laboratory [ARL], Yallambie (N. J. HAR-  
GRAVE).

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire de Métrologie  
des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay (M. CANCE).

---

\* Pour la liste des membres, voir p. VII.

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa  
(W. H. HENRY).

International Commission on Radiation Units and Measurements  
[ICRU], Bethesda (H. O. WYCKOFF).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. LOEVINGER).

National Institute of Radiation Protection [NIRP], Stockholm  
(L. LINDBORG).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (S. C. ELLIS).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (K. ZSDÁNSZKY).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig  
(K. HOHLFELD).

Polski Komitet Normalizacji i Miar [PKNM], Varsovie  
(Z. REFEROWSKI).

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne [RIVM],  
Bilthoven (A. H. L. AALBERS).

Membres nominativement désignés :

A. ALLISY, Conservatoire National des Arts et Métiers [CNAM],  
Paris.

A. BROSED, Junta de Energía Nuclear [JEN], Madrid.

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invité :

Agence Internationale de l'Énergie Atomique [AIEA], Vienne  
(H. H. EISENLOHR).

Assistaient aussi à la réunion : J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM  
(un jour), A. RYTZ, J. W. MÜLLER, V. D. HUYNH, G. RATEL (BIPM),  
Mme M. BOUTILLON, Mlle M.-T. NIATEL, Mme A.-M. PERROCHE  
(en stage au BIPM). Mme D. MÜLLER (BIPM).

Excusés :

Electrotechnical Laboratory [ETL], Ibaraki.

Institut de Métrologie D. I. Mendéléév [IMM], Leningrad.

Absent :

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing.

Le directeur du BIPM\* souhaite la bienvenue aux participants, en particulier à ceux qui n'ont pas assisté aux réunions précédentes de la Section I : A. H. L. Aalbers et M. Cance qui représente J.-P. Simoen.

S. C. Ellis est nommé rapporteur.

Le projet d'ordre du jour est adopté avec quelques modifications mineures qui sont comprises dans le rapport.

---

\* Voir page R 103 la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport.

## 1. Travaux récents effectués au BIPM

L'étude de la stabilité des facteurs d'étalonnage pour le rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  de six chambres d'ionisation Exradin T2 à parois équivalentes au tissu (TE) a été poursuivie. Ces chambres sont destinées aux comparaisons qui seront organisées par le groupe de mesures neutroniques du BIPM. Bien qu'on ait observé des variations de la sensibilité d'environ 0,5 %, la réponse au rayonnement du  $^{60}\text{Co}$  est parfois stable à quelques millièmes près pendant des périodes de plusieurs mois. Des mesures similaires ont débuté avec quatre chambres à parois de magnésium.

Le facteur dénommé fréquemment  $C_\lambda$ , qui est utilisé pour calculer la dose absorbée dans l'eau, est d'une grande importance en dosimétrie médicale. Il a été mesuré pour une chambre Exradin T2 en étalonnant celle-ci dans le faisceau de rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , d'abord à l'air libre pour l'exposition, puis dans un fantôme d'eau pour la dose absorbée. La dose absorbée dans le fantôme d'eau du BIPM est déduite de la dose absorbée mesurée dans le graphite (*voir* Rapport BIPM-81/2). Malheureusement, les valeurs de  $C_\lambda$  obtenues à des dates différentes à partir de deux séries de mesures varient de plus de 1 % ; ceci est dû en grande partie à un manque de stabilité à long terme de la réponse de la chambre Exradin quand elle est utilisée dans un fantôme d'eau. On recherche la cause exacte de cette instabilité et les moyens d'y remédier.

On a effectué des étalonnages d'étalons secondaires (*voir* points 2 et 3) et des comparaisons d'étalons d'exposition. Dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne, un écart constaté au cours d'une comparaison indirecte effectuée avec l'ISS au moyen d'un instrument de transfert a conduit à améliorer la mesure de l'aire du diaphragme de l'ISS. Une chambre à cavité en graphite, construite par le LMRI, a servi d'instrument de transfert dans une comparaison indirecte de l'étalon de ce laboratoire avec celui du BIPM. L'accord est meilleur que 0,5 %. Comme le volume et les facteurs de correction ont été déterminés pour la chambre du LMRI, on peut traiter cet instrument comme un étalon primaire d'exposition. Dans ce cas, l'écart par rapport à l'étalon du BIPM est inférieur à 0,1 %. Une chambre similaire, construite par le LMRI pour le NIM, a été étalonnée au BIPM et devrait permettre par la suite de faire une comparaison indirecte entre les étalons du NIM et du BIPM.

Le BIPM a revu la compilation de l'ICRU (Rapport 31, 1979) concernant les déterminations expérimentales de  $W$ , énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions dans l'air (*voir* 85-8)\*. Dans

---

\* L'Annexe R(I) 1 donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 85-1, 85-2, etc.

la plupart des cas, la valeur de  $W$  est déduite de la mesure du produit  $W.s$  ( $s$ , rapport de pouvoirs de ralentissement). Les valeurs des pouvoirs de ralentissement publiées récemment entraînent un changement de la valeur de  $W$  déduite de ces mesures. La réévaluation du BIPM utilise les données les plus récentes, y compris celles des coefficients d'absorption d'énergie, et tient compte de la distribution spectrale de la fluence énergétique des photons atteignant le détecteur. La nouvelle compilation comprend aussi la détermination de  $W$  faite au BIPM, qui a été discutée lors de la septième réunion de la Section I puis publiée (85-5), ainsi qu'une autre mesure récente. La valeur moyenne pondérée de  $W/e$  obtenue pour l'air sec est  $(33,97 \pm 0,06) \text{ J C}^{-1}$ .

On a commencé une étude théorique préparatoire à la mesure de la dose absorbée dans l'eau au moyen d'une chambre à cavité en graphite placée dans un fantôme d'eau. La perturbation due à la présence de la cavité et des parois en graphite a été calculée en utilisant une analyse semblable à celle de Mme Boutillon (*Phys. Med. Biol.*, **28**, 1983, p. 375). Une première estimation donne 1,003 pour la valeur du facteur de correction pour la perturbation.

Des valeurs de  $g$ , fraction de l'énergie initiale d'un électron qui est perdue par rayonnement de freinage, ont été calculées (85-18) à partir des nouvelles tables de pouvoirs de ralentissement (ICRU, Rapport 37, 1984). La valeur de  $g$  dans l'air est utilisée pour déduire le kerma dans l'air, de l'exposition.

## 2. Travaux futurs à effectuer au BIPM

La Section I a discuté des besoins à venir dans tous les domaines de mesure de rayonnements de photons et d'électrons. La possibilité pour les laboratoires nationaux de comparer à une référence centrale leurs étalons primaires pour les grandeurs de base dans les champs de photons et d'électrons est considérée comme étant de loin le moyen le plus efficace pour maintenir un système de mesure international valable. La Section I recommande donc instamment que les services nécessaires continuent à être disponibles au BIPM. Ceci exige le maintien de champs de rayonnement de référence appropriés, des étalons de mesure et d'un personnel suffisant en qualité et en nombre pour faire fonctionner et développer ce système essentiel.

On a également souligné la décision prise par un certain nombre de pays de maintenir leurs étalons nationaux pour la mesure du rayonnement en étalonnant leurs étalons secondaires au BIPM. Afin d'aider le laboratoire de dosimétrie de l'AIEA à mettre en œuvre son programme de contrôle des étalons secondaires du réseau SSDL de l'AIEA/OMS, il est convenu que le dosimètre de l'AIEA sera étalonné régulièrement au BIPM. Ainsi sera établi un lien plus direct et continu avec le système

de mesure international, ce qui permettra de faire face aux besoins croissants des pays en voie de développement dans le domaine des mesures de rayonnement.

Les recommandations de la Section I concernant les domaines d'activité mentionnés ci-dessus sont contenues dans la Recommandation R(I)-1 (1985) (voir p. R 51). Le programme des travaux futurs à effectuer au BIPM se trouve à l'Annexe R(I) 2.

L'étude du développement des applications des rayonnements ionisants et des besoins futurs de mesures a conduit à discuter divers sujets. En radiothérapie, on a noté de très grands progrès dans les techniques de l'imagerie. On pense que de nouvelles améliorations de l'exactitude avec laquelle une dose peut être délivrée à une tumeur seront nécessaires pour exploiter pleinement les informations plus précises obtenues grâce à ces techniques d'imagerie perfectionnées. La Section I considère que ceci justifie la poursuite des comparaisons de dose absorbée et des études destinées à améliorer les méthodes utilisées pour déduire la dose absorbée d'autres grandeurs.

En ce qui concerne la protection contre les rayonnements, la publication par l'ICRU du Rapport 39 (1985) a fourni de nouvelles définitions des équivalents de dose. Ces grandeurs doivent être mesurées pour se conformer au système de limitation de dose de l'ICRP (ICRP Publication 26 ; *Annals*, **1** (3), 1977 ; **2** (1), 1978 ; et **4** (3/4), 1980). L'évaluation de facteurs de conversion permettant de déduire ces nouvelles grandeurs équivalents de dose de l'exposition et du kerma dans l'air sera une tâche urgente et importante. Ce sujet, qui est repris au point 5, a conduit à demander au BIPM de déterminer les facteurs nécessaires pour obtenir l'équivalent de dose ambiant pour les qualités de rayonnement disponibles au BIPM.

### 3. Comparaison d'étalons

La liste des comparaisons d'étalons d'exposition et de kerma dans l'air effectuées récemment par les laboratoires nationaux est donnée dans le tableau 1.

Le rapport final sur la comparaison internationale des mesures de faibles débits de kerma dans l'air faites dans douze laboratoires pour les faisceaux de rayonnement de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{241}\text{Am}$  a été publié (*Rad. Prot. Dosimetry*, **6**, 1984, p. 261). Les dosimètres thermoluminescents au fluorure de lithium étaient lus à Linköping University pour le compte du NIRP ; on comparait ainsi des irradiations effectuées dans un domaine de débits de kerma de  $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$  à  $10 \text{mGy h}^{-1}$ . Les résultats montrent que cette méthode permet de comparer un grand nombre de laboratoires utilisant une dose de quelques centaines de micrograys seulement. La technique de lecture utilisée ici a donné, pour

TABLEAU I

*Comparaisons d'étalons d'exposition ou de kerma*

Laboratoires participants	Date	Document CCEMRI(I)/	Qualité de rayonnement	Domaine
BIPM-ISS	1983		100 à 250 kV	Thérapie
NIRH-NIRP-IRP-SISN	1984	85-16	50 à 180 kV <sup>60</sup> Co	Thérapie
OMH-UDZCAV	1984	85-12	<sup>60</sup> Co	Thérapie
BIPM-LMRI	1984	85-19	<sup>60</sup> Co	Thérapie
BIPM-ISS	1985		10 à 50 kV	Thérapie
OMH-BEV/ÖFZS	1985	85-12	150 kV	Protection

quatre dosimètres ayant subi la même irradiation, des écarts-types relatifs généralement inférieurs à 1 %. La non-équivalence à l'air du dosimètre LiF se manifeste en comparant les rapports des réponses normalisées <sup>60</sup>Co/<sup>241</sup>Am. On a aussi constaté des incertitudes dans l'application des corrections de « fading » déterminées expérimentalement.

Le RIVM a participé à la septième comparaison internationale de dosimètres intégrateurs pour la surveillance de l'environnement. Le travail expérimental est terminé et l'analyse des résultats est en cours (85-7).

On a constaté que de nombreuses années se sont écoulées depuis que certains étalons nationaux d'exposition ont été comparés aux étalons du BIPM. Il n'est pas question d'organiser de telles comparaisons à des intervalles de temps fixes, mais le laps de temps entre deux comparaisons ne devrait pas s'étendre indéfiniment. Il est convenu qu'on devrait envisager une nouvelle comparaison aux étalons du BIPM des étalons d'exposition qui ont été comparés depuis plus de cinq ans, la date des mesures étant à fixer d'un commun accord.

Aucune comparaison directe d'étalons de dose absorbée n'a eu lieu au BIPM pendant les deux dernières années. Il est apparu clairement au cours de la discussion qu'il est souhaitable d'organiser au BIPM une nouvelle série de mesures de dose absorbée avec les calorimètres en service dans les laboratoires nationaux. Dans les cas où une mesure directe présente des problèmes, on pourrait apporter au BIPM un instrument de transfert qui serait comparé dans le fantôme d'eau irradié par le rayonnement  $\gamma$  du <sup>60</sup>Co. Le laboratoire du BIPM confirme que ses installations sont toujours disponibles.

Deux comparaisons de dosimètres chimiques Fricke ont eu lieu par voie postale entre des laboratoires nationaux. Dans les deux cas, il s'agissait d'une comparaison de dose absorbée dans l'eau pour le

rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , dans le domaine de la thérapie. Dans le premier cas, les dosimètres Fricke du NPL ont été expédiés à l'AAEC et irradiés dans un fantôme d'eau, à une profondeur de 50 mm. La dose absorbée dans l'eau ( $D_w$ ) était donnée par l'AAEC au moyen d'une chambre d'ionisation en graphite qui était comparée au calorimètre de graphite du même laboratoire. L'incertitude totale de l'estimation de  $D_w$  par l'AAEC était 0,5 % ( $1\sigma$ ). On a obtenu pour le rapport des doses absorbées NPL/AAEC  $1,012 \pm 0,001$  quand la dose Fricke était évaluée à partir d'un étalonnage en exposition avec  $C_\lambda = 0,95$ . Si l'on utilise la valeur de Svensson et Brahme (*Acta Radiol.*, **18**, 1979, p. 326),  $G \cdot \varepsilon = 352 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ Gy}^{-1}$ , pour déterminer  $D_w$  directement, le rapport NPL/AAEC devient 1,002 (85-21). La seconde comparaison, organisée entre le NPL et le NRC, concernait des dosimètres expédiés par le NPL et mesurés au NPL et au NRC. On y avait aussi inclus des dosimètres Fricke préparés et mesurés par le NRC. Ceci a permis de comparer les valeurs de  $D_w$  basées sur le calorimètre de graphite du NRC, sur le système Fricke du NRC et sur celui du NPL. On a trouvé 1,010 pour le rapport des doses absorbées NPL/NRC. L'incertitude aléatoire observée pour la mesure d'un dosimètre Fricke dans les deux comparaisons mentionnées ci-dessus était inférieure à 0,3 % ( $1\sigma$ ) (85-20). Il faut noter que la valeur de  $D_w$  obtenue avec les dosimètres Fricke en utilisant l'exposition et  $C_\lambda$ , valeur qui est supérieure d'environ 1 % à la valeur de  $D_w$  basée sur la calorimétrie dans le graphite, est très proche de la valeur trouvée lors d'une comparaison internationale effectuée précédemment au BIPM (81-18).

Lors de la discussion du transfert de mesures de dose absorbée au moyen de dosimètres passifs expédiés par voie postale, pour une comparaison bilatérale ou pour un service de référence, on a jugé souhaitable d'expédier, dans tous les cas, un échantillon au BIPM pour irradiation. Le BIPM est prêt à remplir cette tâche en irradiant les échantillons en un point de référence de son fantôme pour des doses absorbées pouvant aller jusqu'à 200 Gy. À cette fin, la Section I approuve formellement la Recommandation R(I)-3 (1985) (p. R 52).

#### 4. Constantes physiques pour les étalons de mesure de rayonnement

À sa septième réunion, la Section I avait étudié les effets d'un changement des rapports de pouvoirs de ralentissement sur la détermination de l'exposition et de la dose absorbée. À cette époque, on avait estimé que la valeur de l'exposition déterminée au moyen de l'étalon du BIPM (une chambre à cavité en carbone), dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ , décroîtrait d'environ 0,75 % si l'on utilisait les données du projet de rapport ICRU sur les pouvoirs de ralentissement. Une diminution de rapport ICRU sur les pouvoirs de ralentissement. Une diminution du même ordre s'appliquerait aux étalons d'exposition des laboratoires

nationaux. À cette même réunion, on avait discuté aussi quelle serait l'incidence des nouveaux rapports de pouvoirs de ralentissement sur la valeur de  $W$  obtenue à partir de mesures antérieures. On avait alors décidé de reporter toute décision concernant un changement des étalons primaires, au moins jusqu'à la publication du rapport ICRU.

Un document (85-8) présenté par le BIPM à la présente réunion reconsidère les valeurs de  $W$  compilées par l'ICRU dans son Rapport 31 (1979). La plupart des déterminations de  $W$  sont basées sur des mesures du produit  $W \cdot \bar{s}_{m,a}$ , où  $\bar{s}_{m,a}$  est le rapport moyen des pouvoirs de ralentissement restreints du matériau et de l'air. Les réévaluations faites par le BIPM utilisent les nouvelles valeurs des pouvoirs de ralentissement de l'ICRU (Rapport 37, 1984) et tiennent compte des modifications apportées aux spectres par les photons diffusés. De plus, on y a inclus deux déterminations récentes, dont une faite par le BIPM (85-5). La valeur moyenne pondérée de  $W/e$  obtenue pour l'air sec est  $(33,97 \pm 0,06) \text{ J C}^{-1}$ .

Il est rappelé que cette nouvelle valeur de  $W$  et les nouveaux pouvoirs de ralentissement constituent un ensemble cohérent. Ceci veut dire que si l'on adopte une valeur, il faut aussi adopter l'autre, étant donné le lien qui les unit par l'intermédiaire du produit  $W \cdot \bar{s}_{m,a}$ .

La Section I note qu'on dispose donc de nouvelles valeurs pour les constantes suivantes :

1. Pouvoirs de ralentissement pour les électrons (ICRU, Rapport 37, 1984),
2.  $W/e$  (mentionné ci-dessus, et 85-8),
3.  $(1 - g)$  (85-18),
4. Coefficients d'absorption d'énergie (Hubbell, *Int. J. Appl. Rad. and Isotopes*, 33, 1982, p. 1269).

Considérant que les étalons d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée doivent reposer sur les meilleures valeurs admises pour les constantes physiques, la Section I recommande l'emploi des valeurs importantes mentionnées ci-dessus dans le système actuel des étalons de mesure de rayonnement à partir de 1986-01-01. De plus, on pense que, bien que les changements dans le domaine des étalons doivent être aussi peu fréquents que possible, d'autres ajustements devront être considérés, dans la mesure où la précision des valeurs des constantes physiques continuera de s'améliorer.

## 5. Grandeurs utilisées en radioprotection

Les nouvelles grandeurs d'équivalent de dose recommandées par l'ICRU (Rapport 39, 1985) pour la détermination pratique de l'équivalent de dose à partir de sources de rayonnement externes ont été discutées. Ces grandeurs sont destinées à fournir pour tous les types de rayonnement



un système de mesure unifié et cohérent qui permettra d'exprimer l'exposition des individus au rayonnement dans les mêmes termes que ceux qu'emploie l'ICRP dans son système de limitation de dose.

On pense que la détermination de l'équivalent de dose ambiant  $H^*(d)$  à partir des étalons existants d'exposition et de kerma dans l'air est en pratique la méthode normale de rattachement dans le cas des photons. Afin d'unifier les mesures de protection dans le monde, il est important de s'accorder sur les valeurs des facteurs à utiliser pour cette conversion. Les méthodes théoriques, ainsi que les déterminations expérimentales directes, semblent appropriées et l'on a discuté les qualités de rayonnement pour lesquelles l'estimation de ces facteurs est la plus urgente. Par exemple, une étude faite à la PTB compare les résultats d'un certain nombre de calculs de Monte-Carlo et en déduit l'équivalent de dose ambiant pour des qualités de rayons X définies (B. Grosswendt, K. Hohlfeld, H. M. Kramer and H.-J. Selbach, Konversionsfaktor für die ICRU-Äquivalentdosisgrößen zur Kalibrierung von Strahlenschutzdosimetern, *PTB-Bericht DOS-11*, 1985, Braunschweig, ISSN 0172-7095).

Cette discussion a conduit à recommander que le BIPM entreprenne la détermination des facteurs de conversion nécessaires pour les qualités de rayonnements X du système actuel (Recommandation R(I)-2 (1985), p. R 52).

## 6. Comparaison des estimations des incertitudes

Des rapports ont été établis par les laboratoires coordonnateurs à la suite d'enquêtes concernant les estimations des incertitudes des étalons primaires des laboratoires nationaux. Ce travail faisait suite à une proposition (83-6) faite par la Section I à la réunion de 1983, p. R(I) 33.

Les données concernant les chambres d'ionisation à parois d'air ont été présentées par l'ARL (85-1), groupées selon deux domaines d'énergie de rayons X. Dix laboratoires ont fourni des informations sur des étalons utilisés dans un domaine de rayons X inférieur à 50 kV. Les incertitudes sont exprimées conformément à la recommandation du CIPM : type A et type B, un écart-type. Quelques différences significatives apparaissent dans les composantes individuelles et l'incertitude totale combinée varie de 0,12 à 0,42 % pour neuf laboratoires ; un laboratoire indique une valeur de 0,06 %. Les données pour les chambres à parois d'air utilisées dans le domaine de 50 à 300 kV montrent des variations du même ordre pour quelques composantes, avec une incertitude totale comprise entre 0,08 et 0,32 %.

Les données relatives aux chambres d'ionisation à cavité, en provenance de 13 laboratoires, sont présentées par le NBS (85-10a) selon un schéma analogue. On a observé des différences significatives dans les estimations des composantes individuelles, mais les valeurs totales combinées sont plus cohérentes et varient de 0,24 à 0,8 %.

Les données se rapportant aux calorimètres en graphite pour la mesure de la dose absorbée sont résumées par la PTB. Quatre laboratoires ont fourni des estimations des incertitudes ; il y avait trois types de calorimètres différents. Les valeurs de l'incertitude totale combinée se situent entre 0,23 et 0,34 % et on a constaté pour la composante du type A des valeurs très différentes selon le débit de dose mesuré par le calorimètre.

La possibilité de comparer les estimations des incertitudes présentées de manière uniforme a été jugée utile, mais il n'a pas semblé nécessaire de refaire une compilation des incertitudes pour permettre une révision des résultats.

## 7. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel

La discussion des besoins, en matière de dosimétrie, des installations industrielles qui utilisent des doses élevées pour traiter les fournitures médicales, les denrées alimentaires, etc., a fait apparaître l'existence d'une prise de conscience croissante des avantages d'un système de mesure cohérent pour répondre aux exigences des réglementations et du commerce international.

Pour les traitements qui utilisent le rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , l'AIEA a l'intention de mettre en œuvre en 1985 un service garantissant les mesures de ses états membres (*voir* point 9). Le NPL indique que, outre la fourniture d'irradiations dans les domaines de débit de doses élevées pour étalonner les systèmes de dosimétrie des utilisateurs, un service de référence de routine basé sur des dosimètres chimiques au bichromate est disponible dans le domaine de 10 à 40 kGy.

Dans le cas des rayonnements industriels utilisant les faisceaux d'électrons d'énergie élevée, l'AIEA va mettre en route un programme de recherche coordonné, afin de vérifier la qualité des systèmes dosimétriques destinés au futur service qui sera analogue à celui du  $^{60}\text{Co}$ . Trois laboratoires (NBS, Danish National Laboratory Risø et NPL) collaborent à la mise au point et à la comparaison d'étalons calorimétriques pour les faisceaux d'électrons.

Étant donné les tâches confiées actuellement au BIPM, la Section I ne juge pas nécessaire de recommander d'y installer pour le moment des champs de rayonnement pour des débits de dose très élevés. Le rattachement au système international des étalons en service (étalons de dose absorbée) devrait se faire par l'intermédiaire de dosimètres utilisables dans un domaine suffisamment étendu. Il est convenu que le BIPM, même en l'absence de source à débit très élevé, participera de son mieux à l'établissement d'un système de mesure cohérent dans le domaine des débits de dose élevés.

Une comparaison de mesures de dose absorbée dans l'eau a eu lieu entre le NBS et le NPL pour des doses élevées de rayonnement de

<sup>60</sup>Co. Des dosimètres du NPL (dosimètres Fricke et dosimètres chimiques au bichromate) ont servi d'instruments de transfert. L'accord, à mieux que 1 % près, est jugé très satisfaisant (85-23).

## 8. Rapports d'activité des laboratoires

De nombreux documents décrivent les progrès accomplis depuis la septième réunion de la Section I, en 1983, dans le domaine des étalons, des installations, des services et de la recherche.

Deux laboratoires (RIVM et ARL) signalent l'introduction dans les centres secondaires de types normalisés d'installations d'irradiation pour étalonner les instruments utilisés en protection. Les faisceaux collimatés produits par les sources de rayonnement gamma doivent être étalonnés par le laboratoire national au moyen d'étalons de transfert.

Le NBS a fait un rapport sur les progrès réalisés dans la mise au point d'un calorimètre à eau et graphite, dans lequel l'élévation de température est mesurée dans une plaque de graphite immergée dans un fantôme d'eau. Moyennant une extrapolation à une épaisseur nulle de graphite, ce calorimètre devrait constituer un étalon de dose absorbée dans l'eau sans les incertitudes liées au défaut de chaleur dans l'eau.

Le LMRI a présenté les caractéristiques d'un calorimètre du type Domen construit en plastique Shonka équivalent au tissu. Ce calorimètre, conçu pour la dosimétrie neutronique, a une excellente reproductibilité quand il est utilisé dans un faisceau de photons.

## 9. Rapport de l'AIEA

L'AIEA et l'OMS continuent d'assurer conjointement le service de dosimétrie par voie postale pour la radiothérapie. Des résultats analysés récemment font apparaître une corrélation entre l'accroissement de l'exactitude des mesures dans une institution et la fréquence de sa participation au service. On indique que 90 % est un objectif réaliste pour la proportion des hôpitaux s'écartant de la référence AIEA de moins de 5 %.

Le réseau SSDL de l'AIEA/OMS compte actuellement une cinquantaine de membres. Un comité consultatif s'est réuni à l'AIEA en novembre 1984 pour discuter la situation actuelle et future du réseau. Deux des principales recommandations contenues dans le rapport final de la réunion sont importantes pour le BIPM. L'une recommande que les étalons du laboratoire de dosimétrie de l'AIEA soient étalonnés au BIPM. L'autre recommande la constitution d'un comité scientifique pour examiner périodiquement les travaux des SSDL et émettre un avis scientifique. Le comité scientifique comprendra un expert du BIPM.

Des travaux sont en cours pour la mise en œuvre d'un service de

routine fonctionnant par voie postale pour la mesure de débits de dose élevés dans les installations d'irradiations industrielles. Le système de dosimètres qui sera utilisé est basé sur la mesure de la résonance de spin des électrons de radicaux libres formés dans l'alanine. Une expérience préliminaire faite avec 15 participants a confirmé la validité du système.

## 10. Publicité

Deux articles décrivant les activités de la Section I ont été publiés récemment dans des revues scientifiques. L'un (85-2), préparé par le président, est un compte rendu de la septième réunion de la section. L'autre (85-6), par W.A. Jennings *et al.*, résume les activités dans les trois domaines d'étalons de mesure, pour les photons, la radioactivité et les neutrons, et donne un bref aperçu sur les tendances dans ces domaines. Un autre travail, présenté par le président à l'Inter American Meeting of Medical Physics en juillet 1984, résume les travaux de la Section I. La section souhaite que ses membres continuent de fournir des informations de ce genre aux revues et organisations appropriées.

## 11. Résumé des principales conclusions

1. On considère qu'il est essentiel de maintenir au BIPM des champs de référence de rayonnement et des étalons, ainsi que le personnel adéquat, pour faire face aux besoins futurs d'un système de mesure international dans le domaine des rayonnements ionisants.
2. Afin de mettre en pratique les nouvelles grandeurs d'équivalent de dose de l'ICRU relatives à la protection contre les rayonnements, les facteurs de conversion permettant de déduire ces nouvelles grandeurs de l'exposition et du kerma dans l'air doivent être déterminés pour les qualités de rayonnement appropriées. Le BIPM entreprendra ce travail pour les qualités de rayonnements du système existant.
3. Il est convenu que les laboratoires nationaux doivent adopter les valeurs révisées recommandées pour les constantes physiques nécessaires à la réalisation des étalons d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée.
4. Il est recommandé que les laboratoires nationaux et les organisations internationales qui assurent des services de référence au moyen de dosimètres passifs envoient un échantillon de chaque lot au BIPM pour irradiation.
5. La prochaine réunion de la Section I aura lieu au printemps de 1987.

Juin 1985, révisé septembre 1985

**Recommandations**  
**de la Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) du CCEMRI**  
**présentées**  
**au Comité International des Poids et Mesures**

Maintien et développement des étalons de rayonnements ionisants du  
BIPM

RECOMMANDATION R(I)-1 (1985)

*Considérant*

— que l'établissement d'étalons de mesure pour les rayons X et  $\gamma$ , et les électrons, et leur comparaison aux étalons nationaux primaires, constituent une tâche fondamentale du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), conforme aux directives de la Conférence Générale des Poids et Mesures,

— que certains pays membres de la Convention du Mètre, fondant leur décision sur la possibilité de rattacher directement leurs étalons aux étalons primaires du BIPM, ont délibérément choisi d'établir et de conserver comme étalons nationaux des étalons secondaires,

— que le réseau international Agence Internationale de l'Énergie Atomique/Organisation Mondiale de la Santé (AIEA/OMS) de laboratoires dotés d'étalons secondaires, comprenant un grand nombre de pays qui développent leurs moyens de mesure dans le domaine des rayonnements ionisants, est rattaché directement aux étalons du BIPM,

— que les étalons d'exposition, de kerma et de dose absorbée établis au BIPM sont d'un intérêt métrologique considérable parce qu'ils sont les seuls à avoir été comparés directement avec la plupart des étalons nationaux primaires,

*et tenant compte*

— de l'importance croissante des problèmes de santé et de protection des personnes, et de l'introduction dans la législation de nombreux pays de textes officiels s'y rapportant,

la Section I *recommande*

— que le système d'étalons de rayonnements ionisants mis en place au BIPM soit maintenu et développé pour répondre à ces besoins,

— que le BIPM soit doté du personnel nécessaire à l'accomplissement de ces tâches.

Extension des responsabilités du BIPM à la mesure de l'équivalent de dose ambiant (rayons X et  $\gamma$ )

RECOMMANDATION R(I)-2 (1985)

*Considérant*

— que l'International Commission on Radiation Units and Measurements a recommandé l'emploi de nouvelles grandeurs dans le domaine de la protection contre les rayonnements (ICRU 39),

— qu'une plus grande exactitude des mesures sera nécessaire à l'avenir dans le domaine de la protection, et

— que le rattachement de ces mesures au seul système international d'étalons d'exposition et de kerma dans l'air, celui du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), est nécessaire pour assurer l'uniformité sur le plan mondial,

la Section I *recommande*

— que le BIPM détermine les facteurs nécessaires pour obtenir l'équivalent de dose ambiant à partir de l'exposition et du kerma dans l'air pour les qualités de rayonnements de référence du système actuel.

Rattachement aux étalons du BIPM des comparaisons de dose absorbée dans l'eau

RECOMMANDATION R(I)-3 (1985)

*Considérant* la nécessité d'assurer l'uniformité des mesures de dose absorbée dans l'eau, en les rattachant au seul système international de référence, celui du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM),

la Section I *recommande*

— que les laboratoires nationaux et internationaux, lorsqu'ils organisent des distributions de dosimètres passifs (par exemple Fricke ou thermoluminescents), envoient aussi au BIPM un échantillonnage de ces dosimètres à irradier dans le fantôme d'eau du BIPM, en un point de référence où la dose absorbée est connue,

— que les laboratoires communiquent au BIPM la valeur mesurée de la dose absorbée délivrée dans le fantôme du BIPM et que la Section I du CCEMRI discute ensuite de l'ensemble des résultats.

Cette pratique est mise en place pour des doses absorbées jusqu'à 200 grays ; elle ne doit pas remplacer les comparaisons de haute précision d'étalons de dose absorbée effectuées soit par comparaison directe de ces étalons, soit à l'aide de chambres d'ionisation de transfert.

---

## ANNEXE R(I) 1

---

### Documents de travail présentés à la 8<sup>e</sup> réunion de la Section I du CCEMRI

---

Ces documents de travail peuvent être obtenus sur demande adressée au BIPM.

Document  
CCEMRI(I)/

- 85-0 Notes regarding forthcoming meeting of Section I, by W. H. Henry, Chairman, Section I, 2 pages.
- 85-1 ARL (Australie). — Working group on uncertainties, Free air ionisation chamber, by N. J. Hargrave, 26 pages.
- 85-2 NRC (Canada). — Report from the Consultative Committee on Standards for the Measurement of Ionizing Radiations (CCEMRI), Section I, X-rays, gamma rays and electrons, by W. H. Henry, *Phys. Med. Biol.* **29**, 1984, pp. 1443-1446.
- 85-3 NRC (Canada). — The effect of various dissolved gases on the heat defect of water, by C. K. Ross, N. V. Klassen, and G. D. Smith, *Med. Phys.* **11**, 1984, pp. 653-658.
- 85-4 AIEA. — The dosimetry programme of the IAEA, by H. H. Eisenlohr, 6 pages.
- 85-5 BIPM. — Two determinations of  $W$  for electrons in dry air, by M.-T. Niatel, A.-M. Perroche-Roux and M. Boutillon, *Phys. Med. Biol.* **30**, 1985, pp. 67-75.
- 85-6 NPL (Royaume-Uni). — The development of international measurement standards, by W. A. Jennings, D. Smith and E. J. Axton, *J. Soc. Radiol. Prot.* **4**, 1984, pp. 166-176.
- 85-7 RIVM (Pays-Bas). — Progress report, 1983-1985, on radiation sources, standards and related topics at the RIVM, by A. H. L. Aalbers, 4 pages.

Document  
CCEMRI(I)/

- 85-8 BIPM. — Effect of a change of stopping-power values on the  $W$  value recommended by ICRU for electrons in dry air, by M. Boutillon and A.-M. Perroche, draft, 8 pages.
- 85-9 NBS (États-Unis d'Amérique). — Progress Report, 1983-1985, on Standards, Facilities, and Services, 1 page.
- 85-10a NBS (États-Unis d'Amérique). — Summary of estimates of uncertainty for graphite-ionization-chamber standards, by R. Loevinger, 4 pages.
- 85-11 NRC (Canada). — Report from the National Research Council of Canada, by W. H. Henry, 2 pages.
- 85-12 OMH (Hongrie). — Progress report, 1983-1985, by K. Zsdánszky, 2 pages.
- 85-13 Linköping University (Suède). — International intercomparison of standards for low collision kerma rates in air by means of low dose TLD techniques, by P. Spanne, C. A. Carlsson and G. Alm Carlsson, *Rad. Prot. Dosimetry* 6, 1984, pp. 261-264.
- 85-14 NIRP (Suède). — Some experience with Pantak high voltage generators, by J.-E. Grindborg and L. Lindborg, 2 pages.
- 85-15 Sahlgren Hospital (Suède). — Comparison of water calorimetry and ionization chamber dosimetry in 100 and 200 kV X-ray beams, by O. Mattsson, draft, 8 pages.
- 85-16 NIRH (Danemark). — Calibration of ionization chambers at the Nordic SSDLs, by K. Ennow, draft, 8 pages.
- 85-17 RIVM (Pays-Bas). — The Protection Level Gamma Ray Facility at the RIVM, by A. H. L. Aalbers, 2 pages.
- 85-18 BIPM. —  $\bar{g}$  values from Berger and Seltzer tables (1982), by M. Boutillon, 1 page.
- 85-19 BNM/LMRI (France). — Progress report 1983-1985, by J. P. Simoen, 2 pages.
- 85-20 NPL (Royaume-Uni). — Preliminary report on Fricke Intercomparison between NPL and NRC Canada, by P. H. G. Sharpe, 4 pages.
- 85-21 NPL (Royaume-Uni). — Report on an NPL Fricke Intercomparison with the Australian Atomic Energy Commission Laboratory, Lucas Heights, by P. H. G. Sharpe, 4 pages.



Document  
CCEMRI(I)/

- 85-22 PTB (République Fédérale d'Allemagne). — Uncertainties in Calorimetric Measurement of Graphite Absorbed Dose Rate at Co-60-radiation, by K. Hohlfeld, 7 pages.
- 85-23 NPL (Royaume-Uni). — Intercomparison of the high-dose-rate cobalt-60 irradiation fields at NPL and NBS, by P. H. G. Sharpe, 3 pages.
- 85-24\* ETL (Japon). — Progress Report of the Electrotechnical Laboratory in the Field of Photon- and Electron-Dosimetry, 1 page.
- 85-25\* ETL (Japon). — Remarks on Evaluation of Mass Collision Stopping Power Ratio for Electrons in Dosimetric Media, by H. Sugiyama, 14 pages.
- 85-26\* ETL (Japon). — Effects of scattered X-rays and fluorescences on exposure measured with a free-air ionization chamber, by N. Takata and K. Sakihara, 21 pages.

---

\* Ces documents ont été diffusés après la réunion.

---

## ANNEXE R(I) 2

---

### **Programme proposé pour les mesures de rayons X et $\gamma$ au BIPM**

---

- Maintien des références existantes pour l'exposition, le kerma dans l'air et la dose absorbée dans le graphite.
  - Comparaisons internationales d'étalons primaires.
  - Étalonnages d'étalons secondaires pour les pays qui ont choisi d'installer et de maintenir des étalons secondaires comme étalons nationaux.
    - Installation d'une référence de dose absorbée dans l'eau :
      - Construction d'une chambre d'ionisation étalon et du dispositif mécanique pour les mesures dans l'eau.
      - Déterminations théorique et expérimentale des facteurs de correction pour obtenir la dose absorbée dans l'eau à partir de mesures ionométriques.
    - Extension des installations d'étalonnage pour y inclure les nouvelles grandeurs définies par l'ICRU en radioprotection. Détermination des facteurs de conversion pour déduire ces grandeurs de l'exposition et du kerma dans l'air.
    - Comparaison internationale de systèmes de dosimétrie chimique Fricke.
    - Étalonnage dans le fantôme d'eau du BIPM de dosimètres passifs (par exemple Fricke ou thermoluminescents) distribués pour des comparaisons organisées par des laboratoires nationaux ou internationaux.
-





**Section II — Mesure des Radionucléides**

8<sup>e</sup> réunion (juin 1985)

---

**ORDRE DU JOUR**  
de la 8<sup>e</sup> réunion

---

1. Résultats de comparaisons internationales récentes.
  2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR).
  3. Rapports des groupes de travail.
  4. Travaux du Bureau International des Poids et Mesures.
  5. Comparaisons internationales futures et autres travaux.
  6. Rapports d'activité des laboratoires représentés à la réunion.
  7. Rapport au président du CCEMRI.
  8. Visite de laboratoires du BIPM.
  9. Questions diverses.
-

---

RAPPORT  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par J. G. V. TAYLOR, rapporteur

---

**Résumé.** La Section II (Mesure des radionucléides) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants a tenu sa huitième réunion en juin 1985. Elle a discuté les comparaisons internationales effectuées récemment : le rapport sur la comparaison de  $^{137}\text{Cs}$  a été publié ; un projet de rapport sur la comparaison de  $^{133}\text{Ba}$  a été établi ; les résultats de la comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$  sont jugés satisfaisants. Le Système international de référence du BIPM a mesuré plus de 400 échantillons. Les groupes de travail ont présenté leur rapport d'activité. La section souligne le rôle primordial du BIPM dans la promotion de l'uniformité des mesures de radionucléides et fait une recommandation au CIPM concernant les travaux futurs dans ce domaine. Parmi les récentes activités du BIPM décrites au cours de la réunion on peut citer la construction d'un compteur proportionnel à pression, des solutions théorique et expérimentale au problème posé par un temps mort généralisé et de nouvelles mesures d'énergie de particules  $\alpha$ . Il a été décidé d'organiser des comparaisons de  $^{109}\text{Cd}$  et de  $^{125}\text{I}$ . Enfin, un échange d'informations a eu lieu sur les travaux en cours dans les différents laboratoires représentés.

La Section II (Mesure des radionucléides)\* du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) a tenu sa huitième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, du 11 au 13 juin 1985.

Étaient présents :

H.-M. WEISS, président de la Section II, Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay (B. CHAUVENET).

---

\* Pour la liste des membres, voir p. VIII.

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa  
(D. C. SANTRY).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (F. YU).

National Accelerator Centre [NAC], Faure (B. R. MEYER).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (D. D. HOPPE).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (D. SMITH).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig  
(H.-M. WEISS).

Membres nominativement désignés :

J.-J. GOSTELY, Institut d'Électrochimie et Radiochimie [IER], École  
Polytechnique Fédérale, Lausanne.

J. G. V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited [AECL],  
Chalk River.

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO) (deux jours).

Invités :

Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom [BCMNI], Geel  
(W. BAMBYNEK).

A. SZÖRÉNYI, Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest.

G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK],  
Vienne.

Assistaient aussi à la réunion : J. TERRIEN, directeur honoraire du  
BIPM, A. ALLISY, A. RYTZ, J. W. MÜLLER, V. D. HUYNH,  
G. RATEL et D. MÜLLER (BIPM).

Excusés :

Agence Internationale de l'Énergie Atomique [AIEA], Vienne.

Australian Atomic Energy Commission [AAEC], Sutherland.

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad.

Le président, H.-M. Weiss, présente les nouveaux délégués qui assistent à la réunion pour la première fois : F. Yu, du NIM, B. Chauvenet, du LMRI, et B. R. Meyer, du NAC. Il rappelle le décès du regretté J. Steyn (NAC) après de longues années de participation active aux travaux de la Section II.

J. G. V. Taylor est nommé rapporteur et le projet d'ordre du jour est adopté.

A. Rytz annonce qu'il quittera le BIPM avant la prochaine réunion et exprime ses remerciements aux membres de la Section II pour leur collaboration active pendant les 23 années qu'il a passées au BIPM.



## 1. Comparaisons récentes de mesures d'activité\*

a)  $^{137}\text{Cs}$ . — A. Rytz signale que la version condensée du rapport de la comparaison de  $^{137}\text{Cs}$  a paru dans *Nuclear Instruments and Methods* (228, 1985, p. 506) et que des tirages à part sont disponibles.

b)  $^{133}\text{Ba}$ . — A. Rytz présente le projet du rapport final de la comparaison à grande échelle de  $^{133}\text{Ba}$  qui s'est déroulée en mars 1984. Il est prévu d'y incorporer les éventuelles modifications qui seront demandées par la section. Au cours de la discussion, on décrit en détail les problèmes et les incertitudes de la méthode d'extrapolation de l'efficacité. La section pense que, bien que les fonctions d'efficacité fassent apparaître quelques irrégularités dans le domaine d'énergie correspondant au seuil de détection pour des transitions de la couche L, l'extrapolation à partir de points d'efficacité plus faible permet une détermination fiable de l'activité. Cette conclusion est corroborée par la faible incertitude des résultats finaux : valeur moyenne de l'activité massique =  $(1\,160,8 \pm 4,2)$  Bq  $\text{mg}^{-1}$  à la date de référence, et par l'excellent accord existant entre cette valeur et celles qui sont obtenues avec des mesures indépendantes de rayons  $\gamma$  par la méthode  $4\pi$  NaI, ainsi que des résultats antérieurs du SIR. Une incohérence est signalée dans les formules utilisées pour calculer les valeurs de  $\chi^2$ , et on demande aux participants de transmettre des valeurs corrigées à A. Rytz le plus rapidement possible. J.-J. Gostely fait remarquer que la méthode de discrimination temporelle par le front du signal semble donner des valeurs finales sensiblement moins cohérentes que d'autres méthodes (passage par zéro ou fraction constante). J. W. Müller indique que l'observation d'une telle corrélation n'implique pas nécessairement une relation causale. A. Rytz préparera le rapport final.

c)  $^{109}\text{Cd}$ . — A. Rytz présente le rapport de cette comparaison restreinte et remercie A. Szörényi qui l'a organisée et B. R. Meyer qui a fourni une solution de  $^{109}\text{Cd}$  de grande pureté. Le  $^{109}\text{Cd}$  est d'un grand intérêt car il y a dans ce domaine d'énergie (88 keV) très peu de rayons gamma qui conviennent pour l'étalonnage de spectromètres. A. Szörényi résume les résultats et souligne que l'accord est satisfaisant, car il s'agit d'un nucléide difficile à mesurer. Il conclut que rien ne s'oppose à l'organisation d'une comparaison à grande échelle (voir point 5). A. Rytz indique que la mesure de la solution non diluée faite avec la chambre d'ionisation du SIR, compte tenu du facteur de dilution utilisé par l'OMH, donne une activité massique qui est en bon accord avec

---

\* L'Annexe R(II) 1 donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 85-1, 85-2, etc.

Voir p. R 103 la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport.

les valeurs de la comparaison. Au cours de la discussion on fait remarquer que toutes les valeurs de l'activité ne sont pas indépendantes de la valeur absolue du coefficient de conversion interne de la transition du  $^{109}\text{Ag}^m$  à 88 keV. Cependant, la correction est petite et assez bien connue. Le compte rendu de cette comparaison préliminaire sera complété par des spectres caractéristiques du  $^{109}\text{Cd}$  et publié comme rapport BIPM.

## 2. Chambres d'ionisation du BIPM et Système international de référence (SIR)

A. Rytz signale que l'électronique du SIR a été renouvelée ; les mesures fréquentes du  $^{226}\text{Ra}$  n'ont fait apparaître aucune discontinuité à la suite de ce changement. À la fin de 1984, on avait mesuré 413 ampoules de 46 radionucléides en provenance de 22 laboratoires. Des tableaux distribués à la réunion montrent les niveaux maximaux d'impuretés et les activités les plus faibles pour lesquels des mesures précises de divers radionucléides sont possibles. Celles-ci reposent sur deux critères : l'incertitude sur la correction faite pour tenir compte des impuretés ne devrait pas dépasser 0,2 % et la source la plus faible devrait produire un courant plus grand que la moitié du courant produit par la source de référence la plus faible. Les mesures de la réponse de la chambre au rayonnement de freinage ont été améliorées et on a établi une courbe de la réponse au rayonnement de freinage en fonction de l'énergie moyenne du rayonnement bêta. Il en ressort que la contribution du rayonnement de freinage atteint 33 % du courant produit par le  $^{144}(\text{Ce} + \text{Pr})$ , mais elle est inférieure à 1 % pour tous les autres émetteurs de rayonnement gamma. En général, elle est de quelques dix-millièmes (85-20). La section demande qu'on prépare une description détaillée du système électronique et une liste des nouveaux radionucléides qu'il serait souhaitable d'étudier, et qu'on estime l'exactitude supposée de la courbe d'efficacité.

## 3. Rapports des groupes de travail

*Compilation des expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité (Coordonnateur : G. Winkler)*

Un rapport de 8 pages et 19 références a été distribué (85-9). Un tableau rassemble les efficacités calculées et mesurées de 20 radionucléides mesurés dans quatre laboratoires ; l'accord entre les résultats est de quelques millièmes dans la plupart des cas. Il est recommandé de

poursuivre l'étude des problèmes associés aux corrections d'empilement et de temps mort.

*Principes de la méthode des coïncidences* (Coordonnateur : J. W. Müller)

La liste des 20 documents distribués au sein du groupe de travail est donnée dans le document 85-5. B. Chauvenet (LMRI) remplacera R. Vatin (LMRI) dans ce groupe.

*Préparation de sources minces et problèmes chimiques associés* (Coordonnateur : D. C. Santry)

Le coordonnateur a expédié 49 lettres et reçu 17 réponses dont deux seulement décrivent des travaux nouveaux. Une recherche bibliographique n'a pas permis de découvrir beaucoup d'articles importants publiés depuis 1973. Un rapport sera préparé, mais si l'on ne dispose pas d'informations supplémentaires, le groupe de travail devrait être dissout. H.-M. Weiss signale que la PTB a soumis pour publication un article sur sa source de rayons X. Il ajoute qu'il est possible de préparer quantitativement des sources de  $^{90}\text{Sr}$  de grande surface, par adsorption sur de l'aluminium oxydé. Des contrôles par frottis, un an après la préparation de la source, n'ont enlevé aucune activité.

*Difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de certains radionucléides* (Coordonnateur : H.-M. Weiss)

Un examen des résultats du SIR montre qu'une vingtaine de radionucléides présentent des problèmes réels ou potentiels. La plupart d'entre eux ont des états métastables ou décroissent à la fois par émission de rayons bêta et par capture électronique. Un rapport sera préparé.

*Comparaisons futures* (Coordonnateur : A. Rytz)

Voir point 5.

#### 4. Travaux du Bureau International des Poids et Mesures

1) Le directeur du BIPM, P. Giacomo, résume la situation actuelle du BIPM qui a dû entreprendre de nouvelles tâches sans augmentation correspondante du budget. Il en résulte que certaines des activités actuelles du BIPM doivent être réduites. Il est donc important que le CCEMRI informe le CIPM sur les besoins des laboratoires nationaux

dans le domaine des rayonnements ionisants et sur le rôle fondamental du BIPM en ce qui concerne les programmes de coopération internationale. D. D. Hoppes souligne que toute réduction des activités du BIPM dans le domaine des rayonnements ionisants serait grave à un moment où il existe une demande croissante de rattachement des mesures au niveau international. Après discussion du sujet, la Section II a préparé et approuvé des recommandations au CIPM (Recommandation R(II)-1 (1985), p. R 70) où elle donne son avis sur les activités essentielles que le BIPM doit maintenir dans le domaine de la mesure des radionucléides.

2) G. Ratel décrit le compteur proportionnel à pression pour mesures de coïncidences qui est en construction au BIPM d'après le modèle de la PTB. Il doit fonctionner à des pressions pouvant atteindre 3 MPa avec une régulation de pression relative de  $10^{-3}$ . Il sera relié à deux préamplificateurs indépendants conçus et réalisés au BIPM. Il s'ensuit une discussion générale, au cours de laquelle on souligne l'importance de nettoyer les fils des anodes et d'interconnecter la haute tension avec la régulation de la pression.

3) Statistiques de comptage. — J. W. Müller résume, à l'aide de quelques diapositives, ses travaux récents sur les problèmes de temps morts. L'effet des temps morts étendus et non étendus est bien connu. J. W. Müller a montré que si un temps mort a une probabilité  $\theta$  d'être étendu et une probabilité  $1 - \theta$  d'être non étendu, sa réponse à une série d'événements aléatoires se situera entre celles des deux types habituels. Les propriétés mathématiques d'un tel « temps mort généralisé » ont été déterminées et P. Bréonce, du BIPM, a construit un dispositif de temps mort généralisé avec un équipement associé montrant que son comportement est conforme aux prévisions. Ce travail a permis d'éclaircir le problème du « premier temps mort » qui apparaît parce que la première étape de toute chaîne de comptage comporte un temps mort intrinsèque court, dont les caractéristiques sont inconnues et, jusqu'à ce jour, impossibles à connaître. La nouvelle théorie et le dispositif électronique permettent de déterminer les propriétés de ce temps mort à partir d'observations du comportement à la sortie d'un second temps mort fixe dont le type est connu. Ceci permet pour la première fois de prédire avec exactitude le comportement des dispositifs réels à des taux de comptage très élevés (tels que ceux qu'on peut mesurer avec l'échantillonnage sélectif), pour lesquels le premier temps mort produit une distorsion importante de la distribution à l'entrée. Pour les taux de comptage peu élevés, les approximations courantes, qui négligent l'effet du premier temps mort, sont suffisantes.

Parmi les autres sujets traités par J. W. Müller, on peut citer des mesures précises de « l'effet Gandy », qu'il est important de comprendre pour toutes les mesures par coïncidences, et les surprises que le « choix au hasard », apparemment simple, d'une impulsion peut réserver si l'on

ne se souvient pas qu'un moment choisi de façon arbitraire tombe de préférence dans un intervalle de temps plus long que la moyenne. Enfin, il signale l'observation récente d'une relation de symétrie surprenante dans la distribution des temps d'arrivée des impulsions : elle ressemble à une inversion exacte du temps, mais l'explication réelle du phénomène est laissée à l'auditoire.

4) A. Rytz travaille, avec A. Spagnol et W. B. Mann, à la rédaction d'un manuel de l'AIEA sur les mesures de radioactivité à l'usage des pays en voie de développement. Cet ouvrage devrait être publié vers la fin de l'année.

5) Le spectromètre de rayonnement  $\alpha$  du BIPM est le seul instrument au monde conçu spécifiquement pour des mesures absolues d'énergie de particules  $\alpha$ . A. Rytz décrit des mesures de  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{252}\text{Cf}$  et  $^{250}\text{Cf}$  (présent sous forme d'impureté dans les sources de  $^{252}\text{Cf}$ ). Il recevra bientôt une source de  $^{227}\text{Ac}$  préparée à Harwell et la mesurera vers la fin de l'année.

## 5. Comparaisons futures et autres travaux

H.-M. Weiss demande à J. G. V. Taylor de diriger la discussion car J. G. V. Taylor sera le prochain président de la Section II, après le départ à la retraite de H.-M. Weiss dans le courant de l'année.

### 1) Comparaisons futures

Étant donné le succès remporté par la comparaison restreinte de  $^{109}\text{Cd}$ , on pense qu'il serait utile d'entreprendre une comparaison à grande échelle. A. Rytz indique que 19 laboratoires avaient manifesté de l'intérêt pour une telle comparaison. B. R. Meyer propose que le NAC fournisse du  $^{109}\text{Cd}$  en provenance du lot de grande pureté utilisé pour la comparaison restreinte. A. Szörényi propose de faire la dilution et la mise en ampoules à l'OMH mais il pourrait rencontrer des difficultés pour l'expédition dans certains pays. B. Chauvenet s'occupera de l'envoi des ampoules à partir du LMRI. La date de référence proposée est 1986-03-01.

On décide que le  $^{125}\text{I}$  sera le prochain radionucléide à faire l'objet d'une comparaison de mesures d'activité. Il est très utilisé en médecine nucléaire, mais l'énergie des rayons X et  $\gamma$  provenant de la décroissance du  $^{125}\text{I}$  est trop faible pour permettre une mesure par le SIR, si bien qu'on ne possède pas d'information sur l'uniformité des mesures au niveau international. A. Szörényi indique que l'OMH pourrait être en mesure de fournir du  $^{125}\text{I}$  pour une comparaison restreinte entre l'OMH, la PTB, le LMRI, le BCMN et l'AECL. La date de référence retenue provisoirement est octobre 1986. Les représentants des laboratoires

mentionnés ci-dessus continueront à faire partie du Groupe de travail sur les comparaisons futures et A. Rytz en sera le coordonnateur jusqu'en mai 1986.

J.-J. Gostely pense qu'il est temps d'organiser une nouvelle comparaison de mesures de sources à taux de comptage élevés. Le LMRI et le BIPM y participeraient. J.-J. Gostely fera une enquête pour savoir quels sont les laboratoires intéressés et préparera une proposition détaillée qui sera discutée à la prochaine réunion de la Section II.

A. Allisy a constaté un regain d'intérêt pour le comptage à gaz interne et se demande si l'on ne devrait pas envisager une comparaison comportant cette méthode. Les représentants du NBS, de la PTB, du LMRI et du BCMN se déclarent intéressés. D. D. Hoppes préparera une proposition pour la prochaine réunion de la section.

## 2) *Autres activités futures*

H.-M. Weiss indique que K. Debertin sera le prochain représentant de la PTB à la Section II et qu'il aimerait aussi prendre la place de H.-M. Weiss dans le Groupe de travail des comparaisons futures.

J. G. V. Taylor demande aux coordonnateurs des groupes de travail de lui adresser un rapport d'activité de neuf mois pour le 15 mars 1986.

Le programme de travail proposé par le groupe de mesures des radionucléides du BIPM est présenté à la Section II pour discussion (85-4 et Annexe R(II) 2). Ces activités sont jugées essentielles pour que le laboratoire puisse continuer à remplir son rôle, mais il semble que le programme ne pourra pas être exécuté à temps sans un accroissement du personnel.

## 6. **Rapports d'activité des laboratoires représentés à la réunion**

Tous les représentants des laboratoires ont fait un rapport sur l'activité et la composition des équipes travaillant dans le domaine de la métrologie des radionucléides. Plusieurs laboratoires sont en train de renouveler leur équipement pour tenir compte des progrès rapides faits récemment dans le domaine de l'électronique et de la technologie des ordinateurs. Des résumés écrits sur les réalisations et les programmes de travail sont cités dans l'Annexe R(II) 1; ils sont disponibles sur demande adressée au BIPM.

## 7. **Rapport au président du CCEMRI**

Le président de la Section II a préparé un projet de rapport destiné au président du CCEMRI. Le résultat des discussions de la présente réunion y sera incorporé.

## 8. Visite de laboratoires du BIPM

Les participants ont pu voir fonctionner le nouvel équipement du groupe de mesure de radioactivité ainsi que le dispositif de temps mort généralisé. Ils ont également eu la possibilité de visiter le laboratoire de physique des lasers.

## 9. Questions diverses

D. C. Santry demande que les laboratoires qui préparent des sources ponctuelles de rayonnement  $\gamma$  adoptent des supports de sources de même diamètre. Actuellement, six tailles sont utilisées. H.-M. Weiss répond que plusieurs diamètres correspondent aux recommandations de l'ISO et que la PTB en utilise un. Aucune recommandation n'est faite.

D. Smith demande si la recommandation sur l'expression des incertitudes a été adoptée d'une manière générale. A. Allisy répond que l'écho rencontré à ce jour a été bon. Une nouvelle réunion du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes du CIPM est envisagée mais la date n'est pas encore fixée.

Le président signale qu'après 24 années de service A. Rytz quittera le BIPM et la Section II avant la prochaine réunion en 1987. Il rappelle que le travail de coordination efficace, mais discret, de A. Rytz pendant cette période, au sein de la Section II et du groupe de mesure de radioactivité du BIPM, a été un facteur très important du succès rencontré dans les deux cas. H.-M. Weiss le remercie au nom de la section et lui souhaite une retraite longue et heureuse.

Parlant au nom de P. Giacomo et de la Section II, A. Allisy remercie H.-M. Weiss qui va se retirer aussi après de nombreuses années d'une collaboration précieuse au sein de la section, les six dernières en tant que président.

Avant de clore la réunion, le président remercie les participants pour leur contribution et le personnel du BIPM pour son hospitalité.

Juin 1985, révisé septembre 1985

**Recommandation**  
**de la Section II (Mesure des radionucléides) du CCEMRI**  
**présentée**  
**au Comité International des Poids et Mesures**

Importance du rôle du BIPM pour améliorer l'uniformité et l'exactitude  
des mesures de radioactivité

RECOMMANDATION R(II)-1 (1985)

*Considérant*

— que l'instauration et le maintien de l'uniformité des mesures de radioactivité sur le plan international est une tâche fondamentale du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), conforme aux décisions de la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

— que l'emploi sans cesse croissant des radionucléides dans des domaines très divers nécessite un rattachement rigoureux aux références internationales et une amélioration de l'exactitude des mesures d'activité dans le monde entier,

— que le BIPM, en raison de son indépendance généralement reconnue, est la seule organisation capable d'assumer le rôle de point central dans le domaine des mesures de radioactivité,

— que le BIPM doit participer activement à l'application et à la mise au point de nouvelles techniques de mesure, surtout si celles-ci permettent d'en améliorer l'exactitude,

— que des étalons de radioactivité sont nécessaires pour de nombreux radionucléides et doivent être renouvelés constamment à cause de leur décroissance,

— que l'équipement et le personnel du BIPM sont très utiles pour de nombreux pays qui développent des laboratoires de mesure de radioactivité parce qu'ils ont la possibilité d'utiliser comme références primaires les étalons du BIPM et de bénéficier du savoir-faire de son personnel,

la Section II *recommande*

— que le BIPM continue à organiser des comparaisons internationales de radionucléides convenablement choisis,

— que le Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$  soit maintenu, car il n'existe pas d'équivalent, et qu'il soit étendu aux rayonnements de plus faible énergie,

— que les aspects pratiques et théoriques des mesures exactes de radionucléides continuent à faire l'objet d'études approfondies,

— que l'effectif actuel du personnel soit considéré comme inférieur au minimum nécessaire au BIPM pour accomplir les tâches croissantes qui lui incombent dans le domaine de la radioactivité.

---



## ANNEXE R(II) 1

---

### Documents de travail présentés à la 8<sup>e</sup> réunion de la Section II du CCEMRI

---

Ces documents de travail peuvent être obtenus sur demande adressée au BIPM.

Document  
CCEMRI(II)/

- 85-1 BIPM. — International comparison of activity measurements of a solution of  $^{133}\text{Ba}$  (March 1984), by A. Rytz, 34 pages.
- 85-2 NPL (Royaume-Uni). — The development of international measurement standards, by W.A. Jennings, D. Smith and E.J. Axton, *J. Soc. Radiol. Prot.* **4**, 1984, pp. 166-176.
- 85-3 OMH (Hongrie). — Report on a trial comparison of activity measurements of a solution of  $^{109}\text{Cd}$ , by A. Szörényi, 19 pages.
- 85-4 BIPM. — Measurement of radionuclides, 2 pages.
- 85-5 BIPM. — List of Reports distributed within the Working Party «Principles of the Coincidence Method», by J. W. Müller, 2 pages.
- 85-6 PTB (République Fédérale d'Allemagne). — SIR, Comparison of calculated  $A_c$  values with experimental values, by H.-M. Weiss, 1 page.
- 85-7 PTB (République Fédérale d'Allemagne). — Reports from the Laboratories of Attendees, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 3 pages.
- 85-8 PTB (République Fédérale d'Allemagne). — Section II — Radionuclide Measurements, 5 pages.
- 85-9 IRK (Autriche). — Progress report to CCEMRI — Section II: Working group on experiences with high-efficiency  $\gamma$ -detector systems for activity measurements, by G. Winkler, 8 pages.

Document  
CCEMRI(II)/

- 85-10 OMH (Hongrie). — Progress Report on Radionuclide Metrology, National Office of Measures (OMH), by A. Szörényi, 3 pages.
- 85-11 NIM (Chine). — Brief report on radionuclide metrology in China for the CCEMRI-II meeting 1985, 2 pages.
- 85-12 NAC (Afrique du Sud). — Current and future activities at the National Accelerator Centre, by B. R. Meyer, 2 pages.
- 85-13 AECL (Canada). — Report to the BIPM, Section II CCEMRI, from the Radionuclide Metrology Laboratory, Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, by R. H. Martin, 1 page.
- 85-14 NRC (Canada). — National Research Council of Canada, by D. Santry, 2 pages.
- 85-15 NBS (États-Unis d'Amérique). — Status of the Fiscal Year 1985 Radioactivity Program, U.S. National Bureau of Standards, 2 pages.
- 85-16 IER (Suisse). — Activities of the group Metrology of Radionuclides, by J.-J. Gostely, 1 page.
- 85-17 BCMN. — Progress Report 1983-1985 on Radionuclide Metrology at the CEC-JRC Central Bureau for Nuclear Measurements, Geel, by W. Bambynek, 2 pages.
- 85-18 IRK (Autriche). — Report to the CCEMRI — Section II about work at the Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der Universität Wien (IRK), by G. Winkler, 3 pages.
- 85-19 NPL (Royaume-Uni). — NPL Activities 1983-85: Selected items for BIPM Section II report, by D. Smith, 3 pages.
- 85-20 BIPM. — Seven documents concerning the BIPM ionization chamber and the International Reference System (SIR), by A. Rytz, 7 pages.
- 85-21 LMRI (France). — LMRI work in the year 1984 in the field of radioactivity measurements, 3 pages.
-

## ANNEXE R(II) 2

---

### **Programme de travail proposé pour le groupe de mesure des radionucléides du BIPM**

(Document CCEMRI (II)/85-4)

---

#### **Introduction**

Conformément à une décision de la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures, le BIPM a été chargé d'établir et de maintenir, dans le domaine de la radioactivité, des étalons de référence auxquels toutes les autres mesures puissent être rattachées. Stabilité à long terme, continuité et indépendance au niveau international sont essentielles pour atteindre ce but.

Des mesures exactes d'activité sont nécessaires dans de nombreux domaines d'applications variées, tels que la médecine et l'industrie pharmaceutique, la biologie, les techniques de réacteur, le contrôle des matériaux et la protection de l'environnement. Le nombre de ces applications est en augmentation constante, comme l'est la demande de précision plus élevée.

Le travail du BIPM dans ce domaine peut être subdivisé approximativement en trois parties :

- organisation et analyse de comparaisons internationales périodiques de mesures d'activité de radionucléides sélectionnés,
- comparaisons permanentes au moyen du Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$ ,
- amélioration des techniques de mesure existantes et mise au point de nouvelles approches.

Toutes ces activités sont fortement corrélées et permettent au BIPM de rendre d'importants services qui sont appréciés par les laboratoires nationaux. En particulier, les nouveaux adhérents à la Convention du mètre sont souvent intéressés par des sources de radionucléides disponibles et étalonnées avec soin. De plus, ils peuvent envoyer des physiciens au BIPM pour qu'ils se familiarisent avec les techniques de mesure des laboratoires modernes.

Le Rapport BIPM-83/7 contient un compte rendu du travail accompli par la Section II au cours des deux dernières décennies.

### Programme proposé

— Organisation de comparaisons internationales de mesures d'activité de radionucléides sélectionnés par la Section II du CCEMRI ; participation et analyse des résultats.

— Construction d'un compteur proportionnel à pression pour mesures d'activité par la méthode des coïncidences et par l'échantillonnage sélectif.

— Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$  (SIR), avec des échantillons fournis par les laboratoires nationaux.

— Extension du SIR par l'installation d'une chambre d'ionisation pour photons de basse énergie ; étude des corrections et détermination des fonctions d'efficacité.

— Préparation et fourniture de sources solides étalonnées de radionucléides.

— Installation d'un second ensemble de coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ .

— Extrapolation multiparamétrique par discrimination par ordinateur.

— Mesure par détecteur à Ge-Li de sources obtenues par activation neutronique.

— Mesure d'impuretés radionucléidiques.

— Étalonnage de radionucléides difficiles à mesurer, tels que  $^{75}\text{Se}$  et  $^{85}\text{Sr}$ .

— Mesures d'activité d'échantillons irradiés de Zr et Nb pour comparaisons d'énergie et de fluence neutronique.

— Installation d'un détecteur NaI(Tl) à puits.

— Corrections de mesures d'activité dues à l'effet d'un premier temps mort.

— Étude d'un modèle de temps mort généralisé.

— Évaluation des perturbations dues à un tel temps mort dans les statistiques de comptage observées.

Mai 1985





**Section III — Mesures neutroniques**

7<sup>e</sup> réunion (mai 1985)

---

ORDRE DU JOUR  
de la 7<sup>e</sup> réunion

---

1. Travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques.
  2. Comparaison internationale de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$ 
    - a. Source de  $10^7 \text{ s}^{-1}$
    - b. Source de  $10^9 \text{ s}^{-1}$ .
  3. Comparaison internationale de débits de fluence de neutrons rapides
    - a. Comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  à 2,5, 5,0 et 14,8 MeV
    - b. Comparaison utilisant l'activation d'échantillons de Nb/Zr à 14,8 MeV
    - c. Comparaison utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}^m$  à 0,144 et 0,565 MeV
    - d. Comparaison utilisant les chambres à fission.
  4. Comparaisons de dosimétrie neutronique
    - a. Comparaison à 14,7 MeV au NPL
    - b. Comparaison organisée par le BIPM par circulation d'instruments de transfert
    - c. Comparaison ENDIP-2.
  5. Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence disponibles en permanence et à long terme.
  6. Contribution de la Section III au Rapport du président du CCEMRI au CIPM.
  7. Activités futures de la Section III.
  8. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires de mesures neutroniques.
  9. Visite de laboratoires du BIPM.
  10. Questions diverses.
-



---

RAPPORT  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par E. J. AXTON et K. W. GEIGER, rapporteurs

---

**Résumé.** La Section III (Mesures neutroniques) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants a tenu sa septième réunion en mai 1985. On y a présenté les travaux récents effectués au BIPM dans le domaine des mesures neutroniques. La section a fait le point sur les comparaisons internationales de mesures de sources de  $^{252}\text{Cf}$  ( $10^7 \text{ s}^{-1}$  and  $10^9 \text{ s}^{-1}$ ). Les résultats de la comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides (réaction  $\text{In}(n,n')$  et activation d'échantillons de Nb/Zr) ont été publiés dans *Metrologia*. Les comparaisons de mesures de débit de fluence de neutrons utilisant la réaction  $\text{In}(n,\gamma)$  et des chambres à fission sont en cours. Les résultats de la comparaison de dosimétrie neutronique au NPL, ainsi qu'un résumé de la comparaison ENDIP-2, ont été présentés. Une comparaison de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM par circulation de chambres d'ionisation commencera en 1985. Le Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence a exposé ses travaux et diverses propositions ont été étudiées en détail. Le programme de travail de mesures neutroniques proposé par le BIPM a été approuvé après de légères modifications. La section a discuté ses activités futures et a exprimé son inquiétude au sujet d'une éventuelle diminution des ressources mises à la disposition de la section des rayonnements ionisants. Enfin, un vaste échange d'informations a eu lieu sur les travaux en cours dans les différents laboratoires représentés et la réunion s'est terminée par une visite rapide de laboratoires du BIPM.

La Section III (Mesures neutroniques) \* du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CEMRI) a tenu sa septième réunion au Pavillon de Breteuil, Sèvres, les 28, 29 et 30 mai 1985.

Étaient présents :

R. S. CASWELL, président de la Section III, National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg.

---

\* Pour la liste des membres, voir p. IX.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay (Mlle J. CAUMES).

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa (K. W. GEIGER).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Ibaraki (T. MICHIKAWA).

Institut de Métrologie D. I. Mendéléév [IMM], Leningrad (E. KOUTCHERIAVENKO).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R.S. CASWELL).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (V. E. LEWIS).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (G. DIETZE).

Membres nominativement désignés :

J. J. BROERSE, Radiobiological Institute TNO, Rijswijk.

H. LISKIEN, Bureau Central de Mesures Nucléaires [BCMNI], Euratom, Geel.

E. J. AXTON, président du Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence.

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités :

Atomic Energy Research Establishment Harwell [AERE], (D. B. GAYTHER).

Centre d'Études de Bruyères-le-Châtel [CEN] (S. CRESPIN).

Assistaient aussi à la réunion : J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM, Mme N. COURSOL (LMRI, un jour), A. ALLISY (2,5 jours), V. D. HUYNH, A. RYTZ, J. W. MÜLLER, G. RATEL et D. MÜLLER (BIPM).

Absents :

Comitato Nazionale per la ricerca e per lo sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative [ENEA], Roma.

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing.

Le directeur du BIPM souhaite la bienvenue aux participants, et en particulier à ceux qui n'ont pas assisté aux réunions précédentes de la Section III : G. Dietze, V. E. Lewis, Mme N. Coursol, D. B. Gayther et S. Crespin qui représente Mr Grenier.

E. J. Axton et K. W. Geiger acceptent d'être rapporteurs.

L'ordre du jour est adopté après quelques légères modifications ou additions qui sont comprises dans le rapport.

## 1. Rapport sur les travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques \*

V. D. Huynh résume l'activité du groupe de mesures neutroniques depuis 1983 (85-9) comme suit :

— Détermination de la contribution des neutrons diffusés par le support de la cible dans la comparaison internationale de débit de fluence à 14,8 MeV utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ . Dans les conditions expérimentales du BIPM on a obtenu une contribution de 2,8 % à une distance de 14,3 cm de la cible. Elle a été mesurée au moyen d'une cible ayant un support de cuivre de 1,5 mm d'épaisseur (au lieu de 0,5 mm qui est l'épaisseur utilisée couramment).

— Participation à la comparaison de dosimétrie neutronique ENDIP-2.

— Participation à la comparaison de dosimétrie neutronique au NPL.

— Participation à la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons à 14,65 MeV, en utilisant des chambres à fission.

— Étalonnage du faisceau de neutrons (d + T) du BIPM en termes de kerma dans le tissu, par la méthode des chambres d'ionisation mesurées dans l'air et par la méthode de fluence. Une différence de 0,8 % seulement a été observée entre les résultats de ces deux méthodes indépendantes.

— Étude de chambres d'ionisation à paroi équivalente au tissu (TE) et à paroi de magnésium (Mg) comme instruments de transfert pour la prochaine comparaison internationale de mesures de kerma. Six chambres TE (Exradin type T2) et quatre chambres Mg (Exradin type MG2) ont été contrôlées dans le faisceau de rayons  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , en collaboration étroite avec le groupe de mesure de rayons X et  $\gamma$  du BIPM. Certaines de ces chambres ont été étudiées aussi dans le faisceau de neutrons (d + T). Les parois de deux des chambres TE ont été reconstruites au BIPM avec une épaisseur (2,5 mm et 4,0 mm) différente de celles des chambres Exradin T2, dans le but d'améliorer leur stabilité à long terme.

---

\* L'Annexe R (III) 1 donne la liste des documents de travail présentés à la réunion. Ils sont cités dans le texte sous la forme 85-1, 85-2, etc.  
Voir page R 103 la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport.

## 2. Comparaison internationale de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de $^{252}\text{Cf}$

a) Source SR144 — Taux d'émission approximatif au début de la comparaison :  $4,5 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ . Coordonnateur : E. J. Axton (85-2)

Un projet de rapport sur la comparaison a été expédié aux participants et aux membres de la Section III en mars 1985. Depuis cette époque, les données ont changé légèrement à la suite d'informations transmises par les participants en réponse à une demande du coordonnateur. Les résultats des tableaux ont été quelque peu modifiés, de même que les notes explicatives de l'annexe 1. Cependant, les conclusions essentielles sont inchangées. La période du  $^{252}\text{Cf}$  reste un problème qui avait déjà été discuté à la réunion de 1983. Dans la littérature, on utilise des valeurs comprises entre 2,622 et 2,659 a, mais dans les mesures plus récentes on préfère 2,650 a. Par ailleurs, dans plusieurs groupes de résultats indépendants, faisant partie de la comparaison, on a préféré une valeur plus faible. Une valeur intermédiaire de 2,645 a, recommandée par le NBS dans son rapport à la Section III, a été utilisée pour ramener les valeurs reçues à une seule date de référence.

Il n'a pas été possible d'expédier la source SR144 en Inde, ni en Chine ; elle a été remplacée par la source CVN10 du NPL. Par ailleurs, pour inclure l'INEL dans la comparaison on a introduit une troisième source, NZ90, qui a été mesurée par l'INEL et le NPL. Au total, on a reçu des contributions de 14 laboratoires, se rapportant à trois sources et à quatre méthodes de mesure.

On a utilisé un ajustement par la méthode des moindres carrés pour déterminer les meilleures valeurs pour les trois sources ; les différences entre ces meilleures valeurs et les valeurs mesurées (résidus) ont été étudiées pour connaître le degré d'accord entre les participants. Deux mesures ont été exclues de l'analyse des moindres carrés (mais incluses comme résidus) parce qu'elles avaient des résidus anormalement élevés qui n'ont pas été expliqués.

Les données ont d'abord été analysées avec les valeurs et les incertitudes estimées par les participants (première étape), où les incertitudes étaient considérées comme non corrélées, sauf dans le cas de corrélation entre les mesures d'un même laboratoire (NPL, NBS). Les résultats étaient loin d'être satisfaisants. En plus de la dispersion des résultats, plus grande que prévue, il y avait une différence systématique entre les mesures du bain de manganèse et les mesures du bain d'eau.

Dans une deuxième étape, on a recalculé les valeurs en utilisant un ensemble commun de valeurs de référence, telles que sections efficaces et rapports de sections efficaces, et certaines corrections ont été recalculées de façon uniforme. Ce procédé a affecté aussi les incertitudes, dont

certaines ont changé ou sont devenues corrélées. Cependant, il n'a pas été possible de traiter toutes les corrections de cette manière, et les informations nécessaires manquaient dans certains rapports.

Néanmoins, les résultats de la deuxième étape montrent une très nette amélioration par rapport à la première, et la différence systématique entre les deux méthodes de bain n'était plus apparente.

Il est important de souligner que le meilleur accord de la deuxième étape ne supprime pas les écarts apparus dans la première étape ; il les explique simplement. Les écarts subsistent à moins que les laboratoires concernés ne modifient leurs techniques et leurs corrections selon les indications de la deuxième étape ou de quelque autre façon.

Dans la troisième étape on a recalculé les valeurs de la deuxième étape avec une période de 2,650 a pour le  $^{252}\text{Cf}$ , ce qui a aggravé le désaccord. On obtiendrait un meilleur accord avec une période encore inférieure à 2,645 a, mais ceci ne peut pas être justifié.

Dans la quatrième étape, quelques-uns seulement des résultats de la deuxième étape obtenus avec le bain de manganèse ont été soumis à une correction de l'activité du  $^{56}\text{Mn}$  basée sur des mesures de chambre d'ionisation à pression élevée au lieu de mesures par coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ . La quatrième étape fut un désastre et met en évidence des problèmes sérieux de mesure du courant.

Dans la cinquième étape, quelques-uns seulement des résultats du bain de manganèse ont été recalculés en utilisant les concentrations de  $\text{MnSO}_4$  mesurées par le BCMN au lieu des propres mesures des participants. Ceci a empiré sérieusement les résultats de la deuxième étape, peut-être à cause d'un changement éventuel de concentration des solutions par suite du transport ou du stockage.

Il y a eu une amélioration notable dans la sixième étape, où certains résultats du bain de manganèse ont été corrigés pour les impuretés des solutions mesurées par le BCMN.

L'incorporation de corrections basées sur l'analyse de terres rares faite par le VGKRI (septième étape) n'a pas donné de différence significative par rapport aux résultats de la deuxième étape parce que les niveaux détectés sont très faibles.

Un calcul final (huitième étape), qui comprenait les trois corrections faites pour les solutions, est dominé par les corrections de concentration et a donné des résultats de qualité intermédiaire.

Le meilleur accord est obtenu dans la sixième étape. Les résultats, qui se trouvent dans le tableau 13 du rapport de la comparaison, peuvent être considérés comme un aperçu équitable de l'état actuel de la mesure des taux d'émission de sources de neutrons.

On propose d'écrire à tous les participants pour leur donner la possibilité de modifier leurs valeurs selon les indications de la deuxième étape ou de tout autre façon, après avoir pris connaissance du rapport. Une étape finale sera ensuite ajoutée à l'analyse ; elle représentera la

situation finale de chaque participant à la suite des connaissances acquises pendant la comparaison. On espère que tous les participants transmettront leurs valeurs finales avant le 31 juillet 1985, afin que la version définitive du rapport puisse être préparée en août.

La Section III recommande que le rapport final soit revu par les participants, puis soumis pour publication dans *Metrologia*.

La Section III exprime sa reconnaissance au BCMN pour l'analyse chimique, au VGKRI pour la recherche de terres rares et au NPL pour l'organisation et l'analyse des mesures de chambre d'ionisation.

b) Source SR255Z — Taux d'émission approximatif au début de la comparaison :  $10^9 \text{ s}^{-1}$ . Coordonnateur : W. G. Alberts (PTB)

Trois laboratoires seulement participent à la comparaison. Le NBS a achevé ses mesures en 1977 et la PTB en 1978. La source est actuellement au NPL, où des problèmes de sécurité sont apparus dans la manipulation de la source. Il y a eu aussi des retards dans le transport dus au champ de rayonnement intense. Le taux d'émission de la source est actuellement de  $10^8 \text{ s}^{-1}$  et la période du californium introduit une incertitude importante. Comme l'intérêt de la comparaison résidait dans la mesure d'une source de  $10^9 \text{ s}^{-1}$  plutôt qu'une source de  $10^8 \text{ s}^{-1}$ , on décide d'abandonner l'opération et d'étudier une nouvelle comparaison bilatérale entre le NBS et la PTB avec une nouvelle source de  $10^9 \text{ s}^{-1}$ . Cependant, comme les mesures faites n'ont jamais été convenablement traitées et comparées, on décide de demander à W. G. Alberts (PTB) et E. D. McGarry (NBS) de collaborer pour faire un résumé des résultats obtenus, si possible avant la fin de 1985. Ceci permettrait de mieux comprendre les problèmes qui se posent et de décider si une nouvelle comparaison bilatérale devrait avoir lieu en 1986, de façon qu'un rapport puisse être présenté à la prochaine réunion de la Section III en 1987.

### 3. Comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

a) Méthode de transfert utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  à 2,5, 5,0 et 14,8 MeV. Coordonnateur : H. Liskien (BCMn) (85-18)

Sept laboratoires ont pris part à la comparaison à 2,5 MeV et quatre à 5,0 MeV. Toutes les mesures ont été terminées en 1981 et le coordonnateur a présenté une analyse détaillée des résultats à la réunion de 1983. Le rapport a été publié dans *Metrologia* (**20**, 1984, p. 55), en même temps qu'un rapport de V. E. Lewis sur la comparaison à 14,8 MeV qui utilisait l'activation d'échantillons de Nb/Zr comme méthode de transfert (**20**, 1984, p. 49; voir point 3 b). Un rapport

commun rédigé par les deux auteurs sur ces deux comparaisons a été présenté au 5th Symposium on Neutron Dosimetry, à Neuherberg, en septembre 1984, ainsi qu'à l'Advisory Group Meeting on Nuclear Standard Reference Data, à Geel, en novembre 1984.

Il y a eu neuf participants à 14,8 MeV. Le coordonnateur résume les problèmes rencontrés dans l'interprétation des résultats qui ont déjà été discutés à la réunion de 1983. Comme la section efficace de la réaction dépend de l'énergie, des corrections importantes sont nécessaires pour ramener les résultats à une énergie commune.

De plus, des difficultés sont apparues à cause des corrections assez importantes à appliquer pour la diffusion des neutrons dans la salle de mesure et sur la cible ; ces corrections produisent un effet disproportionné en raison de la valeur élevée de la section efficace de la réaction aux basses énergies de neutrons comparée à la valeur de la section efficace pour une énergie de 14,8 MeV. La comparaison a donc servi à mettre en lumière les difficultés rencontrées dans les mesures pratiques de sections efficaces de capture neutronique, dont certaines peuvent être nécessaires comme références secondaires pour la mesure des fluences neutroniques et dans l'étalonnage de certains instruments employés pour mesurer l'équivalent de dose de neutrons en radioprotection. Quelques laboratoires ont retiré leurs résultats ; certains ont soumis des valeurs révisées qui n'étaient pas toujours « aveugles » ; d'autres n'ont pas fait de correction pour la diffusion des neutrons. Étant donné l'importance de ces données, une étude est en cours (G. Dietze, PTB) pour calculer, pour chaque participant, la correction de diffusion adéquate fondée sur les valeurs ENDF/B-V des sections efficaces pour les réactions  $(n,n)$ ,  $(n,n')$  et  $(n,2n)$ , pour l'aluminium, le fer, le cuivre et l'argent, entre 12 et 16 MeV ; cette correction tiendra aussi compte des différentes dimensions des cibles utilisées dans la comparaison. Seul un rapport résumé sera rédigé. Aucune publication n'est prévue pour les raisons mentionnées ci-dessus.

*b) Méthode de transfert utilisant l'activation d'échantillons de Nb/Zr à 14,8 MeV. Coordonnateur : V. E. Lewis (NPL) (85-18)*

Neuf laboratoires ont participé à la comparaison. Les énergies de neutrons au seuil de la réaction sont supérieures aux énergies de la plupart des neutrons contaminants de faible énergie, par exemple les neutrons diffusés de faible énergie et les neutrons produits par les réactions  $(n,2n)$ . Toutes les mesures ont été achevées en 1981 et un rapport sur les résultats a été discuté à la réunion de 1983.

Les rapports de l'activité du niobium et de la fluence mesurés par les participants sont en général cohérents. On a comparé les énergies moyennes de neutrons déduites des rapports des activités spécifiques du niobium et du zirconium aux énergies moyennes mesurées ou calculées par les participants (dans le domaine de 14,0 à 14,8 MeV). Les résultats

s'accordent, en général, à environ 100 keV près. La comparaison a servi à contrôler la méthode Nb/Zr qui s'est avérée d'une exactitude suffisante ; de plus, elle est peu onéreuse et demande un effort minimal de la part des participants.

Le rapport a été publié dans *Metrologia* et présenté à deux réunions internationales (voir point 3a).

Un travail supplémentaire (auquel quatre laboratoires ont pris part) a été effectué en 1984 pour étudier l'emploi de la méthode avec une énergie plus élevée de deutons incidents (220 keV) mais n'a pas été concluant.

c) Méthode de transfert utilisant la réaction  $^{115}\text{In}(n, \gamma)^{116}\text{In}^m$  à 0,144 et 0,565 MeV. Coordonnateur : T. B. Ryves (NPL)

Un rapport d'activité est présenté par V. E. Lewis. Six laboratoires ont participé à cette comparaison en séquence. Les mesures ont été faites entre mars 1983 et mars 1985. Le compteur proportionnel  $4\pi\beta$ , les feuilles d'indium et la source de contrôle étaient renvoyés au NPL après chaque mesure. Plusieurs problèmes sont apparus : quelques laboratoires ont signalé une contamination radioactive des feuilles ; la feuille d'indium a été endommagée une fois ; la source de contrôle de  $^{60}\text{Co}$  a été perdue et a dû être remplacée. Il ne semble pas que ces problèmes aient affecté les résultats de la comparaison. Tous les participants ont fourni des résultats fiables et l'analyse est en cours.

Pour l'énergie de neutrons de 0,144 MeV, quatre des cinq laboratoires ont soumis des résultats dont la dispersion atteint 8 %. Cette valeur est à comparer aux incertitudes qui sont estimées entre 3 et 5 % et qui sont corrélées. L'écart-type des résultats de la source de contrôle est de 1 %. Pour l'énergie de neutrons de 0,565 MeV, les six résultats ont une dispersion de 8 %. Les corrections de diffusion sont importantes, mais celles qui sont appliquées par les participants semblent incohérentes. Les corrections pour la diffusion des neutrons dans la salle de mesure peuvent être évaluées, mais les corrections pour la diffusion des neutrons sur la cible sont plus compliquées.

Le coordonnateur utilise sa propre méthode de Monte-Carlo pour estimer toutes les corrections de manière uniforme, ce qui semble améliorer l'accord. D'une manière optimiste, il est possible d'arriver à une exactitude de 1 % dans cette comparaison si l'on exclut les incertitudes corrélées. Un résumé des résultats sera expédié aux participants pour commentaires.

d) Méthode de transfert utilisant les chambres à fission  $^{235}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$ . Coordonnateur : D. B. Gayther (AERE) (85-15)

Les deux chambres contenant des dépôts fissiles, l'une de  $^{235}\text{U}$  et l'autre de  $^{238}\text{U}$ , ont été envoyées en séquence à trois laboratoires qui



ont terminé leurs mesures. Les chambres sont actuellement au BCMN. Il reste cinq autres participants.

Pour que la comparaison des mesures soit valable, il faut éviter toute altération des caractéristiques ou du dépôt fissile des chambres au cours du temps. Pour cette raison, après chaque mesure les chambres sont renvoyées au Royaume-Uni où l'on enregistre les distributions de la hauteur des impulsions et les taux de comptage dans des conditions soigneusement contrôlées, avec une source de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  qui est réétalonnée chaque fois au NPL. Des mesures de ce type, faites en novembre 1983 et en septembre 1984, n'ont fait apparaître aucun changement des caractéristiques des chambres, ni de leur contenu fissile, dans la limite de l'incertitude relative de l'étalonnage de la source ( $\approx 0,25\%$ ).

Si le programme se déroule au rythme actuel de deux mesures par an, il ne sera pas terminé avant le milieu de 1987. L'accélération de l'opération se heurte à des problèmes d'ordre administratif plutôt que technique. Chaque mesure nécessite que le laboratoire participant y consacre plusieurs hommes-mois d'efforts ; la lenteur de la progression actuelle est due à plusieurs causes : manque de personnel, plus grande importance donnée à d'autres programmes de travail et modifications de calendrier dues à des pannes d'accélérateurs. Une amélioration pourrait être attendue si les participants accordaient une plus grande priorité à la comparaison, ce qui donnerait plus de souplesse au calendrier.

#### **4. Comparaisons internationales d'étalons de dosimétrie neutronique**

a) Comparaison de dosimétrie neutronique à 14,7 MeV au NPL.  
Coordonnateur : V. E. Lewis

Sept groupes en provenance de cinq pays ont participé à une comparaison de dosimétrie neutronique en 1983, au National Physical Laboratory. Les mesures ont été faites à l'air libre et à trois profondeurs dans un fantôme d'eau placé dans le faisceau de neutrons collimaté d + T. Les instruments utilisés par la plupart des groupes pour déterminer les composantes de la dose en neutrons et en photons comprenaient une chambre d'ionisation Exradin équivalente au tissu (TE) de  $0,5\text{ cm}^3$ , plus un compteur Geiger-Müller (GM) à compensation d'énergie utilisé comme instrument « insensible » aux neutrons. Certains groupes ont utilisé aussi une chambre d'ionisation magnésium/argon en même temps que le compteur GM. Les réponses étaient mesurées et corrigées conformément au protocole ECNEU. La sensibilité relative,  $k_T$ , de la chambre TE à la dose de neutrons a été déterminée de la même manière pour tous les participants.

Les réponses de la chambre d'ionisation TE sont en général cohérentes dans la limite des incertitudes aléatoires estimées, ce qui donne un bon accord pour les doses totales. Les réponses du compteur GM sont cohérentes ; si on les combine aux sensibilités de doses de neutrons relatives ( $k_U$ ), qui sont faibles et connues avec exactitude, on arrive à un bon accord pour les composantes séparées de doses de photons et de neutrons. Toutefois, les instruments Mg/Ar, bien qu'ils soient en principe du même type, donnent une grande variété de réponses, ce qui donne des ensembles de valeurs très incohérentes pour les composantes de la dose. Il semble donc qu'à l'heure actuelle on ne puisse pas considérer l'exactitude de la chambre Mg/Ar comme suffisante.

Il eût été souhaitable d'avoir plus de participants, mais des groupes potentiels ont été empêchés à cause du coût de l'opération (frais de voyage et nécessité de payer le temps d'utilisation de l'accélérateur).

La comparaison a montré qu'on peut obtenir des résultats cohérents quand les participants utilisent des instruments de même conception, un protocole commun et la même date de référence.

Un rapport détaillé a été approuvé par les participants, après quelques modifications mineures. Il est trop long pour être publié mais on pourrait en préparer une version abrégée pour publication dans la littérature.

*b) Comparaison de mesures de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM par circulation d'instruments de transfert. Coordonnateur : V. D. Huynh (85-3 et 85-8)*

Cette comparaison a été décidée par la Section III en 1983, après une période de deux ans pendant laquelle le BIPM a étudié les caractéristiques d'un certain nombre d'instruments de transfert susceptibles d'être utilisés. L'ensemble d'instruments de transfert qui a été choisi comprend :

- deux chambres d'ionisation Exradin T2 à paroi équivalente au tissu (TE) + capuchons TE de 1, 2, 3, 4, 5 et 6 mm d'épaisseur,
- une chambre d'ionisation Exradin MG2 à paroi de magnésium + capuchons Mg de 1, 2, 3, 4, 5 et 6 mm d'épaisseur,
- un compteur Geiger-Müller (GM) à compensation d'énergie (+ tube GM supplémentaire),
- 60 m de câble triaxial avec connecteurs BNC et fiches bananes + adaptateurs,
- un débitmètre pour gaz (type à bille flottante).

L'équipement sera expédié en séquence aux participants, sans accompagnateur, et renvoyé pour contrôle au BIPM avant d'être expédié au laboratoire suivant. Dans le projet de calendrier on a compté deux mois par participant, expédition et contrôles au BIPM compris. Actuellement, onze laboratoires ont prévu de participer entre octobre 1985

et mai 1987. Toutefois, la comparaison sera permanente et d'autres laboratoires pourront s'inscrire sur la liste à leur convenance.

Un protocole détaillé a déjà été préparé et expédié aux participants potentiels ; certains ont répondu en suggérant des modifications. Ces propositions ont entraîné une longue discussion dont voici les conclusions :

— Le kerma dans le plastique A150 (mesuré dans l'air) restera la grandeur à comparer. Il est peu probable qu'on arrive à améliorer sensiblement le plastique A150 et il existe maintenant un fournisseur européen de ce matériau. Il n'est pas possible de faire des mesures de dose en profondeur dans des fantômes de plastique A150 car de tels fantômes ne sont pas disponibles.

— Il n'y aura pas de mesure de dose en profondeur dans les fantômes d'eau.

— Le gaz équivalent au tissu sera fourni par le participant. Il n'est pas commode d'utiliser un gaz de provenance donnée, par exemple du BIPM. Cependant, par mesure de précaution, il faudrait déterminer le rapport des réponses de la chambre avec du gaz TE et avec de l'air.

— Exactitude des instruments de mesure de courant ou de charge. La comparaison de mesures de sources de neutrons (*voir 2a*) a fait apparaître une grande dispersion des mesures absolues de courant entre les différents laboratoires. On décide qu'une comparaison directe de ces mesures n'est pas nécessaire puisqu'on a besoin seulement des rapports à la réponse aux photons.

— Les valeurs  $K_N$  et  $K_G$  doivent être déterminées avec l'équipement du BIPM et avec celui du participant, comme pour la comparaison ENDIP-2.

— Le projet de calendrier sera modifié selon les circonstances, afin d'accélérer le déroulement du programme.

### c) Comparaison ENDIP-2 (85-14)

J. J. Broerse fait un résumé de la comparaison. Sous les auspices du comité CENDOS, une équipe voyageuse accompagnée de son équipement complet a visité 18 groupes dans six pays. L'équipement était similaire à celui qui est proposé ci-dessus pour la comparaison BIPM avec, en plus, des électromètres, de l'argon et des systèmes de circulation du gaz (mais pas de gaz TE), un fantôme, un thermomètre et un baromètre. Les résultats obtenus avec la source de contrôle présentent un écart-type inférieur à 1 %, mais on a remarqué des écarts entre les mesures de courant pouvant atteindre 2 % et qui sont dus aux différences de composition du gaz TE fourni par les participants. Les résultats préliminaires montrent un accord bien meilleur que celui de la comparaison ENDIP-1, grâce à des progrès récents faits en dosimétrie neutronique

et à l'adoption de procédés, d'équipement et de données normalisés. On a constaté que le fait d'accompagner les instruments accélère la comparaison et présente de nombreux avantages techniques.

### 5. Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence disponibles en permanence et à long terme

(E. J. Axton, 85-4, 85-5 et 85-6)

#### a) Méthodes d'activation

Au début de 1984, on a envoyé aux membres de la section un rapport d'activité dans lequel sont discutées les méthodes d'activation utilisées dans des comparaisons précédentes. L'idée est d'expédier aux participants des échantillons à irradier dans un champ de neutrons connu, puis de les retourner au BIPM pour un comptage absolu, ce qui dispenserait les participants de faire des mesures absolues d'activité.

La réaction  $\text{Au}(n,\gamma)$  a été utilisée avec succès dans le passé pour des neutrons thermiques. Il n'est pas nécessaire que le BIPM ait un dispositif de mesure de flux de neutrons étalon ; il suffit qu'il puisse faire des mesures absolues de  $^{198}\text{Au}$ .

La combinaison Nb/Zr a été utilisée avec succès dans le domaine d'énergie de 14 à 15 MeV ; cette méthode donne aussi une estimation de l'énergie de neutrons.

La réaction  $^{56}\text{Fe}(n,p)$  a été utilisée avec succès à 14,8 MeV mais elle nécessite un comptage absolu du  $^{56}\text{Mn}$  dans chaque laboratoire. Il faut donc avoir des sources de contrôle appropriées. Il en est de même de la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  qui a été utilisée avec succès aux faibles énergies (2,5 et 5 MeV), mais a posé de sérieux problèmes de rayonnement diffusé à 14-15 MeV.

La réaction  $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$  nécessite que les laboratoires fassent des comptages absolus aux faibles énergies ou qu'on fasse circuler un instrument de transfert.

En général, les taux de comptage qu'on peut obtenir sont bas et les mesures à plusieurs distances pour déterminer les contributions de rayonnement diffusé ne sont pas possibles.

Il est très difficile de trouver des réactions utilisables pour des énergies autres que celles des neutrons thermiques ou que celles de 14 à 15 MeV. De telles réactions doivent offrir une combinaison correcte de période, section efficace, forme de la section efficace en fonction de l'énergie et une activité du produit de la réaction suffisamment intense pour permettre des mesures absolues exactes. Le transport des sources radioactives est de plus en plus réglementé et difficile, et prend donc plus de temps qu'il y a vingt ans. Les décisions suivantes sont prises :

— Le BIPM fournira des feuilles d'or comme étalon de transfert pour les mesures de fluence de neutrons thermiques.

— Le BIPM fournira des échantillons de Nb/Zr comme étalon de transfert pour les mesures de fluence de neutrons dans le domaine d'énergie de 14 à 15 MeV.

#### b) Instruments de transfert

L'alternative aux méthodes d'activation est la mise au point d'instruments de transfert simples, robustes et transportables, pouvant être gardés au BIPM et expédiés sur demande, sans accompagnateur, aux laboratoires qui en feraient la demande.

Comme dans le cas des méthodes d'activation, le problème des neutrons diffusés se pose avec les instruments de transfert. Toutefois, quand l'instrument mesure le spectre de neutrons, la contribution de neutrons diffusés de faible énergie peut être réduite considérablement.

Sur un total de dix méthodes possibles, le groupe de travail en a retenu trois, à savoir :

- sphères modératrices pour toutes les énergies,
- spectromètre à  $^3\text{He}$  jusqu'à 250 keV,
- spectromètre à protons de recul comportant un scintillateur de stilbène ou un scintillateur de type NE (Nuclear Enterprises) au-dessus de 1 MeV.

Les deux premières méthodes ont été utilisées avec succès dans des comparaisons précédentes. Dans les comparaisons faites avec des sphères, tous les participants utilisaient de grandes distances entre la source et le détecteur et déterminaient les effets du rayonnement diffusé à l'aide de cônes d'ombre ou en ajustant, par la méthode des moindres carrés, la réponse du détecteur en fonction de la distance. J. B. Hunt a montré récemment (*Rad. Prot. Dosimetry*, 9, 1984, p. 105) qu'on peut résoudre les problèmes de géométrie qui se posent à de très petites distances, et qu'on peut déterminer très rapidement la réponse de la sphère en faisant un petit nombre de mesures à de très courtes distances, pourvu que la contribution du rayonnement diffusé soit connue. Une simulation ultérieure de l'expérience par ordinateur montre que les mesures de cône d'ombre peuvent être évitées en faisant davantage de mesures à des distances plus grandes. Après discussion des problèmes concernés, tels que le positionnement automatique des détecteurs à de courtes distances et la surveillance du champ neutronique sans perturbation (appréciable) de ce dernier par le détecteur, les décisions suivantes sont prises :

— Le groupe de travail devrait essayer de faire vérifier la technique Hunt dans quelques laboratoires tels que la PTB, le NBS et le BIPM. Les effets propres à une petite salle de mesure devraient être étudiés.

— Le groupe de travail devrait continuer à étudier les spectromètres à  $^3\text{He}$  et ceux au stilbène, et à chercher des réactions d'activation appropriées pour les autres énergies de neutrons.

## 6. Contribution de la Section III au rapport du président du CCEMRI au CIPM

Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants présente un rapport au Comité International des Poids et Mesures tous les deux ans. R. S. Caswell écrira sa contribution après avoir reçu des suggestions de la part des membres de la Section III. Le président du CCEMRI (E. Ambler, NBS) démissionnera après la prochaine réunion du CIPM, en octobre 1985.

## 7. Activités futures de la Section III

a) Programme de travail proposé pour le groupe de mesures neutroniques du BIPM (85-7, 85-10)

Le programme proposé couvre trois domaines :

— Maintien du système BIPM d'étalons de référence (reliés entre eux) pour les mesures du taux d'émission de sources de neutrons, de fluence de neutrons et de kerma de neutrons. L'exactitude de ces étalons de référence a été montrée lors de comparaisons avec les principaux laboratoires nationaux ; ils sont maintenus en permanence au BIPM et sont disponibles sur demande adressée au BIPM pour le service des pays membres de la Convention du mètre qui souhaitent comparer leurs mesures au plan international.

— Participation du BIPM aux comparaisons internationales.

— Établissement d'étalons de transfert pour comparaisons internationales. Des étalons de transfert pour la mesure du taux d'émission de sources de neutrons, de fluence neutronique et de kerma des neutrons seront établis en permanence au BIPM. Ils seront disponibles sur demande et expédiés, sans accompagnateur, aux laboratoires des pays membres intéressés.

Au cours de la discussion, d'autres propositions sont faites (85-10) :

— Compte tenu de l'importance des neutrons pour la dosimétrie neutronique des individus, dans le domaine d'énergie de quelques keV à quelques dizaines de keV, une comparaison internationale de fluence de neutrons devrait être organisée dans un proche avenir, à une énergie comprise entre 20 keV et 50 keV. Des sources éventuelles de neutrons sont la réaction du scandium (p,n) au NPL et à l'ETL, le faisceau du réacteur de la PTB et la source Sb/Be. Étant donné la pénurie de sources, d'instruments de transfert et de méthodes, il a été décidé de réfléchir au problème pendant les deux années à venir et de le discuter à la prochaine réunion.

— Une comparaison de fluence de neutrons d'environ 20 MeV devrait être organisée dans un proche avenir, car cette énergie est importante

pour la surveillance des individus dans les champs d'énergies élevées des accélérateurs. Certains problèmes sont associés à l'établissement d'étalons de fluence à 20 MeV et il a été décidé de discuter le sujet à la prochaine réunion.

— Compte tenu du développement dans le monde des technologies de réacteurs à neutrons rapides et de réacteurs à fusion, les laboratoires devraient étudier des méthodes de mesure pour la dosimétrie des matériaux de même que pour la dosimétrie médicale. Ceci nécessiterait l'installation de générateurs de neutrons d+T d'intensité élevée dans les laboratoires nationaux et au BIPM. Après une discussion portant sur les sources intenses et les méthodes de mesure, il a été convenu qu'il est prématuré pour la Section III de s'intéresser à ce domaine.

Après quelques changements mineurs apportés au document 85-7, le programme de travail proposé pour le groupe de mesures neutroniques est approuvé ; il se trouve à l'Annexe R(III) 2, page R 98.

#### b) Publicité

Les laboratoires du BIPM et les instruments de transfert transportables doivent être à la disposition de tous les pays membres de la Convention du mètre, mais ils sont d'un intérêt particulier pour les pays dont les laboratoires nationaux n'ont pas de laboratoire de mesures neutroniques et pour les pays qui commencent à s'intéresser à ce domaine. La section pense que certains clients potentiels ignorent l'existence de ces services.

L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique a un vaste programme d'assistance aux pays en développement pour y établir des laboratoires dotés d'étalons secondaires de dosimétrie, en particulier dans le domaine de la radioprotection. Peut-être serait-il possible de coopérer avec l'AIEA, par exemple en invitant un observateur aux prochaines réunions de la Section III. Par ailleurs, les publications du BIPM devraient avoir une plus large diffusion.

Un comité *ad hoc* est constitué (J. J. Broerse et H. Liskien) et chargé de préparer une liste d'adresses appropriée qui circulera entre les membres de la section pour être complétée. Cependant, dans les cas où des mesures neutroniques existent dans les laboratoires nationaux, seul ce dernier sera contacté.

c) J. J. Broerse signale que l'AIEA Advisory Group on Nuclear and Atomic Data for Radiotherapy and Radiobiology se réunira au Radiobiological Institute TNO, du 16 au 20 septembre 1985.

d) En raison du départ prochain à la retraite de certains physiciens de la section des rayonnements ionisants, la Section III craint que le CIPM ne désire modifier les priorités dans les laboratoires du BIPM. Ceci pourrait conduire à une diminution des ressources dont dispose le laboratoire des rayonnements ionisants du BIPM.

La section souligne que des mesures neutroniques exactes sont importantes dans les domaines suivants :

- conception et sécurité des réacteurs,
- recherche dans les domaines de la fusion et de l'état solide,
- protection des individus dans les applications des rayonnements, étant donné que les neutrons présentent des risques particuliers,
- radiobiologie et mécanismes de l'action des rayonnements,
- thérapie neutronique avec des accélérateurs d'énergies élevées,
- contamination neutronique des faisceaux de photons et d'électrons par les accélérateurs d'électrons d'énergie élevée.

L'établissement d'étalons de référence pour la mesure de rayonnements neutroniques est une tâche fondamentale du BIPM, conformément aux directives de la Conférence Générale des Poids et Mesures. Ces références doivent être stables à long terme, permanentes et sont internationales par nature.

Certaines de ces mesures sont nécessaires pour mettre au point les textes législatifs portant sur la protection contre les rayonnements. Le rattachement aux étalons nationaux est généralement requis.

Compte tenu de ces considérations et de quelques autres, la Section III fait une recommandation au CIPM (Recommandation R(III)-1 (1985)).

## **8. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires représentés à la réunion**

Il y a eu, cette fois encore, un échange d'informations très fructueux. La section continue de penser que ce point de l'ordre du jour est très important car il favorise une compréhension mutuelle entre les scientifiques et aide à discerner les diverses possibilités des laboratoires.

## **9. Visite de laboratoires du BIPM**

Le directeur du BIPM a fait visiter de façon détaillée les laboratoires de mesure de  $g$ , des longueurs et des masses.

## **10. Questions diverses**

Néant.

Le président remercie tous les participants et exprime sa gratitude au personnel du BIPM pour son hospitalité. Le directeur du BIPM remercie toutes les personnes présentes et déclare close la septième réunion de la Section III.

Juin 1985, révisé septembre 1985



**Recommandation**  
**de la Section III (Mesures neutroniques) du CCEMRI**  
**présentée**  
**au Comité International des Poids et Mesures**

Maintien et amélioration au BIPM d'instruments de référence et de transfert pour les mesures neutroniques

RECOMMANDATION R(III)-1 (1985)

*Considérant* que la métrologie neutronique est une science jeune, en développement, dans laquelle la cohérence internationale est en train de s'établir,

*considérant* les progrès réalisés dans l'établissement de cette cohérence grâce aux efforts conjoints du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants et du laboratoire de mesures neutroniques du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM),

*considérant* que certains pays membres de la Convention du Mètre, fondant leur décision sur la possibilité de rattacher directement leurs étalons aux étalons primaires du BIPM, ont délibérément choisi d'établir et de conserver comme étalons nationaux des étalons secondaires,

*considérant* que dans le domaine des mesures neutroniques les exactitudes requises par l'industrie, pour la sauvegarde de la santé humaine et dans le domaine des applications biomédicales sont très voisines des exactitudes actuellement atteintes dans les laboratoires de métrologie,

*considérant* que la mise en pratique des textes réglementaires nationaux relatifs à la radioprotection se fonde légalement sur certaines de ces mesures et que le rattachement de ces mesures à un étalon national est habituellement exigé,

la Section III *recommande*

— que les références internationales de mesures neutroniques mises en place au BIPM soient maintenues et améliorées,

— que les dispositions nécessaires soient prises, concernant les moyens en personnel et en matériel, pour que le laboratoire de mesures neutroniques du BIPM puisse étudier et améliorer les instruments de transfert simples, mais de bonne précision, qui ont déjà été testés dans les comparaisons internationales,

— que ces instruments soient maintenus au BIPM et que leur stabilité soit garantie, de manière à développer un système cohérent de mesures neutroniques auquel les laboratoires déjà bien établis, ainsi que ceux qui débutent dans ce domaine, puissent se rattacher.

---

## ANNEXE R(III) 1

---

### Documents de travail présentés à la 7<sup>e</sup> réunion de la Section III du CCEMRI

---

Ces documents de travail peuvent être obtenus sur demande adressée au BIPM.

Document  
CCEMRI(III)/

- 85-1 NPL (Royaume-Uni). — The development of international measurement standards, by W. A. Jennings, D. Smith and E. J. Axton, *J. Soc. Radiol. Prot.* **4**, 1984, pp. 166-176.
- 85-2 Results of an intercomparison of neutron source emission rates (1979-1984), by E. J. Axton, 42 pages.
- 85-3 BIPM. — Measurement protocol for BIPM neutron dosimetry intercomparisons, 11 pages.
- 85-4 BIPM. — Calibration of spherical moderating detectors at short distance, by E. J. Axton, 7 pages.
- 85-5 NPL (Royaume-Uni). — Letter of 24th April 1985 to E. J. Axton, by J. B. Hunt, 4 pages.
- 85-6 BIPM. — Letter of 2nd May 1985 to J. B. Hunt, by E. J. Axton, 2 pages.
- 85-7 BIPM. — Proposed neutron measurement programme, 4 pages.
- 85-8 BIPM. — Summary of answers to the preliminary protocol for the BIPM neutron dosimetry intercomparison, 2 pages.
- 85-9 BIPM. — Report on the work carried out at BIPM, by V. D. Huynh, 1 page.
- 85-10 ETL (Japon). — Some comments on future concerns of Section III, by T. Michikawa, 1 page.
- 85-11 ETL (Japon). — Saturation characteristics and gas flow effects on currents of TE and Mg ionisation chambers, by N. Takata and A. Fukuda, 7 pages.

Document  
CCEMRI(I)/

- 85-12 ETL (Japon). — Studies on contribution of  ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$  reaction to associated  $\alpha$  countings in  $\text{T}(d,n){}^4\text{He}$  reaction by measuring  $\Phi_p/\Phi_n$  and its application for  ${}^3\text{H}$  target diagnostics, by T. Michikawa, T. Kinoshita and K. Kudo, 3 pages.
- 85-13 ETL (Japon). — A compact thermal neutron source using  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  reaction for calibration of neutron rem counter, by T. Michikawa, 4 pages.
- 85-14 TNO/GSF (Pays-Bas et République Fédérale d'Allemagne). — Experimental procedures for the on-site neutron dosimetry intercomparison ENDIP-2, by J. Zoetelief and H. Schraube, 11 pages.
- 85-15 AERE (Royaume-Uni). — BIPM sponsored intercomparison of fast neutron fluence determinations. Progress report on use of fission chamber transfer instruments, by D. B. Gayther, 2 pages.
- 85-16 ETL (Japon). — Availability of a  ${}^3\text{He}$  proportional detector as a transfer device for the precise determination of the neutron energies in d+T neutron standard fields, by K. Kudo and T. Michikawa, 12 pages.
- 85-17 ETL (Japon). — Evaluation of efficiencies of fast neutron detectors by Monte Carlo calculations — Proportional counter and recoil telescope, by N. Kobayashi and T. Michikawa, 4 pages.
- 85-18 BCMN/NPL. — International fluence rate intercomparison for 2.5, 5.0 and 14 MeV neutrons, by H. Liskien and V. E. Lewis, 8 pages.
-

## ANNEXE R(III) 2

---

### **Programme de travail proposé pour le groupe de mesures neutroniques du BIPM (Document CCEMRI (III)/85-7)**

---

#### **1. Maintien d'étalons de référence**

L'établissement d'étalons de référence pour la mesure de taux d'émission de sources de neutrons, de fluence neutronique et de kerma neutronique est une tâche fondamentale du BIPM, conformément aux directives de la Conférence Générale des Poids et Mesures. Ces références doivent être stables à long terme, permanentes et indépendantes sur le plan international.

Des mesures neutroniques exactes sont nécessaires en médecine (dosimétrie pour la radioprotection et la radiothérapie), dans l'industrie et la recherche, et pour étalonner des instruments de transfert utilisés dans les étalonnages entre laboratoires. Pour promouvoir les comparaisons internationales de mesures diverses dans le domaine des neutrons : taux d'émission de sources, fluence, kerma et équivalent de dose, le BIPM a établi un système d'étalons de référence reliés entre eux et dont l'exactitude a été prouvée lors de comparaisons internationales avec les principaux laboratoires nationaux. Les étalons de référence sont maintenus en permanence au BIPM et sont disponibles sur demande adressée au BIPM par les pays membres de la Convention du mètre qui désirent comparer leurs mesures sur le plan international.

Comparée à la situation existant dans d'autres domaines, tels que masses, longueurs et temps, la métrologie neutronique est une science jeune, encore en développement, où l'établissement d'une cohérence internationale des mesures est en cours. Les exactitudes obtenues actuellement dans les laboratoires nationaux ne sont pas encore suffisantes pour répondre aux besoins de l'industrie, de la radioprotection et des applications biomédicales.

##### *a) Taux d'émission de neutrons de sources radioactives transportables*

Actuellement, la méthode la plus commode et la plus exacte pour mesurer les taux d'émission de sources de neutrons est la méthode du

bain de manganèse. Le dispositif du BIPM peut être utilisé pour étalonner des sources ayant des spectres de neutrons très variés et dont les taux d'émission sont compris entre  $10^4$  et  $10^8 \text{ s}^{-1}$ , avec une exactitude de 0,5 % à 1,5 % selon le spectre des neutrons. Les sources de neutrons peuvent être envoyées au BIPM pour étalonnage ou une source de neutrons étalonnée peut être prêtée sur demande.

#### b) Débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques

Bien que les sources de neutrons « radioactives » aient de nombreuses applications et présentent des avantages variés, leur intensité est limitée et elles ne sont pas monocinétiques. Les instruments de détection des neutrons sont conçus pour avoir des fonctions de réponse en énergie correspondant à des buts déterminés. Ainsi, ils peuvent être indépendants de l'énergie ou avoir une réponse qui varie en fonction de l'énergie des neutrons de la même manière que l'équivalent de dose. Pour vérifier la réponse en énergie de ces instruments, il faut disposer de champs d'étalonnage de neutrons rapides monocinétiques. Les deux énergies de neutrons les plus utilisées sont 14,8 MeV et 2,5 MeV car elles sont peu onéreuses. Elles peuvent être produites par l'accélérateur du BIPM qui donne des débits de fluence respectifs de  $1,2 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  et  $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  pour 14,8 MeV et 2,5 MeV, à une distance de 10 cm de la cible. L'exactitude du débit de fluence de neutrons est de 1,5 %. On peut envoyer des instruments au BIPM pour étalonnage dans ces champs neutroniques.

#### c) Kerma de neutrons

Le kerma de neutrons est important pour la dosimétrie neutronique en radiobiologie et radiothérapie, et en radioprotection. Une chambre d'ionisation à cavité en plastique équivalent au tissu (TE), avec un dispositif associé de circulation de gaz TE, constitue l'étalon de mesure du kerma de neutrons. Après étalonnage dans un faisceau étaloné de photons de référence, et avec des facteurs de conversion appropriés, la chambre permet d'obtenir le kerma. Une autre solution consiste à étalonner la chambre dans un faisceau de neutrons étaloné en termes de fluence et à calculer le kerma à partir de facteurs de conversion agréés sur le plan international. Pour séparer les contributions des neutrons et des photons dans le kerma total, on utilise un compteur Geiger-Müller à compensation d'énergie et une chambre d'ionisation à cavité en magnésium, à circulation d'argon. Les instruments peuvent être envoyés au BIPM pour étalonnage ; le dispositif du BIPM peut aussi être expédié aux laboratoires sur demande. Cependant, les petits cyclotrons (jusqu'à 15 MeV) ne donnent pas les résultats escomptés en radiothérapie. La tendance, à l'avenir, sera d'utiliser des énergies plus élevées.

#### d) Équivalent de dose neutronique

Il est possible d'étalonner des instruments en termes d'équivalent de dose neutronique par exposition dans un champ neutronique étalonné en termes de fluence et en utilisant des facteurs de conversion fluence/équivalent de dose agréés sur le plan international.

La possibilité de mesurer l'équivalent de dose pour une profondeur fixée dans un fantôme TE à l'aide d'un compteur proportionnel TE est à l'étude.

## 2. Participation du BIPM aux comparaisons internationales

### a) Sources de neutrons

Un rapport a été préparé sur les résultats de mesures d'une source de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  à fission spontanée ; 14 laboratoires ont participé à ces mesures.

Aucune autre comparaison de source de neutrons n'est prévue dans un avenir proche.

### b) Fluence de neutrons monocinétiques

— Les résultats de la comparaison de mesures à l'énergie de neutrons de 14,8 MeV utilisant la réaction  $\text{In}(n,n')$  comme méthode de transfert sont à l'étude.

— La comparaison de mesures aux énergies de neutrons de 144 keV et 565 keV utilisant un compteur proportionnel comme instrument de transfert est en cours.

— La comparaison utilisant une chambre à fission comme instrument de transfert à plusieurs énergies de neutrons est en cours.

Aucune autre comparaison de mesures de fluence de neutrons monocinétiques n'est prévue dans un avenir proche.

### c) Kerma de neutrons

Le BIPM a pris part à la comparaison de kerma dans le plastique A150 qui a eu lieu au NPL en 1983, ainsi qu'à la comparaison ENDIP-2 organisée sous les auspices du comité CENDOS.

Une comparaison de kerma dans le plastique équivalent au tissu (TE) (mesuré dans l'air) à 14,8 MeV est en cours. Cette comparaison, organisée par le BIPM, consiste à expédier aux divers participants en séquence la chambre d'ionisation à cavité TE et les détecteurs de photons associés décrits dans la présente annexe, en 1c. Onze laboratoires ont exprimé le désir d'y participer. L'équipement de référence du BIPM

sera en permanence à la disposition des pays qui s'intéresseront ultérieurement aux mesures de kerma et souhaiteraient participer à la comparaison.

### 3. Établissement d'étalons de transfert pour comparaisons internationales

#### a) Sources de neutrons

Les sources de neutrons étalons Ra-Be( $\alpha$ ,n), Ra-Be( $\gamma$ ,n) et Am-Be( $\alpha$ ,n) du BIPM sont disponibles comme instruments de transfert pour des mesures de taux d'émission de sources de neutrons.

#### b) Fluence neutronique

Des mesures de fluence neutroniques à des énergies définies peuvent être comparées par des méthodes d'activation neutronique ou au moyen d'instruments de transfert.

Ces deux méthodes ont été décrites à l'occasion de comparaisons internationales précédentes. Le problème le plus sérieux dans les deux cas est la présence de neutrons diffusés par l'environnement.

— Méthodes d'activation. — Le but est de choisir, pour chaque énergie de neutrons, une réaction nucléaire offrant une combinaison appropriée de section efficace, de variation de la section efficace avec l'énergie des neutrons, le spectre d'émission de rayonnement  $\gamma$  et la période de l'activité induite, pour permettre au BIPM d'expédier aux participants des échantillons du matériau choisi à irradier dans un faisceau de neutrons, puis de faire des mesures d'activité après retour au BIPM. Cette méthode dispense les participants de faire des mesures absolues d'activité.

Pour les mesures de fluence de neutrons thermiques, la réaction  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$  est appropriée, pourvu que l'intensité de la fluence à comparer soit suffisamment élevée et que les échantillons soient retournés au BIPM un ou deux jours après les irradiations.

Les méthodes les plus appropriées pour les énergies de neutrons comprises entre 14 et 15 MeV sont les réactions  $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92}\text{Nb}^m$  et  $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}^{g+m}$ . L'avantage de cette combinaison est que la fluence neutronique peut être obtenue à partir de l'activité induite du Nb et que l'énergie précise des neutrons peut être obtenue à partir du rapport des deux activités.

Le groupe de travail de la Section III du CCEMRI étudie des réactions susceptibles de convenir pour d'autres énergies de neutrons.

— Instruments de transfert. — Pour pouvoir être expédié dans différents pays (sans accompagnateur), un instrument doit être stable,

robuste et facile à utiliser avec un équipement électronique associé simple. L'instrument le plus approprié dans ce cas est la sphère modératrice contenant en son centre un détecteur de neutrons thermiques. En faisant des mesures à des distances courtes, l'efficacité de détection de l'instrument et les corrections de diffusion peuvent être déterminées par un ajustement de moindres carrés. L'instrument convient à toutes les énergies de neutrons. Si l'on utilise deux ou trois sphères de dimensions différentes, on peut déterminer l'énergie moyenne des neutrons. Si l'on travaille à des distances rapprochées de la cible, où la fluence est plus grande, les mesures pour chaque énergie peuvent être faites en quelques heures.

Il est prévu, en collaboration avec le programme de la Section III du CCEMRI, d'étudier la possibilité d'utiliser cette méthode de transfert.

c) Kerma de neutrons

Après la fin de la comparaison décrite dans cette annexe, en 2c, l'équipement sera disponible en permanence comme étalon de transfert pour la comparaison du kerma de neutrons dans un plastique équivalent au tissu.

Mai 1985

---



Liste des laboratoires et organisations mentionnés dans le volume

---

AAEC	Australian Atomic Energy Commission, Lucas Heights, Australie
AECL	Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, Canada
AERE	Atomic Energy Research Establishment, Harwell, Royaume-Uni
AIEA/IAEA	Agence Internationale de l'Énergie Atomique, Vienne, Autriche
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie, Australie
BCM/CBNM	Bureau Central de Mesures Nucléaires, Euratom, Geel, Belgique
BEV/ÖFZS	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne, Autriche
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France
CCEMRI	Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants
CEN	Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre d'Études de Bruyères-le-Châtel, France
CENDOS	Collection and Evaluation of Neutron Dosimetry Data
CIPM	Comité International des Poids et Mesures
CNAM	Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France
ECNEU	European Clinical Neutron Dosimetry Group
ENDIP	European Neutron Dosimetry Intercomparison Project
ENEA	Comitato Nazionale per la ricerca e per lo sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative, Rome, Italie
ETL	Electrotechnical Laboratory, Ibaraki, Japon
GSF	Gesellschaft für Strahlen und Umweltforschung mbh, Neuherberg, République Fédérale d'Allemagne
ICRP	International Commission on Radiological Protection, Sutton, Royaume-Uni
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, États-Unis d'Amérique
IER	Institut d'Électrochimie et Radiochimie, EPFL, Lausanne, Suisse

IMM	Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad, URSS
INEL	Idaho National Engineering Laboratory, Idaho Falls, États-Unis d'Amérique
IRK	Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne, Autriche
IRP	Institute of Radiation Protection, Helsinki, Finlande
ISO	International Organization for Standardization
ISS	Istituto Superiore di Sanita, Rome, Italie
JEN	Junta de Energía Nuclear, Madrid, Espagne
LMRI	Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Saclay, France
NAC	National Accelerator Centre, Faure, Afrique du Sud
NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, États-Unis d'Amérique
NIM	Institut National de Métrologie, Beijing, République Populaire de Chine
NIRH	National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj, Danemark
NIRP	National Institute of Radiation Protection, Stockholm, Suède
NPL	National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni
NRC	National Research Council of Canada/Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest, Hongrie
OMS/WHO	Organisation Mondiale de la Santé/World Health Organization, Genève, Suisse
PKNM	Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie, Pologne
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, République Fédérale d'Allemagne
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven, Pays-Bas
SISN	Statens Institutt for Strålehygiene, Oslo, Norvège
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
TNO	Radiobiological Institute TNO, Rijswijk, Pays-Bas
UDZCAV	Ústav Dozimetrie Záření Československé Akademie Věd, Prague, Tchécoslovaquie
VGKRI	V. G. Khlopin Radium Institute, Leningrad, URSS





## *Notice for the reader of the English version*

*In order to make the reports of the various Comités Consultatifs more accessible to the many readers who are more familiar with the English language than with the French, the Comité International des Poids et Mesures has decided to publish an English version of these reports. The reader must however be aware that the official report is always the French one. The English version is published for convenience only. If any matter gives rise to controversy, or if an authoritative reference is needed, the French text must be used. This applies especially to the text of the recommendations submitted to the Comité International des Poids et Mesures.*

## **Avertissement au lecteur de la version anglaise**

Afin de rendre plus facile l'accès aux rapports des divers Comités Consultatifs pour de nombreux lecteurs qui sont plus familiers avec la langue anglaise qu'avec la langue française, le Comité International des Poids et Mesures a décidé de publier une version en anglais de ces rapports. Le lecteur doit cependant prendre garde au fait que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. La version anglaise n'est publiée que pour faciliter la lecture. Si un point quelconque soulève une discussion, ou si une référence autorisée est nécessaire, c'est toujours le texte français qui doit être utilisé. Ceci s'applique particulièrement au texte des recommandations proposées au Comité International des Poids et Mesures.

**COMITÉ CONSULTATIF  
POUR LES ÉTALONS  
DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS**

1985

---

The present volume includes the following reports :

- 11th Session of the Comité Consultatif pour les Étalons de  
Mesure des Rayonnements Ionisants,
  - 8th Meeting of Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons),
  - 8th Meeting of Section II (Mesure des Radionucléides),
  - 7th Meeting of Section III (Mesures neutroniques).
-

---

NOTE  
ON THE ORGANS OF  
THE CONVENTION DU MÈTRE

---

The Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) was set up by the Convention du Mètre signed in Paris on 20 May 1875 by seventeen States during the final session of the Diplomatic Conference of the Metre. This Convention was amended in 1921.

BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 m<sup>2</sup>) of the Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) placed at its disposal by the French Government; its upkeep is financed jointly by the Member States of the Convention du Mètre\*.

The task of BIPM is to ensure worldwide unification of physical measurements; it is responsible for:

- establishing the fundamental standards and scales for measurement of the principal physical quantities and maintaining the international prototypes;
- carrying out comparisons of national and international standards;
- ensuring the co-ordination of corresponding measuring techniques;
- carrying out and co-ordinating determinations relating to the fundamental physical constants that are involved in the above-mentioned activities.

BIPM operates under the exclusive supervision of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) which itself comes under the authority of the Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

The Conférence Générale consists of delegates from all the Member States of the Convention du Mètre and meets at present every four years. At each meeting it receives the Report of the Comité International on the work accomplished, and it is responsible for:

- discussing and instigating the arrangements required to ensure the propagation and improvement of the International System of Units (SI), which is the modern form of the metric system;
- confirming the results of new fundamental metrological determinations and the various scientific resolutions of international scope;
- adopting the important decisions concerning the organization and development of BIPM.

The Comité International consists of eighteen members each belonging to a different State; it meets at present every year. The officers of this committee issue an Annual Report on the administrative and financial position of BIPM to the Governments of the Member States of the Convention du Mètre.

The activities of BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement for electricity (1927), photometry (1937), and ionizing radiations (1960). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929 and two new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories.

---

\* As of 31 December 1985 forty-seven States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, German Democratic Rep., Germany (Federal Rep. of), Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep.), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

Some forty physicists or technicians are working in the BIPM laboratories. They are mainly conducting metrological research, international comparisons of realizations of units and the checking of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in *Procès-Verbaux des séances du Comité International* gives the details of the work in progress. BIPM's annual appropriation is of the order of 13 144 000 gold francs, approximately 23 850 000 French francs (in 1985).

In view of the extension of the work entrusted to BIPM, CIPM has set up since 1927, under the name of *Comités Consultatifs*, bodies designed to provide it with information on matters that it refers to them for study and advice. These *Comités Consultatifs*, which may form temporary or permanent Working Groups to study special subjects, are responsible for co-ordinating the international work carried out in their respective fields and proposing recommendations concerning units. In order to ensure worldwide uniformity in units of measurement, the *Comité International* accordingly acts directly or submits proposals for sanction by the *Conférence Générale*.

The *Comités Consultatifs* have common regulations (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 31, 1963, p. 97). Each *Comité Consultatif*, the chairman of which is normally a member of CIPM, is composed of delegates from the major metrology laboratories and specialized institutes, a list of which is drawn up by CIPM, as well as individual members also appointed by CIPM and one representative of BIPM. These committees hold their meetings at irregular intervals; at present there are eight of them in existence:

1. The *Comité Consultatif d'Électricité (CCE)*, set up in 1927.
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)*, new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie* set up in 1933 (between 1930 and 1933 the preceding committee (CCE) dealt with matters concerning Photometry).
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)*, set up in 1937.
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)*, set up in 1952.
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)*, set up in 1956.
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)*, set up in 1958. In 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of X and  $\gamma$  rays, electrons); Section II (Measurement of radionuclides); Section III (Neutron measurements); Section IV ( $\alpha$ -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II made responsible for its field of activity.
7. The *Comité Consultatif des Unités (CCU)*, set up in 1964 (this committee replaced the « Commission for the System of Units » set up by the CIPM in 1954).
8. The *Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM)*, set up in 1980.

The proceedings of the *Conférence Générale*, the *Comité International*, the *Comités Consultatifs*, and the *Bureau International* are published under the auspices of the latter in the following series:

- *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* (this collection for private distribution brings together articles published in scientific and technical journals and books, as well as certain work published in the form of duplicated reports).

The *Bureau International* also publishes monographs on special metrological subjects and, under the title « Le Système International d'Unités (SI) », a booklet, periodically up-dated, in which all the decisions and recommendations concerning units are collected.

The collection of the *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 volumes published between 1881 and 1966) ceased in 1966 by a decision of CIPM.

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of CIPM, has published articles on the more important work on scientific metrology carried out throughout the world, on the improvement in measuring methods and standards, on units, etc., as well as reports concerning the activities, decisions, and recommendations of the various bodies created under the *Convention du Mètre*.





AGENDA  
for the 11th Meeting

---

1. Reports of the three CCEMRI Sections and related BIPM work.
  2. Discussion of the CCEMRI Chairman's report to CIPM.
  3. Other business.
-

---

REPORT  
OF THE  
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE  
DES RAYONNEMENTS IONISANTS  
(11th Meeting — 1985)  
TO THE  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by R. S. CASWELL, Rapporteur

---

**Abstract.** An account of the activity during the past two years and of the plans for future work is given for the three Sections of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants. Among various topics discussed by Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) were the following: the importance of the determination of absorbed dose in water, the need to continue comparisons of exposure standards, the participation of BIPM in the comparisons of Fricke dosimeters organized by national and international laboratories, the adoption of some new recommended values of physical constants used in dosimetry, the implications of the introduction by ICRU of new dose-equivalent quantities, and the reports of the Working Group on uncertainty estimates. Section II (Mesure des radionucléides) studied the results of a  $^{133}\text{Ba}$  full-scale comparison and a  $^{109}\text{Cd}$  small-scale comparison, and made plans for a comparison of  $^{125}\text{I}$ . The progress of the BIPM international reference system was reported. The working groups presented progress reports covering the two-year period, among which were some recent results in counting statistics. Section III (Mesures neutroniques) made a detailed study of the results of the comparisons which have been completed ( $^{252}\text{Cf}$  source, neutron fluence comparisons using the  $^{115}\text{In}(n,n')$ , Nb/Zr and  $\text{In}(n,\gamma)$  methods, NPL neutron dosimetry comparison), and considered the status of the comparisons under way ( $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$ , BIPM neutron-dosimetry comparison). The reports of the Section chairmen were followed by a presentation of the work carried out at BIPM by the corresponding groups. All three sections made recommendations to CIPM concerning the maintenance and development of the BIPM Ionizing Radiation Section.

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI\*) held its eleventh session at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres, on July 24, 1985.

Present :

E. AMBLER, member of CIPM, Chairman of CCEMRI.

W. H. HENRY, Chairman of Section I; National Research Council of Canada (NRC), Ottawa.

H.-M. WEISS, Chairman of Section II; Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig.

R. S. CASWELL, Chairman of Section III; National Bureau of Standards (NBS), Gaithersburg.

J. G. V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited (AECL), Chalk River.

The Director of BIPM (P. GIACOMO).

Also attended the meeting : J. TERRIEN, Director Emeritus of BIPM ;

T. J. QUINN, Deputy Director of BIPM ; A. ALLISY, A. RYTZ,

J. W. MÜLLER, V. D. HUYNH, G. RATEL, Mme D. MÜLLER (BIPM) ;

Mme M. BOUTILLON, Mlle M.-T. NIATEL and Mme A.-M. PERROCHE,

guest workers at BIPM ; E. J. AXTON.

The chairman, E. Ambler, opened the session and welcomed J. G. V. Taylor who will be succeeding H.-M. Weiss as Chairman of Section II of CCEMRI following this meeting. After some introductory remarks by P. Giacomo, R. S. Caswell was appointed rapporteur.

## **1. Reports of the three Sections of CCEMRI and related BIPM work**

Each Chairman summarized his Section's activities and the BIPM staff presented the recent work carried out in the ionizing-radiation laboratory.

### **Section I — X and $\gamma$ rays, Electrons (Chairman : W. H. Henry)**

W. H. Henry introduced his discussion with the remark that by far the best method to compare primary standards is at a central reference laboratory, the BIPM. Countries without primary standards, and those dependent on the IAEA Secondary Standard Dosimetry Laboratory

---

\* The laboratories and organizations mentioned in the report are listed on page R 103.

network (SSDLs), are dependent on BIPM for calibration of their instruments. For this reason, Section I prepared a resolution, Recommendation R(I)-1 (1985), which recommends that the system of standards for ionizing radiations established at BIPM should be maintained and developed, and that sufficient staff at BIPM should be provided for this task (*see* p. R 163).

W. H. Henry emphasized that the determination of absorbed dose in water is of primary concern for radiotherapy. Improved imaging techniques are providing better information, both yielding more accurate absorbed-dose distributions, and increasing the need for planning efforts to improve the measurements of absorbed dose. In response to a question from E. Ambler with respect to comparisons of absorbed dose in water, W. H. Henry replied that a comparison of absorbed dose in water between NBS and NRC, based on graphite calorimeters at both laboratories, showed agreement to 0,3 %, although both could be wrong in the absolute value. Absorbed dose can be measured with a graphite calorimeter to an accuracy better than 0,5 % ( $1\sigma$ ). Measurement of absorbed dose in water shows a somewhat greater uncertainty, but still less than 1 %. A. Allisy mentioned that four graphite calorimeters from national standards laboratories have been brought to BIPM for comparison in the  $^{60}\text{Co}$  beam. The results showed a standard deviation of about 0,2 % (agreement, not accuracy). E. Ambler stated that this was impressive, and asked when it had been done. A. Allisy replied that it had been done six years ago. E. Ambler asked how one gets the absorbed dose in water. A. Allisy replied that a water calorimeter, a development from NBS, was one way. W. H. Henry indicated that an air-filled carbon chamber can be calibrated against a carbon calorimeter in a graphite phantom. Then the ionization chamber can be moved to water, which requires proper corrections to be made, yielding absorbed dose in water.

W. H. Henry mentioned that in the past few years there have been no direct comparisons of calorimeters, but for measurement of absorbed dose in water NPL prepared Fricke dosimeters and sent them to NRC and to AAEC. They were exposed in water phantoms. The results agreed to about 1 % on the basis of a calibration at NPL for exposure. On the other hand, when the calibration was based on a same  $G\varepsilon$  value, where  $G$  is the radiation chemical yield and  $\varepsilon$  is the extinction coefficient, agreement was better (a few tenths of a percent). A similar result was obtained in the BIPM-sponsored comparison a few years ago.

E. Ambler questioned whether this information has been summarized in one place. W. H. Henry replied that it has appeared in reports on

BIPM meetings, and in W. A. Jennings' paper summarizing the work of Section I. E. Ambler said this work is impressive and crucial to the whole field. For example, it will be needed for calibration of dye dosimeters, which are of much practical value. E. Ambler would like this information in a clear summary form for his report to CIPM.

W. H. Henry stated that three comparisons of exposure standards have been made at BIPM, and three elsewhere, during the last two-year period. In one of the BIPM comparisons, an error was picked up in the area of the aperture of the instrument of a participating laboratory. W. H. Henry believes this illustrates an advantage of the BIPM comparison since it is unlikely that such an error would be detected, for example, in a bilateral comparison. A final report on the comparisons made previously at protection levels has been published in the open literature. W. H. Henry also pointed out that Section I has recommended that national and international laboratories, when organizing comparisons of passive dosimeters such as the Fricke dosimeter, also send to BIPM a sample from the batch of dosimeters to be irradiated at a reference point in the BIPM water phantom where the absorbed dose in water is known. This appears in Recommendation R(I)-3 (1985) of the Section I report to CIPM (*see* p. R 164).

In response to a question by E. Ambler, A. Allisy stated that BIPM does have both graphite and water phantoms. The graphite phantom is used for comparisons between ionometric and calorimetric standards. The Fricke dosimeter requires use of a water phantom. E. Ambler wondered if these would work at protection levels. In response, A. Allisy said that ICRU has proposed a new set of dose-equivalent quantities which provide careful definitions of what should be measured for radiation protection. These new procedures or conventions are defined in terms of a spherical tissue-equivalent (TE) phantom. They should improve the accuracy of measurements at the protection level. W. H. Henry indicated that it may be desirable to repeat some comparisons or ship a transfer instrument to BIPM for comparison in the BIPM water phantom.

E. Ambler wondered if the  $^{60}\text{Co}$  source is still strong enough to be useful and what would be the cost of replacing it. In response, A. Allisy said the source is now about nine years old and is at about the lower limit for calorimeters. It is intense enough for ionization-chamber measurements. In response to the question about the cost of replacing the  $^{60}\text{Co}$  source at BIPM, information supplied after the meeting indicates that this would be about 400 gold kilofrancis.

W. H. Henry continued by pointing out that new stopping-power values available from ICRU lower the carbon-chamber exposure value

by 0,75 %. The stopping-power change also affects the value of  $W$  (energy per ion pair) since in measurements the product  $W \cdot s$  is usually determined; therefore, a change in  $s$  changes  $W$ . BIPM has done an evaluation of both  $W$  and  $g$  (part of electron energy lost in bremsstrahlung, which is a constant necessary in going from exposure to air kerma). Section I recommended that these new values of  $W$ ,  $s$ , and  $g$  should be used by the national standards laboratories beginning January 1, 1986. W. H. Henry also indicated that new values of  $\mu_{en}$  by J. H. Hubbell (NBS) will also change the numerical values of some quantities measured with radiation standards. It is his belief that standards should be changed as seldom as possible.

W. H. Henry pointed out that ICRU has recommended new dose-equivalent quantities, where dose equivalent,  $H$ , is related to absorbed dose,  $D$ , by the relation  $H = DQ$ , where  $Q$  is the quality factor. The new dose-equivalent quantities, such as ambient dose equivalent, are defined in terms of the dose equivalent at a specified point in a spherical TE phantom known as the «ICRU sphere». It is important that BIPM should perform the necessary experiments and calculations so that the quantities of calibration such as exposure and air kerma can be related to the quantities needed for protection, the ICRU dose-equivalent quantities.

W. H. Henry mentioned that a working group studied the uncertainty estimates for primary standards submitted by member laboratories. The combined uncertainties for free-air chambers are about 0,3 %, for graphite-cavity chambers between 0,2 and 0,8 %, and for graphite calorimeters from 0,2 to 0,6 %. It is felt that this exercise was valuable, but there would be no great gain in repeating it.

W. H. Henry said that in the area of processing-level standards, comparisons have been carried out between the NPL and NBS high-dose-rate radiation facilities. Agreement was better than 1 %, which is considered very satisfactory. NPL has facilities to calibrate users' instruments, and IAEA intends to start a service. Therefore, it is believed that BIPM need not, at this time, establish high-dose-rate facilities.

In the area of member laboratory reports, W. H. Henry mentioned that the NBS has developed a carbon-water calorimeter to avoid the exothermic reaction problem in the water calorimeter. Research at NRC has explained the systematic difference due to this reaction by bubbling gases through water and finding that the exothermic reactions may be due to impurities.

W. H. Henry also said that the IAEA reported on its secondary-standard dosimetry laboratory (SSDL) network at the Section I meeting. The advisory group to IAEA recommended that the IAEA have its dosimeters calibrated by BIPM, and that they use ionization chambers in place of TLDs for comparisons, due to the greater accuracy obtainable. In addition, the IAEA has established a Scientific Committee with BIPM and ICRU representatives. IAEA therefore hopes to improve the SSDL network through ties to BIPM. The SSDL network includes 50 countries, of whom about 27 have laboratories that are really functioning. In the area of publicity, W. H. Henry mentioned the paper by W. A. Jennings (*Brit. J. Radiology*, **55**, 1982, p. 691), a paper by W. H. Henry on the 1983 meeting of Section I (*Phys. Med. Biol.*, **29**, 1984, p. 1443), and a joint paper by W. A. Jennings, E. J. Axton and D. Smith (*J. Soc. Radiol. Protection*, **4**, 1984, p. 166) on the work of all three sections.

Presentations by the BIPM guest workers in the areas of X rays,  $\gamma$  rays and electrons followed. Mlle Niatel mentioned calibrations and comparisons for Brazil, Yugoslavia, IAEA, France and China. Also, about 20 calibrations have been done for the neutron dosimetry group. For the Exradin TE chambers, studies were done on the exposure calibration facility in air where stability was found to be about 0,15 %, and for ionization current in a water phantom where a lower stability of about 0,9 % was found. An experimental determination of  $C_\lambda$  was made from these measurements but there is a 1 % experimental uncertainty. The Shonka chamber does not appear to show the same problem as the Exradin chamber.

Mlle Niatel then described the project for the measurement of absorbed dose in water with a graphite chamber placed in a plexiglas support. The absorbed dose in water experimentally determined will be compared to the value of the absorbed dose in water determined from the absorbed dose in graphite by calculation. E. Ambler asked if it would be better if the  $^{60}\text{Co}$  source were stronger. Mlle Niatel replied «yes for a calorimeter, but it is not necessary for ionization chamber measurements». In answer to a question, she indicated that the plexiglas support is not a problem and a correction is made by extrapolating out its thickness.

Mme Boutillon described the calculation for the determination of the perturbation correction,  $k_p$ , due to the presence of the graphite chamber in water. She has made some careful studies of the variation with depth in the water phantom, with and without the chamber, of the ratio of the kerma due to scattered photons compared to the kerma due to primary photons. The variation of this ratio through the elements



of the chamber leads to the determination of  $k_p$ , the perturbation correction.

Mme Perroche has studied the effect of new values of stopping power on the energy per ion pair,  $W$ . The re-evaluation considered the new stopping powers from Berger and Seltzer (1982) and from ICRU (1984), the values of  $\mu_{en}/\rho$  for the scattered beam as well as for the primary beam, and two recent determinations of  $W$ . The result for electrons in dry air is  $W/e = (33,97 \pm 0,06)$  J/C. The previous value recommended by ICRU in 1979 is 33,85 J/C. A. Allisy pointed out that there is a satisfactory agreement between the  $W$  values which do not involve stopping power and those that do.

E. Ambler indicated the need to discuss two items of CCEMRI business: (1) After a short but very successful chairmanship, W. H. Henry has to leave CCEMRI because of his early retirement from NRC, and a successor has to be found. After discussion it was decided to ask J.-P. Simoen from LMRI, France, to be the new Chairman of Section I. During the course of the meeting he accepted. (2) The publication of the CCEMRI Chairman's report to CIPM was discussed. It was decided that it should be published together with the report of this CCEMRI meeting (*see* p. R 127).

## Section II — Radionuclide Measurements (Chairman : H.-M. Weiss)

H.-M. Weiss discussed three comparisons which have taken place since the last meeting. The  $^{137}\text{Cs}$  comparison has been completed and issued as Rapport BIPM-83/8 (1983), and a condensed version has been published by A. Rytz (*Nucl. Instr. and Meth.*, **228**, 1985, p. 506).

In the case of  $^{133}\text{Ba}$ , there have been chemical problems with the solutions used. A new solution was prepared after the second trial comparison and NBS tested its chemical stability. To begin with, six ampoules were distributed. Two measurements were done with  $4\pi$  ionization chambers, first measuring, by each participant in this third trial comparison, the ampoules as distributed, and secondly transferring them to a laboratory ampoule. Stability was checked and also a check was made for wall adsorption which was found to be negligible. Section II was then ready for a full-scale comparison which began in 1984. Ampoules were distributed by NBS to North and South America and by PTB to the rest of the world. Nineteen laboratories participated, the final results giving 0,36 % standard deviation of the mean. Yet there may be a metrology problem, because a multiparameter extrapolation

by NPL led to a 5 % spread, indicating an unresolved problem. The final report on the comparison was considered at the Section II meeting.

The other comparison was that of  $^{109}\text{Cd}$ , which is important for the calibration of photon spectrometers, due to its 88 keV gamma ray. However, the apparent simplicity of its decay scheme could be misleading. It is also important on its own for use in industry for X-ray fluorescence analysis.  $^{109}\text{Cd}$  has a metastable state which makes use of the coincidence measurement technique impossible. A pure solution of  $^{109}\text{Cd}$  was obtained from NAC and sent to BIPM and then to OMH for distribution. The trial comparison was carried out by six participating laboratories. The overall spread in the results was 1,7 %, the standard deviation of the weighted mean was 0,25 %, and the standard deviation of the mean was 0,5 %. Nineteen laboratories have expressed interest in a full-scale comparison.

H.-M. Weiss also mentioned that the *Système international de référence* (SIR) has measured 300 independent samples of 45 radionuclides.

H.-M. Weiss then mentioned the efforts of three of the working groups set up by Section II. The first is on high-efficiency NaI systems, coordinated by G. Winkler (IRK). Such systems use a well crystal or two crystals for integral counting. Efficiency is calculated based on the photon attenuation coefficients in NaI, and adjusted using standard sources. A very good agreement is found to a few tenths of a percent. The technique is particularly good for the determination of complex decay schemes. The main problem is to get a good dead-time correction.

A second working group is concerned with the production of thin sources and associated chemical problems. This group, headed by D. C. Santry (NRC), has surveyed laboratories for special methods for preparing thin sources. Seventeen replies have been received out of 50 requests. The working group will prepare a report in the next two-year period.

E. Ambler asked what was the importance of thin sources. H.-M. Weiss replied that they are needed for absolute counting by the  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  coincidence method; the thinner the source the more accurate the activity measurement can be.

A third working group is concerned with non-chemical problems in the activity calibration of radionuclides. H.-M. Weiss is the coordinator. Twenty radionuclides of greater or lesser difficulty are being studied. A report is expected in the next two-year period.

J. G. V. Taylor, who is to succeed H.-M. Weiss as the Chairman of Section II, discussed the plans for future work of this section. Following

the success of the trial comparison of  $^{109}\text{Cd}$ , a full-scale comparison of  $^{109}\text{Cd}$  will be carried out. It will be organized by the BIPM and OMH.  $^{125}\text{I}$  is the next radionuclide considered for comparison because it is widely used in nuclear medicine and requires measurement techniques not used in previous comparisons. It is an electron-capturing nuclide, but the following gamma transition is highly internally converted, yielding X rays indistinguishable from those emitted in the electron capture process. E. Ambler asked, in view of this difficulty, how to count this nuclide. J. G. V. Taylor replied that one looks for X-ray coincidences. A trial comparison will be done first. J. G. V. Taylor feels it is always a good idea to do a trial comparison since a full-scale comparison is expensive. E. Ambler wondered if there were any particular complications in this comparison. J. G. V. Taylor replied that one must be very careful with iodine chemistry. There are problems in the silicone treatments of glass. In response to E. Ambler's remark that it sounded complicated, J. G. V. Taylor believes that the  $^{125}\text{I}$  comparison will prove simpler than  $^{133}\text{Ba}$  or  $^{109}\text{Cd}$ . It is also important because it is not measurable by the SIR.  $^{125}\text{I}$  has a half-life of 60 days which is all right. It is not practical to have comparisons of nuclides with half-lives less than two weeks.

J. G. V. Taylor mentioned that there is a revival of interest in internal gas counting as developed by W. B. Mann at NBS. D. D. Hoppes (NBS) will inquire about the interest in this subject on the part of the national standards laboratories. The technical interest in gas counting is due to the use of  $^{133}\text{Xe}$  in nuclear medicine, to  $^{85}\text{Kr}$  which is important in waste management since it is not easily removed chemically, and to  $^3\text{H}$ . E. Ambler asked if there was interest in radon. H.-M. Weiss replied that it is not measured in this way; it is measured by alpha-ray measurements on the daughter products. This was followed by discussion on the gas-handling problem, and how one can remove  $^{85}\text{Kr}$  (which is to absorb it in charcoal at liquid  $\text{N}_2$  temperature).

J. G. V. Taylor also mentioned the possibility of another comparison at very high count-rates. The state of the art in this field has been improved considerably, partly based on the work of J. W. Müller at BIPM. E. Ambler asked what is the limit. Is it the detector? J. G. V. Taylor replied that these detectors are quite fast. The gas proportional counter can do  $10^6$  counts per second and liquid scintillators are even faster. The limit is usually the stability of the electronics. Müller's system, which uses a large dead time, sacrifices speed in order to achieve higher accuracy, especially at high count-rates.

Discussion of possible new members for Section II took place. It was decided that the OMH should be invited to be a member laboratory of Section II, and that W. Bambynek (CBNM) and G. Winkler (IRK) should be invited to be technical expert members of Section II.

In connection with the work at the BIPM, A. Rytz spoke of the work on radionuclide comparisons. Regarding  $^{133}\text{Ba}$ , it is interesting to note that the Section II comparison results and the SIR results showed the same mean value.

The  $^{109}\text{Cd}$  trial comparison was successful. To determine the activity concentration independently of the internal conversion coefficient it is necessary to measure both conversion-electron and gamma-ray emission rates. The reference date of the  $^{109}\text{Cd}$  full-scale comparison will be March 1986. BIPM may not participate since its pressure counter may not be ready at that time. The trial comparison for  $^{125}\text{I}$  will be in the fall of 1986.

A new electronic system for current measurements has been built for the ionization-chamber measurements (SIR). The ionization chamber used for gamma-ray measurement has some sensitivity to the «bremsstrahlung» from beta rays. To make a correction for the beta rays BIPM has studied the sensitivity of the ionization chamber using pure beta-ray emitters:  $^{204}\text{Tl}$ ,  $^{32}\text{P}$  and  $^{90}\text{Y}$ ; and  $^{144}(\text{Ce}+\text{Pr})$  which also emits some gamma rays. In addition to a new curve for beta-ray efficiencies, a recalculated curve for gamma-ray efficiencies has been obtained, which is important in order to be able to make corrections for radionuclidic impurities. This gamma-ray efficiency curve is not very different from the curve of two years ago, but does include many more data and is therefore more satisfactory. Up to the present, 413 ampoules, 288 results, and participation by 24 laboratories for 46 radionuclides have been obtained with the SIR system. These include some with short half-lives. R.S. Caswell asked how often a surprising result is obtained. A. Rytz replied about 3 or 4 times a year. Sometimes, something is wrong with the national standards laboratory's activity measurement, other times it may be something as simple as miscalculating the reference time.

A. Rytz then spoke about alpha-ray energy measurements using the BIPM 180°, uniform-field, magnetic spectrometer. It is the only instrument in the world conceived for absolute alpha-ray energy measurement. Over the years he has measured the alpha-ray energies for 26 radionuclides and the 27th is in progress. Most recently, he has measured  $^{252}\text{Cf}$  with  $^{250}\text{Cf}$  as impurity. He agrees with Baranov (Moscow) for the energies, but the accuracy obtained is much higher. E. Ambler asked whether anyone would continue this work after A. Rytz's retirement. A. Rytz thought this was doubtful. He has long experience in this field, which

would be difficult to find. Also, there are not too many radionuclides left to measure.

G. Ratel, of the BIPM radioactivity group, is studying radioactivity measurements and proportional counters. He is constructing a new pressurized counter for  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  measurements, as has been done in other laboratories. There are two advantages: one can select the part of the spectrum one wants and change the  $\beta$ -ray efficiency in a continuous and reversible manner. The proportional counter is identical to the one used at PTB for ten years. It will operate in the pressure range 0,1 to 3 MPa and will considerably extend BIPM capability in radioactivity measurements.

J. W. Müller, of the BIPM radioactivity staff, presented some new results in counting statistics. The first result was how to obtain proper statistical weights when measurements are correlated. The formula for the weight, interestingly, can lead to negative values. This rather surprising result led to some discussion of the meaning of a negative weight.

J. W. Müller also presented the results of an analysis which shows that events after a randomly-chosen event are random in time, but those before are not. Further information was presented on definition of a generalized dead-time in high-count measurements. Another scientific result presented by J. W. Müller had to do with the «Gandy effect». The conventional explanation of this effect is not fully adequate and disagrees with measurements at BIPM. Müller's new analysis is consistent with experimental measurements.

### Section III. — Neutron Measurements (Chairman : R. S. Caswell)

R. S. Caswell made a presentation of the rather vigorous programme of neutron measurements carried out under the auspices of Section III during the last two years. Considerable progress has been made, and the plan is, as present comparisons are completed, to continue with a more limited long-term programme.

In the area of neutron-source comparisons, the experimental measurements for the comparison of a  $^{252}\text{Cf}$  source of about  $10^7 \text{ s}^{-1}$  source strength have been completed, the analysis has been done, and the results are now under review in preparation for publication. With the exception of two outlying experimental results, the agreement is rather good. A very thorough statistical analysis of the results by E. J. Axton indicates that if uniform corrections are used the measurements are improved so that all the results lie within a range of 2%. Another interesting result found by E. J. Axton is that when one does the analysis with uniform cross sections and corrections, the apparent difference between the manganous sulphate bath and the use of gold foils in a water bath disappears. The agreement between measurements

shows a significant improvement (dispersion reduced by a factor of 2) over the results of a similar comparison carried out by BIPM (V. Naggiar, in *Recueil de Travaux du BIPM*, Vol. 1, 1966-1967).

A planned comparison of an intense  $^{252}\text{Cf}$  source of nominal neutron emission rate  $10^9 \text{ s}^{-1}$  ran into source-handling problems at NPL. An investigation is now being carried out whether to continue this comparison, restart it with a new source, or possibly abandon it.

Five neutron-fluence comparisons were under way, two of which have been completed and published. The analysis of two others is under way and only one is currently active. The  $^{115}\text{In}(n,n')$  comparison at 2,5 and 5 MeV was coordinated by H. Liskien (CBNM). Five of the six results at 2,5 MeV are in very close agreement (about 1 %). The spread of the results at 5 MeV is about 4 %. This comparison has been published by H. Liskien (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 55). The use of this transfer method at 14,8 MeV is less successful than at the two lower neutron energies since, due to the shape of the  $^{115}\text{In}(n,n')$  cross section, the detector is very sensitive to scattered neutrons. Therefore, the Nb/Zr method may be better in the 14 MeV region since it is almost completely insensitive to scattered neutrons. E. J. Axton pointed out that to some extent this statement by R. S. Caswell is unfair since knowledge of scattered neutron fields in the laboratory is important and use of Nb/Zr just «pushes these problems under the rug». A continuing analysis is being done of the 14,8 MeV scattered neutron corrections for this comparison by G. Dietze.

The Nb/Zr comparison, coordinated by V. E. Lewis (NPL), in the neutron energy range 14 to 15 MeV has been completed and published (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 49). The results of this comparison showed a spread of perhaps 3 %.

The results of the  $\text{In}(n,\gamma)$  comparison at 0,144 and 0,565 MeV neutron energies are under analysis by the coordinator, T. B. Ryves (NPL).

The only neutron-fluence comparison for which measurements are currently active is that with the fission chambers ( $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$ ), which are being circulated over a period of several years to several laboratories. This comparison is being coordinated by D. B. Gayther (AERE) who designed the chambers. A particularly interesting feature of the comparison is that fluence comparisons in the past have generally used monoenergetic beams from accelerators of the Van de Graaff type. The fission chamber now permits comparisons with linacs, which produce white-spectrum neutrons, as well as with the Van de Graaff which produces monoenergetic neutrons. Three laboratories have now participated. The comparison will go on for several years.

Two comparisons are being carried out in the area of neutron dosimetry. The NPL comparison at 14,7 MeV included measurements both in air and at four points in a water phantom. The results of this

comparison, in which several laboratories participated, are really quite good, leading to standard deviations in total dose of the order of 1 % for the kerma in air. One new favoured method consists in using the tissue-equivalent (TE) chamber coupled with the Geiger-Müller (GM) counter as a neutron-insensitive  $\gamma$ -ray dosimeter. The analysis of the results of this comparison has been completed by V. E. Lewis (NPL), the coordinator, and was reviewed by Section III at its May meeting.

The BIPM long-term transfer instrument comparison is just now starting; the design, test, protocol, and scheduling phases having been completed. Nine laboratories have indicated interest in participation. It is anticipated that the comparison may go on for several years. E. Ambler asked how many hospitals were doing neutron therapy. R. S. Caswell replied that there are about 20 places in the world doing neutron therapy but that it is still considered very much in the research stage. E. Ambler inquired about the future of neutron therapy. R. S. Caswell said there are two camps on this question. One camp feels that neutron therapy is no better than conventional therapy, and therefore is not beneficial, since it is more expensive and complicated. The other camp of radiation therapists believes that it has already been demonstrated that neutrons are better than conventional radiation for certain tumors and that neutrons will therefore become part of the permanent arsenal of radiation therapy, with usage in perhaps 20 % of radiation-treated cases, which is comparable to or larger than the use of electrons in radiation therapy. No one believes that neutrons will ever become as important as high-energy photons in radiation therapy.

V. D. Huynh, of the BIPM staff, then presented some information on the neutron activities at BIPM which included participation in the NPL neutron-dosimetry comparison, which is important to tie in those results to the BIPM transfer-instrument comparison. He has also calibrated the 14,7 MeV neutron beam at BIPM for tissue kerma in free air using absolute fluence measurements combined with kerma factors and compared this result with ionization chamber measurements. The two results agree to within 0,8 %.

In preparation for the long-term transfer-instrument comparison, BIPM has six TE ionization chambers and four Mg/Ar chambers which measure the  $\gamma$ -ray component of the mixed neutron/ $\gamma$ -ray field. There are problems with the Mg/Ar chamber due to flow-rate and polarity effects. It appears that the effects are specific to argon gas. If one goes to TE gas, the polarity effect and the effect on count-rate of gas flow rate go away. J. G. V. Taylor suggested that possibly this could be due to a metastable state in argon.

## **2. Discussion of the CCEMRI Chairman's Report to CIPM**

E. Ambler indicated that he wanted a summary of the state of the art of the comparisons of primary standards for X and  $\gamma$  rays to appear in the report. This should indicate the best national laboratory capabilities particularly in the area of absorbed dose measurement. E. Ambler also suggested that the accomplishments appearing in Table A of the draft report could be made more quantitative and specific, so that the significance of the accomplishment could be understood as well as the fact that something had been done. R. S. Caswell indicated that in the preparation of the draft report from information supplied by the section chairmen, Table B had been prepared by the section chairmen on behalf of BIPM. The BIPM staff should review Table B carefully to see that it is correct.

## **3. Other Business**

Arrangements were made for the work of revising the CCEMRI Chairman's Report on July 25.

R. S. Caswell mentioned that it is an honour to BIPM and CCEMRI that in June A. Allisy was elected Chairman of the International Commission on Radiation Units and Measurements.

E. Ambler was thanked for his long and successful service as Chairman of CCEMRI.

The meeting was adjourned.

September 1985, revised January 1986

---



## APPENDIX R 1

---

### **Report of the Chairman of CCEMRI to the Comité International des Poids et Mesures**

---

Ionizing radiations continue to be used widely for medical diagnosis and treatment, in the production of electrical power, and in a myriad of industrial applications including radiation processing for improving the properties of materials and, in some countries, irradiation for disinfestation and preservation of food.

The use and measurement of ionizing radiations is increasingly a matter of public concern. This concern is expressed through development by most nations of regulatory systems intended to protect citizens from potential radiation hazards. Also, « probability of causation » estimates are now prepared with legal implications for determination of compensation of persons for possible radiation-induced cancer based on dose received and type of cancer involved. As a basis for radiation regulation and litigation, national standards laboratories must provide accurate and consistent measurement standards to serve as the reference upon which radiation measurements in the field can be based and tested.

Consequently, accurate ionizing radiation measurements continue to be of great importance. Measurements of about one per cent accuracy of neutrons, X and gamma rays, and radioactivity are needed for the design of nuclear-reactor electric power plants. Similar accuracy in national measurement standards is required in order to determine the absorbed dose to a tumor to about 5 %, which is generally accepted as necessary in radiation therapy. Achieving such accuracy is difficult on account of the sheer complexity of the interaction of radiation and matter, and the wide-ranging energies and intensities of the several

types of radiation involved. Through a continuing programme of comparisons organized by the three sections of CCEMRI\*, frequently using BIPM facilities and staff, the national standards laboratories are striving to meet this need, and to meet it for a widening range of requirements. Measurements of somewhat lower accuracy, performed at low radiation levels, are required for the protection of workers and the general population, together with the control of the environment. These lower accuracies, frequently about 10 percent in the field, sometimes require accuracies at the national-standards-laboratory level which frequently push the capabilities of these laboratories for difficult radiation measurements, as, for example, for neutrons.

Ionizing-radiation measurements often are crucial to health and safety, for example, in radiation therapy. The central roles of the CIPM and the BIPM in the international measurement system for all of the ionizing radiations are matters of very great importance.

The CCEMRI is presently subdivided into three sections: Section I, X and  $\gamma$  Rays, and Electrons; Section II, Radionuclide Measurements; and Section III, Neutron Measurements. The presentation of the report is organized according to these three Sections. Under each section the following elements are considered:

- A. Need for standards.
- B. Programme of activities planned for 1983-1985.
- C. Accomplishments (against the 1983-1985 plan).
- D. Plans for future work (1985-1987).

BIPM activities directly related to CCEMRI activities are included in the appropriate section of the report.

## Section I — X and $\gamma$ Rays, Electrons

### A. *Need for standards*

It is worth reiterating statements made in previous reports that unique difficulties involved in measuring X and  $\gamma$  rays and electrons, together with the accuracy required in applied dosimetry, make it essential to have radiation standards in order to achieve consistently satisfactory measurements (ensuring the world-wide unification of physical measurements that is the goal of BIPM). Both the range of energies

---

\* Laboratories and organizations mentioned in the report are listed on page R 103.

of the ionizing particles themselves and the range of fluence rates encountered may extend over many orders of magnitude. At environmental and protection levels, there is a continuing widespread concern about the hazards arising from exposure to radiation. The ICRU has recently recommended quantities for use at these levels, and there is a need to provide measurements of the new quantities traceable to national standards. Radiation therapy, of great importance and benefit in the treatment of disease, requires determinations of absorbed dose with accuracies sometimes approaching that of the standards. At high fluence rates, used in industrial processing of medical supplies, foods, etc., the economics of the process influences the accuracy required. The complex nature of the interactions of radiation with matter at all these levels requires that special techniques be used in dosimetry. Only through measurements traceable to a national standard can results be obtained that yield a consistent experience within a nation. The extension to a world-wide scale requires that national standards themselves be joined in a system unified through BIPM.

The determination of absorbed dose in water particularly continues to be of prime importance in radiotherapy. Its direct calorimetric measurement has shown discrepancies, due partly to exothermic reactions in irradiated water, of several percent from values determined via carbon calorimeters. The latter instruments, used by several national laboratories as primary standards of absorbed dose in carbon, have an associated estimated overall standard deviation in a measurement of a few parts per thousand (*see* CCEMRI(I)/85-22), and comparisons of these calorimeters at BIPM have shown agreement within about 0,2 % (*see* CCEMRI(I), 5<sup>e</sup> Réunion, 1979 ; M.-T. Niatel *et al.*, *Phys. Med. Biol.*, **30**, 1985, p. 67). However, the derivation of absorbed dose in water from such measurements, or from measured exposures, involves increased uncertainty, presently of the order of 1 %. Comparisons of absorbed dose in water (CCEMRI(I), 5<sup>e</sup> Réunion, 1979, 6<sup>e</sup> Réunion, 1981, and CCEMRI(I)/85-20, 21), by means of ionization chambers and of Fricke dosimeters, have shown differences of 0,3 % and up to 2,5 %, respectively. Since the required accuracy in therapeutic dose is presently 5 % for some tumours, and since ongoing improvements in imaging techniques suggest that increasing accuracy will be needed, continued effort will be required in establishing adequate measurement standards of absorbed dose in water.

#### B. Programme of activities planned for the period 1983-1985

Comparisons of exposure, air kerma and absorbed-dose standards would continue, and further comparisons of Fricke dosimetry systems would be included.

Detailed estimates of uncertainties associated with measurement standards would be compiled. To this end, a Working Party was set up to collate data for free-air chambers, carbon cavity chambers and carbon calorimeters. Statements of uncertainties would follow the recommendations of the CIPM Working Group on the Statement of Uncertainties (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, **49**, 1981, p. A 11).

It was agreed that changes in measurement standards should be infrequent, but that such changes would be considered in the light of improved data for physical constants, such as those forthcoming for stopping-power ratios.

The problem of determining the absorbed dose in water, whether by direct measurement or by use of conversion factors, would continue to receive attention.

Protection levels and processing levels of irradiation would also be addressed: the former in respect of any new quantities recommended for radiation protection by the ICRU; the latter in respect of progress in setting up reference services by IAEA and national laboratories, and the need for BIPM involvement.

The section agreed that publicity of its work should be provided by publishing reports in appropriate scientific journals.

### *C. Accomplishments (against the 1983-1985 plan)*

Seven comparisons (three at BIPM) of exposure standards for therapy levels were carried out. A discrepancy in one of the comparisons at BIPM led to an improved mechanical measurement of the diaphragm of the national, free-air exposure standard involved. BIPM also calibrated two carbon-walled cavity ionization chambers in  $^{60}\text{Co}$  radiation. One of these calibrations yielded a comparison with the exposure standard of a member laboratory. The special construction of the two transfer chambers will permit their use also as national primary standards of exposure. In addition, calibrations were carried out at BIPM for five countries and for IAEA, in X rays and cobalt beams.

Three member laboratories compared measurements of absorbed dose in water from  $^{60}\text{Co}$  radiation with Fricke chemical dosimeters. Two of these laboratories base their absorbed-dose determinations on carbon calorimeters. It was found that both of these agreed with the Fricke

dosimeter results within several parts per thousand when the value of  $G\varepsilon$  recommended by Svensson and Brahme (*Acta Radiol.* **18**, 1979, p. 326) was used for the chemical dosimetry.

Several comparisons at low levels and at high levels of irradiation were reported. A paper describing the detailed results of the intercomparison previously made at low air kermas (about 0,3 mGy) in radiation beams from  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  at twelve member laboratories was published (P. Spanne *et al.*, *Rad. Prot. Dosimetry*, **6**, 1984, p. 261). Nearly all deviations were less than 5 %. A comparison of the protection-level standards of two laboratories was recently carried out in X rays generated at 150 kV. Another member laboratory participated in the seventh international comparison of integrating dosimeters for environmental monitoring. At processing levels, a comparison of absorbed dose in water in the  $^{60}\text{Co}$  irradiators at two member laboratories showed agreement well within 1 %.

Section I discussed the need for continued comparisons of national primary standards at BIPM. It was felt that comparisons of existing (and future) standards should be repeated from time to time. In cases where the primary standard itself cannot be taken conveniently to BIPM, the value of using a transfer standard was pointed out. In view of increasing concern about radiation and health, and the necessity of preserving the coherence of the world's measurements of ionizing radiations by such continued comparisons, Section I formally recommended that the BIPM's system of standards be maintained and developed in accordance with needs, and that the staff of the BIPM be adequate to perform the necessary tasks (*see* Recommendation R(I)-1 (1985), which appears in the report of Section I to CIPM, p. R 163).

The Working Party on Uncertainty Estimates, set up by Section I at its 7th meeting, collated data for the estimated uncertainty components associated with 19 individual free-air chambers, 12 carbon-walled cavity ionization chambers and 5 carbon calorimeters. It was noted that generally type A uncertainties (those evaluated by statistical methods) were smaller than type B uncertainties (those estimated by other methods). Although individual values given by the participants for an uncertainty component frequently differed by more than an order of magnitude, combined uncertainties (with the exception of those from one laboratory) agreed within a factor of three. Section I felt that the exercise had been useful, but that there would be little benefit gained from repeating it.

In the interval since the previous meeting of Section I, new stopping-power values for electrons had been published. BIPM used these data to re-evaluate  $W$  for air ( $W$  is the mean energy required to produce an ion pair), and to compute  $g$ , the fraction of an electron's initial energy that is lost by radiation. Section I recommended that use of

these new values be initiated in the existing system of standards from January 1, 1986.

In regard to the problem of deriving the absorbed dose to water from ionization chamber measurements, one laboratory reported improved Monte-Carlo calculations of spectra in a water phantom irradiated with X rays. For  $^{60}\text{Co}$  radiation, BIPM is presently working on the determination of the perturbation correction required to take account of the presence of a carbon ionization chamber in a water phantom. BIPM also measured the conversion factor  $C_{\lambda}$  for an Exradin T2 chamber, but the results were inconclusive owing to the lack of stability of the Exradin chamber.

The implications of the quantities newly recommended by the ICRU for determining dose equivalents were discussed by Section I. Considering that increasing accuracy will be required in measurements for protection purposes, and that for world-wide coherence such measurements should be linked to the existing system of exposure and air-kerma standards at BIPM, the Section recommended that BIPM determine factors for deriving ambient dose equivalent from exposure and air kerma for the beam qualities of the existing system (*see* Recommendation R(I)-2 (1985), in the report of Section I to CIPM, p. R 164).

Regarding processing levels of  $^{60}\text{Co}$  radiation, one member laboratory reported that it now calibrates users' dosimetry systems in high-dose-rate fields, and provides a reference service based on dichromate chemical dosimetry. The IAEA has nearly completed arrangements for a measurement-assurance service, to begin in 1985, for its member states. It was felt that traceability of high-absorbed-dose measurements to the international system can be provided by using dosimeters with a suitably wide working range.

To help assure uniformity of measurements of absorbed dose to water at levels up to 200 Gy (the practical upper limit at present at BIPM), the Section recommended that a laboratory, when organizing the distribution of passive dosimeters, send a sample to BIPM to be irradiated to a known absorbed dose in the BIPM water phantom (*see* Recommendation R(I)-3 (1985), in the report of Section I to CIPM, p. R 164).

To publicize the work of Section I, the chairman published a report of the 7th meeting (*Phys. Med. Biol.*, **29**, 1984, p. 1443), and delivered an oral account at the first Inter-American Meeting of Medical Physics. A paper, co-authored by the previous chairman, reviewed the activities of all three Sections of CCEMRI (W. A. Jennings *et al.*, *J. Soc. Radiol. Prot.*, **4**, 1984, p. 166).

#### D. *Plans for future work (1985-1987)*

Comparisons of measurement standards for exposure, air kerma and absorbed dose will continue. With respect to mailed passive dosimeters, used by a national or international laboratory for the purpose of a comparison or of a reference service, samples will be sent to BIPM and irradiated to a known absorbed dose in the BIPM water phantom.

Work will continue on the problem of determining the absorbed dose in a water phantom by direct measurement, by cavity ionization methods and by means of conversion factors for deriving absorbed dose from other quantities.

Factors for deriving ambient dose equivalent, a quantity recently recommended by the ICRU for radiation protection purposes, from exposure and air kerma will be determined.

Progress in the development and intercomparison of standards for use at processing levels of irradiation will be monitored.

Members were encouraged to continue providing information about the work of the Section to appropriate scientific journals and organizations.

## **Section II — Radionuclide Measurements**

### A. *Need for standards*

Radionuclides are widely used in scientific research and applied metrology, in many industrial processes as well as in nuclear medicine. Inevitably they also form an important group of waste products, particularly from nuclear power plants, and from hospitals.

In recent years the demand for radioactivity standards has increased world wide. This increase is mainly due to new or more stringent regulations to protect the public from potential radiation hazards. These regulations require more numerous and more accurate activity measurements in the fields of nuclear medicine and of waste management.

Standards with an accuracy of the order of a few tenths of a percent are required in the field of scientific research, e.g. for the efficiency calibration of semiconductor spectrometry systems used for the measurement of  $\gamma$ - and X-ray emission probabilities that are of great importance for the determination of decay schemes. As has been demonstrated by international comparisons and the international reference

system for activity measurements of  $\gamma$ -ray emitting nuclides (SIR) this accuracy has been reached for a few radionuclides but has yet to be achieved for those which are more difficult to measure.

### B. Programme of activities planned for 1983-1985

A full-scale comparison of  $^{133}\text{Ba}$ , for which 25 laboratories had announced their interest, was planned for spring 1984. The solution was to be prepared and bottled by the NBS, using tested techniques and ampoules. In view of the discrepancy in the results of two preceding trial comparisons the chemical stability of the solution was first to be tested by the laboratories participating in the earlier trials. If this first test, proposed for the end of 1983, proved satisfactory, the remainder of the ampoules were to be distributed for the full-scale comparison.

A trial comparison of  $^{109}\text{Cd}$  was planned for the end of 1984 provided the supply of a sufficiently pure solution could be assured.  $^{109}\text{Cd}$  is of great interest for the efficiency calibration of semiconductor spectrometers. In addition it is frequently used as a source for X-ray fluorescence analysis. As it decays by electron capture via a long-lived metastable state ( $T_{1/2} \approx 40$  s), the conventional coincidence method cannot be used for standardization, and special techniques have to be applied.

Three new working groups, set up at the last meeting, were to start their compilations on :

- thin-source preparation and associated chemical problems ;
- non-chemical difficulties in activity calibrations of certain radionuclides ;
- experiences with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements.

### C. Accomplishments (against the 1983-1985 plan)

#### 1. Completion of activities started in the preceding period

The final report on the full-scale comparison of  $^{137}\text{Cs}$  (May 1982) has been slightly modified in accordance with comments made at the 1983 meeting of Section II and issued as Rapport BIPM-83/8 (1983). A condensed version of it was published in the open literature (A. Rytz, *Nucl. Instr. and Meth.*, **228**, 1985, p. 506).

#### 2. International comparisons

A new  $^{133}\text{Ba}$  solution was prepared in July 1983 by NBS, tested for chemical stability and thereafter bottled into ampoules of the type used



at NBS. Six of these ampoules were distributed in October to the laboratories participating in the trial comparison. The laboratories were asked to determine the activity concentration of the solution first by measuring the original ampoule in their calibrated  $4\pi\gamma$ -ionization chamber, using the mass value indicated by NBS, and then by measurement after gravimetric transfer of the solution into their own ampoules. For all six laboratories the two values differed by less than 0,2 %, indicating a sufficient chemical stability of the solution so that the full-scale comparison could be started. In the spring of 1984 the remaining ampoules were shipped to the other laboratories having announced their interest in this comparison.

Nineteen laboratories have communicated their results to the BIPM. The total range is 1,7 %, and the standard deviation of the mean value amounts to 0,36 %. A draft of the final report was discussed at the last meeting of Section II. It will be slightly revised in accordance with comments from some of the participants and then published as a Rapport BIPM.

After NAC had kindly announced that it could provide the BIPM with a suitable  $^{109}\text{Cd}$  solution the trial comparison was planned for the end of 1984. The primary solution was forwarded to OMH where it was diluted, bottled and shipped to the six participating laboratories. The experimental work is finished. Eight results, obtained by different methods, were reported. The overall spread is 1,7 %, and the standard deviation of the weighted mean value amounts to 0,2 %, which can be considered as a good agreement in view of the difficult measurements required. The drafted report will be completed by some additional information and then issued as a Rapport BIPM.

### 3. International Reference System for activity measurements of $\gamma$ -ray emitting nuclides (SIR)

The system now comprises about 300 independent results from the measurement of 45 different radionuclides. A number of results had to be modified due to an improved procedure for calculating impurity corrections. Measurements and calculations have been carried out in order to determine the effect of bremsstrahlung. Normally its contribution to the ionization current is far below 0,1 % but in special cases it is higher (e.g. with  $^{144}\text{Ce}$  it amounts to more than 30 %). A report entitled « Minimum activity and maximum impurity rates for SIR samples » (Rapport BIPM-83/9) has been distributed to the participating laboratories, and a comprehensive description of SIR has been published (A. Rytz, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **34**, 1983, p. 1047).

The electronic system for measuring the ionization current has been rebuilt. The method is still the same (Townsend balance with stepwise compensation), but several components were replaced or modernized.

#### 4. Working groups

— Principles of the coincidence method (Coordinator : J. W. Müller)

As previously, the group has successfully encouraged detailed studies (experimental and theoretical) in various fields related to measuring methods. Drafts of some 20 reports have been circulated among the members of the group.

— Thin-source preparation and associated chemical problems (Coordinator : D. C. Santry)

An inquiry sent to about 50 people engaged in radionuclide metrology as well as a literature search did not reveal many new works later than 1973. A report will be prepared but unless more information is available the working group should not continue.

— Non-chemical difficulties in activity calibrations of radionuclides (Coordinator : H.-M. Weiss)

A survey of the radionuclides in frequent use revealed some 20 nuclides with actual or potential problems, mostly caused by metastable states or decay via both beta-ray emission and electron capture. A report will be prepared.

— Experiences with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements (Coordinator : G. Winkler)

A report has been presented at the last meeting. It contains, for about 20 radionuclides measured in four laboratories, a comparison of activity values obtained by the  $4\pi\gamma$ (NaI) method on the basis of calculated total efficiencies, with the results obtained by an alternative method. The agreement is within a few tenths of a percent in most cases. Further studies on problems associated with pile-up and dead-time corrections are recommended. An updated report will be prepared and distributed.

#### D. *Plans for future work* (1985-1987)

In view of the successful trial comparison of  $^{109}\text{Cd}$  it was agreed that a full-scale comparison would be useful. At a previous inquiry 19 laboratories had expressed an interest in such a comparison. The NAC offered to supply the  $^{109}\text{Cd}$  from a similar high-purity stock used for the trial comparison. The samples will be shipped in the spring of 1986. The tentative reference date will be 1986-03-01.

At the 1985 meeting of Section II it was agreed that  $^{125}\text{I}$  should be the next candidate for a comparison of activity measurements. It is widely used in nuclear medicine but the gamma and X rays from the  $^{125}\text{I}$  decay are too low in energy to be measured by SIR, so there is no information on the international uniformity of its measurement. The OMH offered to supply  $^{125}\text{I}$  for a trial comparison among five laboratories planned for the end of 1986.

Two further comparisons were suggested at the past meeting, viz. the comparison of a radioactive gas by means of internal gas counting and a comparison of high-count-rate sources similar to that carried out eight years ago. The repetition of the high-count-rate experiment seems to be justified because in the meantime more precise correction formulae (Cox-Isham) and more suitable measuring methods (like selective sampling) were developed. D. D. Hoppes (gas counting) and J.-J. Gostely (high count rate) will find out which laboratories are interested and prepare a detailed proposal to be discussed at the next meeting of Section II.

In view of the increasing use of radionuclides in different fields and the growing need for traceability of activity measurements to international standards which can be provided only by the BIPM, Section II stressed the importance of maintaining and extending the BIPM's programmes in radionuclide metrology and the necessity of maintaining sufficient staff to do this. This concern was put in the form of a recommendation appended to the report of Section II to the CIPM (Recommendation R(II)-1 (1985)).

### **Section III — Neutron Measurements**

#### *A. Need for standards*

Reliable neutron measurements are needed for the safe and efficient development of nuclear energy, including both fission- and fusion-based power reactors; for protection of workers against neutron radiation in many kinds of nuclear facilities; for neutron-radiation therapy of cancer now undergoing clinical trials; and for other applications of neutrons in science and industry.

Standards of neutron fluence rate are needed for fission and fusion reactors, both for the determination of the cross-section «standards» and for calibration of instruments used in the hostile environments found in these reactors. Accuracy requirements as stringent as 1 % are

frequent. Measurements of demonstrated accuracy are frequently needed to satisfy government regulatory requirements.

Neutron-radiation protection of workers is a very important problem at present. On the one hand, the quality factor for neutrons (an indication of hazard) has recently been increased by the International Commission on Radiological Protection (ICRP). On the other hand, there is widespread recognition that present neutron personnel monitors need improvement. For the development and standardization of improved neutron personnel monitors and survey instruments, neutron beams calibrated to accuracies of 3 to 10 % are needed. Much of the neutron comparison programme of Section III is aimed at providing a sound physical-standards basis for measurements in such neutron beams. While accuracy requirements are satisfied at some neutron energies, at other energies further work is needed.

Neutron measurements are important in many other applications: neutron-radiation therapy of cancer requiring 1 to 2 % accuracy in standards for kerma and absorbed dose, static and dynamic properties of condensed matter by neutron diffraction, activation analysis, neutron radiography, biological research, and industrial applications such as non-destructive determination of the water content of materials.

## B. Programme of activities planned for 1983-1985

### 1. International comparisons of emission-rate measurements for $^{252}\text{Cf}$ neutron sources

In the case of the smaller source SR144 ( $10^7 \text{ s}^{-1}$ ), it was planned to finalize the participant reports and the analysis of the comparison. Review and publication were also planned. For the larger source ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ), it was planned to complete measurements and publish the results.

### 2. Comparisons of measurements of fluence rate of fast neutrons

It was planned to complete the analysis and publication of the results of the  $^{115}\text{In}(n,n')$  comparison at 2,5 and 5,0 MeV, and of the Nb/Zr comparison at 14,8 MeV. In the case of the  $^{115}\text{In}(n,n')$  comparison at 14,8 MeV, a thorough investigation of the scattering corrections was planned.

The  $^{115}\text{In}(n,\gamma)$  comparison measurements at 144 and 565 keV will continue with analysis, review and publication anticipated in 1985-1986.

Fission-chamber measurements were expected to extend through the 1983-1985 period, with analysis and publication continuing into the 1985-1987 period.

### 3. Neutron-dosimetry international comparisons

Analysis, review and publication of the results of the neutron-dosimetry comparison at 14,7 MeV held at the National Physical Laboratory were planned for the 1983-1985 period.

For the BIPM long-term neutron-dosimetry comparison, it was planned to develop the protocol for the comparison and begin experimental measurements. Experimental measurements were expected to continue into the 1985-1987 period.

#### C. Accomplishments (against the 1983-1985 plan)

##### 1. International comparisons of emission-rate measurements for $^{252}\text{Cf}$ neutron sources

a) *Source SR144 comparison* (E. J. Axton, NPL and BIPM, Coordinator). A draft report on the intercomparison of this source of initially  $4,5 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$  was prepared in March 1985 and distributed to participants and members of Section III. Fourteen laboratories participated, three with other sources. A very thorough analysis was carried out by a least-squares method. Except for two outlying results, the agreement is very good, showing all values within about 1% of the mean and represents a considerable improvement over the last BIPM-sponsored neutron-emission-rate comparison published by V. Naggiar in 1967. It is hoped that, following response by participants in July 1985, a final version of the report can be prepared in August. It is then planned to submit the report to Metrologia for publication.

b) *Source SR255Z comparison* (W. G. Alberts, PTB, Coordinator). This comparison of an intense  $^{252}\text{Cf}$  source (about  $10^9 \text{ s}^{-1}$ ) was to have been between three laboratories (NBS, PTB and NPL). NBS completed measurements in 1977, PTB in 1978. The source is now at NPL where difficulties were encountered in the safe handling of the source. Section III decided, since the source has now decayed to  $10^8 \text{ s}^{-1}$ , to give consideration to new bilateral measurements between NBS and PTB. W. G. Alberts (PTB) and E. D. McGarry (NBS) are being asked to produce a summary of the results obtained so far as a basis for a decision on a new bilateral comparison.

##### 2. Comparisons of measurements of fluence rate of fast neutrons

a) *Based on the reaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  at 2,5, 5,0, and 14,8 MeV* (H. Liskien, CBNM, Coordinator). Results at 2,5 and 5,0 MeV have been reviewed, analyzed, and published (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 55),

under the title « International Fluence-Rate Intercomparison for 2,5 MeV and 5,0 MeV Neutrons ». The abstract reads as follows :

« Fluence determinations for 2,5 MeV and 5 MeV neutrons as performed in standards laboratories have been compared. The intercomparison method is based on the determination of a  $\gamma$ -rate ratio between  $^{115}\text{In}^m$  as induced by fast neutrons in an indium sample on one hand, and  $^{51}\text{Cr}$  from a calibrated source on the other hand. Results show that the uncertainty contribution from the transfer method does not essentially increase the overall uncertainty and that there is consistency with only one exception. »

At 14,8 MeV corrections for room-scattered and target-scattered neutrons of degraded energy are very important as these neutrons have an overproportional effect in activation. Therefore, an intercomparison at this neutron energy using  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  is not only a test of the applied fluence determination method but is, above all, a test on the cleanliness of the 14 MeV source. Analysis of the corresponding corrections on an equal basis for all participants (same Monte-Carlo code, same set of neutron input data) is presently going on at PTB.

b) *Fast-neutron fluence-rate comparison : Nb/Zr at 14,8 MeV* (V. E. Lewis, NPL, Coordinator). Nine laboratories participated in this postal comparison of neutron fluence and energy which took place from June to November 1981 and was coordinated by NPL. This supplemented the comparison based on the activation of indium and is described in a paper published simultaneously (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 49) with one describing that work. The quotients of niobium activity and fluence, as measured by the participants, were generally consistent ; the causes of the few exceptions are understood. The agreement between the mean energies obtained from the ratio of zirconium to niobium activities and those derived by participants was generally satisfactory.

c) *Fast-neutron fluence-rate comparison :  $^{115}\text{In}(n, \gamma)$  at 0,144 and 0,565 MeV* (T. B. Ryves, NPL, Coordinator). The comparison, organized by NPL, started mid-1982 and finished early in 1985. Five laboratories participated at the lower energy and six at the higher. Final results have been submitted and the analysis is in progress. This will be reviewed by participants in mid-1985 with a view to publication early

in 1986. Preliminary indications are that the technique is generally suitable for these neutron fields and the results are, with one exception, satisfactory.

d) *Comparison of fluence rates for fast neutrons using a fission chamber as a transfer instrument* (D. B. Gayther, AERE, Coordinator). After a slow start, the measurement programme of the fluence intercomparison based on the Harwell fission chamber has reached its half-way stage. Measurements have been completed at NBS, BIPM and PTB, and final reports have been received from the first two laboratories. The chambers are presently at CBNM where measurements have just started on the linac. The main objective of this exercise is to compare fluence determinations made with pulsed «white» sources (such as linacs) with those made using monoenergetic accelerators. It is rewarding, therefore, to note that the measurements made at 0,5 MeV on the NBS linac and Van de Graaff were in excellent agreement. Future measurements will be made at ETL, NPL, AERE, and possibly one other laboratory. At the present rate of progress, it will take until approximately mid-1987 to complete the measurement programme.

### 3. Neutron-dosimetry comparisons

a) *Neutron-absorbed-dose comparison at 14,7 MeV at NPL* (V. E. Lewis, NPL, Coordinator). The results of the comparison organized and hosted by NPL in 1983 have been analysed, and a report has been prepared for publication. The consistency of the measurements of total dose employing the tissue-equivalent (TE) ionization chamber is satisfactory, and indicates a marked improvement since previous large-scale comparisons. The energy-compensated Geiger-Müller counter proved an effective device for enabling the separate neutron and photon dose components to be determined with sufficient accuracy. However, use of the magnesium/argon-filled ionization chamber as the «neutron-insensitive» dosimeter produced unacceptable inconsistencies.

b) *BIPM long-term neutron-dosimetry comparison* (V. D. Huynh, BIPM, Coordinator). A study of TE and Mg/Ar ionization chambers as reference and transfer instruments for the coming international comparison of kerma measurements has been carried out. Six TE (Exradin T2 type) and four Mg (Exradin MG2 type) chambers have

been tested in the  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray beam, in close cooperation with the BIPM X- and  $\gamma$ -ray measurement group. Some of these chambers have been also investigated in the (d + T) neutron beam. The walls of two of the TE chambers have been constructed at BIPM with a thickness (2,5 mm and 4,0 mm, respectively) different from that of the original Exradin T2 type chambers, with a view to improving long-term stability.

#### D. *Plans for future work* (1985-1987)

1. International comparisons of emission-rate measurements for  $^{252}\text{Cf}$  neutron sources

For the SR144 source comparison, review of the draft report of the comparison is planned, leading to final publication during this period.

For the intense-source comparison, results obtained so far will be reviewed and a decision made as to whether to start a new comparison with a new source.

2. Comparisons of measurements of fluence rate for fast neutrons

Since the  $^{115}\text{In}(n,n')$  comparisons at 2,5 and 5,0 MeV and the Nb/Zr comparison at 14,8 MeV have been completed and published, emphasis will be on finishing the analysis and publishing the  $^{115}\text{In}(n,\gamma)$  comparison.

The comparison using  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  fission chambers as transfer instruments will continue throughout this period, with analysis and publication expected later.

Work will be continued on establishing a limited set of activation-foil transfer standards to be available from BIPM for international comparisons of fluence rate measurements as needed.

3. Neutron-dosimetry comparisons

Publication of the NPL 14,7 MeV neutron dosimetry comparison is expected during the next two-year period.

Eleven laboratories have agreed to participate in the BIPM long-term neutron-dosimetry comparison during the 1985-1987 time period. If other laboratories are added, the comparison will extend into the following period, as will the analysis of the comparison.

The future neutron measurements programme of Section III envisions comparisons of neutron dose (now starting) and neutron fluence (being developed by a working group) in which BIPM would be the central



focus of comparisons, and would have long-term responsibility for provision and maintenance of transfer instruments and ensuring their long-term stability. In this connection Section III prepared a recommendation stressing the importance of continued support of the BIPM neutron programme. This is Recommendation R(III)-1 (1985), which appears in the report of Section III to CIPM.

July 1985, revised September 1985

TABLE A

**Summary of Planned Work Programme and Accomplishments**

Previously Planned Programme	Accomplishments
------------------------------	-----------------

**Section I — X and  $\gamma$  Rays, Electrons**

Continue programme of comparisons of measurement standards of exposure and absorbed dose.	Nine comparisons were reported, of which three were made at BIPM. Laboratories of 14 countries were involved. Agreement was usually within 1 %.
Compile estimates of uncertainty components for free-air chambers, carbon cavity chambers, and carbon calorimeters.	Project was completed. Compilation comprised detailed estimates of uncertainties for 36 measurement standards. Most overall uncertainties ( $1\sigma$ ) lay within the range 0,1 to 0,8 %.
Improve conversion factors for deriving radiation quantities.	Improved values of $W$ , the mean energy required to produce an ion pair in air ( $W/e = 33,97$ J/C), and $g$ , the fraction of an electron's initial energy lost by radiation, were computed. Some improved calculations of spectra were reported.
Address the consequences of any new adopted field quantities for radiation protection.	Determinations of conversion factors for deriving new ICRU quantities in photon fields were presented. Further determinations were recommended.
Monitor progress in establishing processing-level standards.	Several measurement-assurance services now provided or under development were reported.

**Section II — Measurement of Radionuclides**

Completion of previous comparisons.	Final report on $^{137}\text{Cs}$ comparison, and condensed version discussed and published.
Comparison of $^{133}\text{Ba}$ (trial and full-scale).	Experimental work completed; final report drafted and discussed. Total range 1,7 %, standard deviation 0,36 %.

Trial comparison of $^{109}\text{Cd}$ .	Experimental work completed ; results discussed. Total range 1,7 %, standard deviation 0,5 %.
International reference system.	Ongoing programme, to date about 300 results from 45 different radio-nuclides.

### Section III — Neutron Measurements

International comparisons of emission-rate measurements for $^{252}\text{Cf}$ neutron sources.	For $10^7 \text{ s}^{-1}$ source, analysis is complete. Review by participants in progress. Standard deviation of the residuals is 0,52 %.  For $10^9 \text{ s}^{-1}$ source, comparison delayed due to source-handling problems. Comparison may be restarted with a new source or cancelled.
Fluence-rate comparisons for fast neutrons.	$^{115}\text{In}(n,n')$ comparisons at 2,5 and 5,0 MeV completed and published. Scattering corrections at 14,8 MeV being analysed. At 2,5 MeV, agreement was well within the range of uncertainties which were 1,5 to 2,7 %. At 5 MeV, agreement was compatible with the uncertainties of 2,4 to 2,7 %.  Nb/Zr comparison at 14,8 MeV completed and published. Agreement of most results was within 1,3 %.  $^{115}\text{In}(n, \gamma)$ comparison at 144 and 565 keV completed ; analysis in progress.  Fission-chamber-transfer-instrument fluence-rate comparison in progress.
Neutron-dosimetry comparison.	NPL comparison at 14,7 MeV, analysis complete. Standard deviations in the total doses are 1 to 2 %.  BIPM long-term comparison using transfer instruments beginning.

---

TABLE B

**Planned Work Programme of the BIPM  
Ionizing Radiation Laboratory**

Accomplishments (1983-1985)

Planned Programme (1985-1987)

**Section I — X and  $\gamma$  Rays, Electrons**

International comparisons of exposure standards (X rays, 10 to 50 kV and 100 to 250 kV;  $^{60}\text{Co}$  gamma rays).

Calibration of national reference instruments in terms of exposure and absorbed dose.

Revision of compilation of values for  $W/e$ , the energy required to produce an ion pair, in air.

Computation of  $g$ , the fractional energy lost through radiation by an electron slowing down.

Investigation of perturbation due to a carbon cavity chamber in a water phantom.

Experimental determination of ratio of absorbed-dose and exposure calibration factors ( $C_x$ ).

Collaboration with the neutron measuring group in the study of reference ionization chambers.

Continue international comparisons and calibrations in terms of exposure, air kerma and absorbed dose.

Collaborate in international comparisons of absorbed dose to water with passive dosimeters.

Determine factors for deriving ambient dose equivalent from exposure and air kerma for the beam qualities of the existing system.

Experimentally determine the absorbed dose to water in a water phantom and complete the determination of the perturbation correction.

Continue experimental determination of ratio of absorbed-dose and exposure calibration factors ( $C_x$ ).

Continue collaboration with the neutron group in studying characteristics of reference ionization chambers.

**Section II — Radionuclide Measurements**

Organization of international comparisons and participation:  $^{133}\text{Ba}$  trial and full-scale, analysis.

Organization of international comparisons of radionuclides with national laboratories.

Preparation and distribution of solid standard sources.

Construction of a fast speed converter for activity measurements by the selective-sampling method.

Accumulation of new results of the International Reference System (SIR).

Continuation of special studies of counting statistics.

Implementation of a Ge(Li)  $\gamma$ -ray spectrometer system.

Measurement of the energy of  $\alpha$  particles emitted by  $^{236}\text{Pu}$  and use of a new detection method.

Preparation and supply of calibrated solid sources.

Construction of a pressurized proportional counter. Installation of a second  $4\pi\beta$ - $\gamma$  coincidence set.

International reference system for activity measurements of  $\gamma$ -ray emitting nuclides (SIR), using samples supplied by the national laboratories.

Corrections of activity measurements due to a first dead time and evaluation of the perturbations this dead time can induce.

Activity measurements connected with neutron measurements. Measurements of radionuclidic impurities.

Energy measurements of  $\alpha$  particles emitted by  $^{227}\text{Ac}$  and  $^{231}\text{Pa}$ .

### Section III — Neutron Measurements

Determination of the scattered-neutron contribution from the target backing in the fluence-rate comparison at 14,8 MeV using  $^{115}\text{In}(n,n')$ .

Participation in the fission-chamber-transfer-instrument comparison at 14,65 MeV.

Calibration of the d + T neutron beam at BIPM in tissue kerma in free air by both fluence method and ionization-chamber method. Agreement to 0,8 %.

Study of tissue-equivalent and Mg/Ar ionization chambers as reference and transfer instruments for BIPM long-term neutron-dosimetry comparison. Measurements were carried out in both  $^{60}\text{Co}$  gamma-ray beam and d + T neutron beam at BIPM.

Maintain and develop reference standards for calibration:  $\text{MnSO}_4$  bath for neutron sources, 2,5 and 14,65 MeV neutron beams of known fluence, TE ionization chambers for neutron-dose standardization.

Organizing and providing the instruments for the BIPM long-term neutron-dosimetry comparison now beginning. Instrument set includes 2 TE ionization chambers, Mg/Ar ionization chamber, and special low-neutron-sensitivity GM counter.

Establishment of transfer standards for international comparisons: BIPM Ra-Be( $\alpha, n$ ) source, activation foils such as Nb/Zr and  $^{197}\text{Au}(n, \gamma)$ , and a sphere-moderator type instrument.



**Section I — Rayons X et  $\gamma$ , électrons**

8th Meeting (April 1985)



AGENDA  
for the 8th Meeting

---

1. Recent work at BIPM.
  2. Future work at BIPM.
  3. Comparison of standards (exposure and absorbed-dose standards, Fricke dosimeters).
  4. Physical constants in radiation measurements.
  5. Quantities and units in protection measurements.
  6. Working group on the estimation of uncertainties.
  7. Processing-level standards.
  8. Progress reports from participating laboratories.
  9. Report from IAEA.
  10. Publicity.
-



---

REPORT  
TO THE  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by S. C. ELLIS, Rapporteur

---

**Abstract.** Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its eighth meeting in April 1985. The recent work at BIPM was reviewed and recommendations for the future programme were made. The results of intercomparisons of national standards, both those carried out at BIPM and between member laboratories, were discussed. The adoption of a revised and consistent set of values for stopping-power ratios and related factors was agreed for use in the realization of radiation quantities. The need to provide traceability to existing standards for the new ICRU dose-equivalent quantities was recognized and the radiation qualities for which there was most urgent need of agreement on conversion factors were identified. The results of a survey, initiated at the seventh meeting of Section I, on the estimated uncertainties for primary standards maintained in member laboratories, were presented. Progress reports were received from members on new facilities, services and research activities. Three formal recommendations were adopted.

Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons)\* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) held its eighth meeting at the Pavillon de Breteuil, at Sèvres, from 15 through 17 April 1985.

Present :

W. H. HENRY, Chairman of Section I, National Research Council of Canada [NRC], Ottawa.

Delegates of the member laboratories :

Australian Radiation Laboratory [ARL], Yallambie (N. J. HAR-  
GRAVE).

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire de Métrologie  
des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay (M. CANCE).

---

\* For the list of the members, *see* p. VII.

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU], Bethesda (H. O. WYCKOFF).  
National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. LOEVINGER).  
National Institute of Radiation Protection [NIRP], Stockholm (L. LINDBORG).  
National Physical Laboratory [NPL], Teddington (S. C. ELLIS).  
National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (W. H. HENRY).  
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (K. ZSDÁNSZKY).  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (K. HOHLFELD).  
Polski Komitet Normalizacji i Miar [PKNM], Varsovie (Z. REFEROVSKI).  
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne [RIVM], Bilthoven (A. H. L. AALBERS).

Members :

A. ALLISY, Conservatoire National des Arts et Métiers [CNAM], Paris.  
A. BROSED, Junta de Energía Nuclear [JEN], Madrid.

The Director of BIPM (P. GIACOMO).

Observer :

International Atomic Energy Agency [IAEA], Vienna (H. H. EISENLOHR).

Also attended the meeting: J. TERRIEN, Director Emeritus of BIPM (one day), A. RYTZ, J. W. MÜLLER, V. D. HUYNH, G. RATEL (BIPM), Mme M. BOUTILLON, Mlle M.-T. NIATEL, Mme A.-M. PERROCHE (guest workers at BIPM), Mme D. MÜLLER (BIPM).

Sent regrets :

Electrotechnical Laboratory [ETL], Ibaraki.  
Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad.

Absent :

National Institute of Metrology [NIM], Beijing.

The Director of BIPM \* welcomed the participants, in particular those who had not attended previous meetings of Section I: A. H. L. Aalbers, and M. Cance representing J.-P. Simoen.

S. C. Ellis accepted to act as rapporteur.

The very minor changes or additions to the agenda are included in the report.

---

\* Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page R 103.

## 1. Recent work at the BIPM

The stability of the  $^{60}\text{Co}$  calibration factors of six Exradin T2 ionization chambers with tissue-equivalent (TE) walls continued to be studied. These chambers are intended for use in intercomparisons by the neutron group of BIPM. Although changes in sensitivity of about 0,5 % were observed, the response to  $^{60}\text{Co}$  radiation was sometimes stable to within a few tenths of one percent over periods of months. Similar measurements have been started with four magnesium-walled chambers.

The factor, frequently called  $C_\lambda$ , used in calculating an absorbed dose in water is of great importance in medical dosimetry. This factor was measured for an Exradin T2 chamber by calibrating it in the BIPM beam of  $^{60}\text{Co}$  radiation, first in free air for exposure, and then in the water phantom for absorbed dose. The absorbed dose in the BIPM water phantom is known from the measured absorbed dose in graphite (*see* Rapport BIPM-81/2). Unfortunately, the resulting values of  $C_\lambda$  deduced on separate dates from two sets of measurements differed by more than 1 %, owing largely to a lack of long-term stability of the Exradin chamber's response when used in a water phantom. The precise reason for, and means to overcome, this instability are being sought.

Calibrations of secondary standards (*see* the following sections, 2 and 3) and comparisons of exposure standards were carried out. In the medium-energy X-ray region, a discrepancy in an indirect comparison with ISS by means of a transfer instrument led to improving the measurement of the area of the ISS diaphragm. A graphite-cavity chamber, made by LMRI, was used as a transfer instrument in an indirect comparison of that laboratory's standard with BIPM's. Agreement was within 0,5 %. Since the volume and correction factors had been determined for the LMRI chamber, it could be treated as a primary exposure standard. In that case, it deviated by less than 0,1 % from the BIPM's standard. A similar chamber, made by LMRI for NIM, was calibrated at BIPM, and should later provide an indirect comparison of the NIM and BIPM standards.

BIPM revised the compilation made by the ICRU in its Report 31 (1979) of experimental determinations of  $W$ , the mean energy required to produce an ion pair in air (*see* 85-8) \*. In the majority of cases,  $W$

---

\* Documents submitted by the Member Laboratories are listed in Annexe R(I) 1, and are referred to in the text in the form 85-1, 85-2, etc.

is deduced from a measurement of the product of  $W$  and a ratio of stopping powers. Hence, recently published new values of stopping powers imply a change in the resulting value of  $W$ . The re-evaluation by BIPM used the latest data available, including those for mass energy absorption coefficients, and took account of the spectral distribution of energy fluence at the detector. Also included in the new compilation was the determination of  $W$  by BIPM, discussed at the 7th meeting of Section I and now published (85-5), as well as another recent measurement. The weighted mean value of  $W/e$  obtained for dry air was  $(33,97 \pm 0,06) \text{ J C}^{-1}$ .

A theoretical investigation was initiated in preparation for measuring the absorbed dose in water with a graphite-cavity chamber placed in a water phantom. The perturbation due to the presence of the cavity and graphite walls was calculated by using an analysis similar to that of Boutillon (*Phys. Med. Biol.*, **28**, 1983, p. 375). A first estimation gave the value 1,003 for the perturbation correction factor.

Values of  $g$ , the fraction of an electron's initial energy that is lost by radiation as it slows down, were calculated (*see* 85-18) from the new values of stopping powers (ICRU Report 37, 1984). The value of  $g$  in air is used in deriving air kerma from exposure.

## 2. Future work at the BIPM

The Section discussed the expected metrological needs for the future in all areas of photon and electron radiation measurement. The ability for national laboratories to compare their primary standards of the basic quantities realized in photon and electron fields at a central reference was considered to be by far the most effective way of maintaining a well-authenticated international measurement system. Thus the continued provision of the necessary facilities at BIPM was strongly recommended. This requires the maintenance of suitable reference radiation fields, measurement standards and staff of sufficient quality and number to operate and develop this essential system.

The decision by a number of member countries to maintain their national radiation measurement standards by the calibration of secondary standards at BIPM was also noted. With the objective of assisting the IAEA Dosimetry Laboratory in its programme of monitoring the maintenance of secondary standards in the laboratories of the SSDL Network of IAEA/WHO, it was agreed that the IAEA dosimeter should be regularly calibrated at BIPM. This will provide a more direct and

ongoing link to the international measurement system for the increasing needs in respect of radiation measurements in the developing countries.

The recommendations of the Committee in respect of the above spheres of activity are given in Recommendation R(I)-1 (1985) (*see* p. R 163). The programme of future work to be done at BIPM is given in Appendix R(I) 2.

In surveying the evolving applications of ionizing radiation and future measurement needs a number of subject areas were discussed. In radiotherapy the very significant advances in imaging techniques were noted. It was considered that further improvements in the accuracy with which a treatment dose can be delivered to a tumour will be necessary to exploit fully the more precise information available from these enhanced-imaging techniques. The continuation of absorbed-dose intercomparisons and studies on the improvement of methods for deriving absorbed dose from other quantities were considered to be justified on this basis.

In respect of radiation protection, the publication by ICRU of Report 39 (1985) has provided new definitions of the dose-equivalent quantities that must be measured to assess compliance with the dose-limitation system of ICRP (ICRP Publication 26, *Annals*, 1 (3), 1977; 2 (1), 1978; and 4 (3/4), 1980). The provision of conversion factors to allow the derivation of these new dose-equivalent quantities from exposure and air kerma will be an important and urgent task. This subject, also reported under agenda item 5, led to the decision that BIPM should be requested to determine the factors necessary to derive ambient dose equivalent for the radiation beam qualities of the existing BIPM system.

### 3. Comparison of measurement standards

The comparisons of exposure and air-kerma standards that have recently been carried out by national laboratories are listed in Table 1.

A final report on the intercomparison of the measurement of low air-kerma rates in  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{241}\text{Am}$  beams at twelve member laboratories was received (85-13) (*Rad. Prot. Dosimetry*, 6, 1984, p. 261). This intercomparison which involved the read-out of lithium fluoride thermoluminescent (TLD) dosimeters at Linköping University, on behalf of NIRP, compared irradiations made in the kerma-rate range  $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$  to  $10 \text{mGy h}^{-1}$ . The results demonstrate the potential of this method for intercomparing a large number of laboratories using a dose of only a few hundred micrograys. The specialized read-out

TABLE I  
*Comparison of exposure or kerma standards*

Participating laboratories	Date	Document CCEMRI (I)/	Radiation quality	Level
BIPM-ISS	1983		100 to 250 kV	therapy
NIRH-NIRP-IRP-SISN	1984	85-16	50 to 180 kV <sup>60</sup> Co	therapy
OMH-UDZCAV	1984	85-12	<sup>60</sup> Co	therapy
BIPM-LMRI	1984	85-19	<sup>60</sup> Co	therapy
BIPM-ISS	1985		10 to 50 kV	therapy
OMH-BEV/ÖFZS	1985	85-12	150 kV	protection

technique produced relative standard deviations for the four replicates of each irradiation which were generally less than 1 %. The deviation from air-equivalence of the LiF dosimeter was apparent by comparison of the normalized response ratio  $^{60}\text{Co}/^{241}\text{Am}$  and some uncertainty in applying experimentally-determined fading corrections was reported.

Participation in the seventh international comparison of integrating dosimeters for environmental monitoring was reported by RIVM. The experimental work has been completed and an evaluation of results is in progress (85-7).

It was recognized that many years have elapsed since some of the national primary exposure standards were compared with the BIPM standards. While it was agreed that there is no fixed interval at which such comparisons should be repeated, the time between comparisons should not be allowed to extend indefinitely. It was agreed that primary exposure standards compared more than five years ago should be considered for comparison again with the BIPM standards, at a time of mutual convenience.

No direct comparisons of absorbed-dose standards with BIPM were reported for this period. From the discussion it was clear that the Committee felt it was desirable that a new round of measurements at BIPM should be undertaken with the absorbed-dose calorimeters currently operational at national laboratories. In cases where such a direct comparison could not be undertaken conveniently, the value was pointed out of bringing a transfer standard for comparison in the BIPM water phantom irradiated with  $^{60}\text{Co}$  gamma rays. The BIPM staff affirmed that this facility was always available.

Two intercomparisons between member laboratories using Fricke chemical dosimeters sent by mail were reported. Both concerned the comparison of absorbed dose to water from  $^{60}\text{Co}$  gamma rays at therapy

level. NPL Fricke dosimeters were sent to AAEC and irradiated in a water phantom at a depth of 50 mm. The dose to water ( $D_w$ ) was given by AAEC using a graphite ionization chamber which was compared with the AAEC graphite calorimeter. The overall uncertainty in the AAEC estimate of  $D_w$  was estimated as 0,5 % ( $1 \sigma$ ). A ratio for  $D_w$  NPL/AAEC of  $1,012 \pm 0,001$  was observed when the Fricke dose was evaluated by calibration via exposure and  $C_\lambda = 0,95$ . If the Svensson and Brahme (*Acta Radiol.*, **18**, 1979, p. 326) value of  $G \cdot \varepsilon = 352 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ Gy}^{-1}$  was used to directly derive  $D_w$ , the ratio NPL/AAEC becomes 1,002 (85-21). The second intercomparison which was between NPL and NRC involved dosimeters mailed from NPL which were evaluated at both NPL and NRC. Fricke dosimeters prepared and evaluated at NRC were also included. The experiment allowed comparison of  $D_w$  derived from the NRC graphite calorimeter, the NRC Fricke and the NPL Fricke evaluated as described above. The ratio 1,010 was found for  $D_w$  NPL/NRC. The random uncertainty observed for the measurement of a single Fricke dosimeter in both the above intercomparisons was less than 0,3 % ( $1 \sigma$ ) (85-20). It was noted that the value of  $D_w$  obtained from Fricke dosimeters based on exposure and  $C_\lambda$ , about 1 % greater than  $D_w$  derived from graphite calorimetry, is very close to that observed in an earlier intercomparison conducted at BIPM (81-18).

In discussing the transfer of absorbed-dose measurements by the use of mailed passive dosimeters, either with the object of bilateral intercomparison or provision of a reference service, it was agreed that it would be valuable for a sample always to be irradiated at BIPM. BIPM indicated its willingness to fulfil this function by irradiation at a reference point in the BIPM phantom for absorbed-dose values up to 200 Gy. To this end the Committee formally adopted Recommendation R(I)-3 (1985) (p. R 164).

#### 4. Physical constants for radiation measurement standards

At its 7th meeting, Section I discussed the implications of changes in stopping-power ratios on exposure and absorbed-dose determinations. At that time, data from a draft ICRU report on stopping powers were used to estimate that values of exposure determined with BIPM's exposure standard, a carbon-cavity chamber, in  $^{60}\text{Co}$  radiation would be reduced by about 0,75 %. A similar decrease would apply to exposure

standards of the national laboratories. That meeting also discussed how new stopping-power ratios would affect the value of  $W$  obtained from most previous measurements. It was decided then to postpone a decision on changing primary standards at least until the ICRU report became available.

A paper (85-8) presented by BIPM to the 8th meeting reconsidered the  $W$  values compiled by the ICRU in its Report 31 (1979). Most evaluations of  $W$  had been based on measurements of the product  $W \cdot \bar{s}_{m,a}$ , where  $\bar{s}_{m,a}$  is the mean ratio of the restricted stopping powers of the material and air. The re-evaluations by BIPM used the new ICRU stopping-power data (Report 37, 1984), and took account of spectral changes due to scattered photons. In addition, two recent determinations were included, one being that by the BIPM (85-5). The weighted mean value of  $W/e$  obtained for dry air was  $(33,97 \pm 0,06) \text{ J C}^{-1}$ .

The meeting was reminded that this new value of  $W$  and the new stopping-power ratios form a consistent set. That is, adopting one implies that the other also should be adopted, owing to their linkage through the product  $W \cdot \bar{s}_{m,a}$ .

The meeting noted that there are thus new values available for the following constants :

1. Stopping powers for electrons (ICRU Report 37, 1984),
2.  $W/e$  (quoted above, and 85-8),
3.  $(1 - g)$  (85-18),
4. Energy-absorption coefficients (Hubbell, *Int. J. Appl. Rad. and Isotopes*, **33**, 1982, p. 1269.)

Considering that exposure, air-kerma and absorbed-dose standards should be based on current best values of physical constants, Section I recommended that use of the important values listed above be initiated in the existing system of radiation measurement standards from 1986-01-01. It was further recommended that, although changes in standards should be made as infrequently as possible, further adjustments should be considered as the values of physical constants continue to be refined.

## 5. Quantities for radiation protection

The new dose-equivalent quantities outlined by ICRU (ICRU Report 39, 1985) for use in the practical determination of dose equivalent from external radiation sources were discussed. These quantities are intended



to provide a unified and traceable measurement system for all types of radiation which will allow assessment of personal exposure to radiation in terms of the ICRP dose-limitation system.

It was considered that derivation of the ambient dose equivalent  $H^*(d)$  from existing standards of air kerma and exposure would be the normal method of attaining traceability for photons in practice. With the objective of unifying protection measurements throughout the world it was seen to be important to agree on values for the factors to be used in this conversion. Both theoretical methods and direct experimental determinations were seen to be appropriate and the radiation qualities for which evaluation of these factors was most urgent were discussed. For example, a study carried out at PTB (B. Grosswendt, K. Hohlfeld, H. M. Kramer and H.-J. Selbach, Konversionsfaktor für die ICRU-Äquivalentdosisgrößen zur Kalibrierung von Strahlenschutzdosimetern, *PTB-Bericht DOS-11*, 1985, Braunschweig, ISSN 0172-7095) compares the results of a number of Monte-Carlo calculations and derives ambient dose equivalent for specific X-ray qualities.

This discussion led to the recommendation that BIPM should undertake the determination of the necessary conversion factors for the X-ray beam qualities of the existing system, Recommendation R(I)-2 (1985) (see p. R 164).

## 6. Comparison of uncertainty estimates

Reports were received from the coordinating laboratories on the collation of uncertainty estimates for primary standards submitted by member laboratories. This activity followed acceptance of a proposal (83-6) at the 1983 meeting of Section I (p. R(I) 33).

The data for free-air ionization chambers were presented by ARL (85-1), grouped in two ranges of X-ray energy. Ten laboratories provided information on standards operated with X rays generated below 50 kV. Values of uncertainties are expressed in the form recommended by CIPM as type A and type B, one standard deviation. Some significant differences were noted for individual components and the combined overall uncertainty was seen to vary between 0,12 and 0,42 % for nine of the laboratories; the value for one laboratory was reported as 0,06 %. The data for free-air chambers operated in the 50 to 300 kV range showed somewhat similar variations for some components with the overall uncertainty lying in the range 0,08 to 0,32 %.

The data for cavity ionization chambers were presented by NBS (85-10 a) in a similar format. Estimates were received from 13 laboratories. Whilst some significant differences in estimates for individual components were observed, the combined overall values were seen to be more consistent, varying between 0,24 and 0,8 %.

The data received on graphite absorbed-dose calorimeters were summarized by PTB. Four laboratories submitted uncertainty estimates and it was noted that three different types of calorimeter were represented. The values for the combined overall uncertainty lay in the range 0,23 to 0,34 % and a strong effect was noted for the type A component depending on the dose rate which the calorimeter was measuring.

The opportunity to compare estimates of uncertainty presented in a uniform manner was agreed to have been valuable. The suggestion that a second round should be held to allow revision was not thought to be worth while.

## 7. Processing-level standards

In discussing the dosimetric needs of industry using high-dose treatment of medical supplies and food, etc., it was recognized that there is a growing awareness of the desirability to achieve measurement traceability in response to regulations and international trade.

For processes utilizing gamma radiation from  $^{60}\text{Co}$  it was noted that the IAEA intends to commence operating a measurement assurance service for its Member States during 1985 (*see* Section 9 of this report). The NPL reported that, in addition to the provision of irradiations in high-dose-rate fields for the calibration of users' dosimetry systems, a reference service based on dichromate chemical dosimeters is routinely available for the 10 to 40 kGy range.

For high-energy electron beam processing the IAEA announced that a co-ordinated research programme will commence, to test the suitability of dosimetry systems for use in a service similar to that which will be operated for  $^{60}\text{Co}$ . NBS, Danish National Laboratory (Risö), and NPL are collaborating in the development and intercomparison of calorimetric standards for use in electron beams.

In view of the obligations presently placed on BIPM, the Section felt that it was not necessary to recommend that radiation fields of very high dose rate be installed at present. The traceability of working standards to the international system for absorbed dose should be achieved by linking through the use of dosimeters with a suitably wide working range. It was agreed that BIPM would participate, as best it could without a high-output source, in establishing a coherent high-dose measurement system.

An intercomparison of measurements of absorbed dose to water in the high-dose-rate  $^{60}\text{Co}$  irradiators at NBS and NPL was reported. NPL

Fricke and dichromate chemical dosimeters were used as transfer systems. The agreement to within less than 1 % was considered very satisfactory (85-23).

## **8. Reports from member laboratories**

Many documents were submitted describing progress in standards, facilities, services and research since the seventh meeting of Section I in 1983.

Two laboratories (RIVM and ARL) reported that standardized types of irradiation equipment were being introduced for the calibration of protection monitors at secondary centres. The collimated beams derived from gamma-ray sources are to be calibrated by the national laboratory using transfer standards.

A report was given by NBS on progress in the development of a graphite/water calorimeter in which the temperature rise is measured in a slice of graphite immersed in a water phantom. Provision for extrapolation to zero graphite thickness is intended to provide an absorbed dose to water standard without the uncertainties associated with the heat defect in water.

A report was given by LMRI on the performance of a Domen type calorimeter constructed in Shonka tissue-equivalent plastic. The calorimeter, originally designed for neutron dosimetry, has been found to show excellent reproducibility when operated in photon beams.

## **9. Report from IAEA**

The postal dose service for radiation therapy has continued to be provided by IAEA and WHO. Recently analysed results indicate that increased accuracy in an institution's measurements is correlated with repeated participation in the service. It was stated that 90 % might be a realistic goal for the fraction of hospitals having deviations of less than 5 %.

The IAEA/WHO Network of SSDLs now comprises nearly 50 members. An Advisory Group met at IAEA in November 1984, to discuss the present status and future of the Network. Two of the major recommendations in the final report of the Advisory Group have significance for BIPM. One recommended that the IAEA's Dosimetry Laboratory should have its dosimetry standards calibrated at BIPM. The other recommended the formation of a Scientific Committee for regularly reviewing the work of the SSDLs and providing scientific advice. The membership of the Scientific Committee is to include an expert from BIPM.

Arrangements are under way for the routine provision of a mailed

high-dose measurement-assurance service for industrial irradiation plants. The dosimeter system to be used is based on electron-spin-resonance measurement of free radicals formed in alanine. A preliminary run with 15 participants confirmed the suitability of the system.

## 10. Publicity

It was noted that two papers describing the activities of Section I had been published recently in scientific journals. One (85-2) was prepared by the Chairman, and reports on the Section's 7th meeting. The other (85-6), by W. A. Jennings *et al.*, reviews activities in all three areas of measurement standards, for photons, radioactivity and neutrons, and includes brief references to future trends. Another paper, delivered by the Chairman to the Inter-American Meeting of Medical Physics in July 1984, summarized the work of Section I. The section encouraged its members to continue providing such information to appropriate journals and organizations.

## 11. Summary of the principal conclusions

1. It was considered essential to maintain reference radiation fields and standards together with adequate staff at BIPM to meet the future needs of an international measurement system for ionizing radiations.
2. In order to introduce the new ICRU dose-equivalent quantities into radiation-protection practice the factors for conversion from exposure and air kerma should be derived for the relevant radiation qualities. BIPM should undertake this work for the radiation beam qualities of the existing system.
3. It was agreed that member laboratories should adopt the recommended revision of values for the physical constants needed for the realization of exposure, air-kerma and absorbed-dose standards.
4. It was recommended that national laboratories and international organizations that operate reference services using passive dosimeters should send a sample from each batch for irradiation at BIPM.
5. The next meeting of Section I will be held in the spring of 1987.

June 1985, revised September 1985

**Recommendations**  
**of Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) of CCEMRI**  
**submitted**  
**to the Comité International des Poids et Mesures**

Maintenance and development of BIPM standards for ionizing radiations

RECOMMENDATION R(I)-1 (1985)

*Considering*

— that the establishment of reference measurement standards for X and  $\gamma$  rays, and electrons, and the intercomparison of national primary standards is a fundamental role of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), conforming to the directives of the Conférence Générale des Poids et Mesures,

— that some member countries of the Convention du Mètre have deliberately chosen to establish and maintain secondary standards as their national standards, assuming that they could have direct access to the primary standards of the BIPM,

— that the International Atomic Energy Agency/World Health Organization international network of Secondary Standard Dosimetry Laboratories, which serves a large number of countries that develop measurement capabilities in the field of ionizing radiations, is directly linked to the BIPM,

— that the standards of exposure, kerma and absorbed dose established at the BIPM are of considerable metrological interest because they are the only ones directly compared with the majority of national primary standards,

*and taking into account*

— the increasing concern in matters of human health and personal protection, and the introduction of related legal regulations in many countries,

Section I *recommends*

— that the system of standards for ionizing radiations established at the BIPM should be maintained and developed in accordance with needs,

— that the staff of the BIPM should be adequate to perform the necessary tasks.

Extension of BIPM responsibilities to the measurement of ambient dose equivalent (X and  $\gamma$  rays)

RECOMMENDATION R(I)-2 (1985)

*Considering*

— that the International Commission on Radiation Units and Measurements has recommended new quantities for use in radiation protection (ICRU 39),

— that increased accuracy will be required in future measurements of radiation for protection purposes, and

— that linking such measurements to the unique system of exposure and air-kerma standards existing at the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) is necessary to help ensure a world-wide coherence,

Section I *recommends*

— that the BIPM determine factors for deriving ambient dose equivalent from exposure and air kerma for the beam qualities of the existing system.

Traceability to BIPM standards of the comparisons of absorbed dose in water

RECOMMENDATION R(I)-3 (1985)

*Considering* the necessity to assure the uniformity of measurements of absorbed dose in water, and traceability to the unique international reference system at the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM),

Section I *recommends*

— that national and international laboratories, when organizing the distribution of passive dosimeters, e.g. Fricke or thermoluminescent dosimeters, also send to the BIPM from the batch of dosimeters a sample to be irradiated at a reference point in the BIPM water phantom, where the absorbed dose in water is known,

— that the measured value of the absorbed dose delivered in the BIPM phantom should be communicated to the BIPM; subsequently, Section I of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) should discuss the accumulated results.

This procedure, instituted for absorbed-dose values up to 200 grays, is not intended to replace high-precision comparisons of absorbed-dose standards effected by direct comparison of standards, or by the use of transfer ionization chambers.

---

APPENDIX R(I) 1

---

**Working documents submitted to  
Section I of the CCEMRI at its 8th Meeting**  
(*see the list of documents on page R 53*)

---

## APPENDIX R(I) 2

---

### **Proposed X- and $\gamma$ -ray measurement programme at BIPM**

- Maintenance of the existing references of exposure, air kerma and absorbed dose in graphite.
  - International comparisons of primary standards.
  - Calibration of secondary standards for the countries who have chosen to establish and maintain secondary standards as their national standards.
  - Establishment of a reference of absorbed dose to water :
    - Construction of a standard ionization chamber and of the mechanical device for measurements in water.
    - Experimental and theoretical determinations of the correction factors for deriving absorbed dose to water from ionometric measurements.
  - Extension of the calibration facilities to include the new quantities defined by ICRU in radiation protection. Determination of the conversion factors for deriving these quantities from exposure and air kerma.
  - International comparison of Fricke chemical dosimetry systems.
  - Calibration in the BIPM water phantom of passive dosimeters (e.g. Fricke or thermoluminescent dosimeters) distributed for intercomparisons organized by national or international laboratories.
-







**Section II — Mesure des Radionucléides**

8th Meeting (June 1985)

---

AGENDA  
for the 8th Meeting

---

1. Results of recent international comparisons.
  2. International reference system for activity measurements of gamma-ray-emitting nuclides (SIR).
  3. Reports of the working groups.
  4. BIPM activities.
  5. Future international comparisons and actions.
  6. Reports from the laboratories of attendees.
  7. Report to the Chairman of CCEMRI.
  8. Visit to BIPM laboratories.
  9. Any other business.
-

---

REPORT  
TO THE  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by J.G.V. TAYLOR, Rapporteur

---

**Abstract.** Section II (Mesure des radionucléides) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its eighth meeting in June 1985. Recent international comparisons of activity measurements were discussed. The report on the  $^{137}\text{Cs}$  comparison has been published. A draft report on the  $^{133}\text{Ba}$  comparison was presented. Results of a trial comparison of  $^{109}\text{Cd}$  were judged satisfactory. The BIPM Système international de référence has measured over 400 samples. Reports from the working groups were received. The essential rôle of the BIPM in promoting uniformity in radionuclide measurements was stressed and a recommendation to the CIPM on future work in this field was prepared. Recent activities at the BIPM were described including the construction of a pressurized proportional counter, theoretical and experimental solutions to the problem of a generalized dead time and new  $\alpha$ -particle energy measurements. Comparisons of  $^{109}\text{Cd}$  and  $^{125}\text{I}$  are planned. The attendees reported on current research in their laboratories.

Section II (Mesure des radionucléides)\* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CEMRI) held its eighth meeting at the Pavillon de Breteuil, at Sèvres, from 1985 June 11 to 13.

Present :

H.-M. WEISS, Chairman of Section II, Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Delegates of the member laboratories :

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay (B. CHAUVENET).

---

\* For the list of the members, see p. VIII.

National Accelerator Centre [NAC], Faure (B. R. MEYER).  
National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (D. D. HOPPE).  
National Institute of Metrology [NIM], Beijing (F. YU).  
National Physical Laboratory [NPL], Teddington (D. SMITH).  
National Research Council of Canada [NRC], Ottawa  
(D. C. SANTRY).  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig  
(H.-M. WEISS).

Members :

J.-J. GOSTELY, Institut d'Électrochimie et Radiochimie [IER], École  
Polytechnique Fédérale, Lausanne.  
J. G. V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited [AECL],  
Chalk River.

The Director of BIPM (P. GIACOMO) (two days).

Observers :

Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom [BCMN], Geel  
(W. BAMBYNEK).  
A. SZÖRÉNYI, Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest.  
G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK],  
Vienne.

Also attending the meeting : J. TERRIEN, Director Emeritus of BIPM,  
A. ALLISY, A. RYTZ, J. W. MÜLLER, V. D. HUYNH, G. RATEL and  
D. MÜLLER (BIPM).

Sent regrets :

Australian Atomic Energy Commission [AAEC], Sutherland ;  
Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad ;  
International Atomic Energy Agency [AIEA], Vienna.

Chairman H.-M. Weiss introduced the new delegates who had not  
attended previous meetings of Section II : F. Yu representing the NIM,  
B. Chauvenet representing the LMRI and B.R. Meyer representing the  
NAC. The chairman noted with deep regret the death of J. Steyn  
(NAC) and recalled his long and active service with Section II.

Following the chairman's nomination of J. G. V. Taylor as Rapporteur  
the agenda was adopted.

A. Rytz announced that he would be retiring from the BIPM before  
the next meeting and expressed his thanks for the cooperation and  
support he had received from members of Section II during his 23  
years at BIPM.

## 1. Description of recent comparisons of activity measurements\*

a)  $^{137}\text{Cs}$ . — A. Rytz reported that the condensed version of the report on the  $^{137}\text{Cs}$  comparison has now appeared in *Nuclear Instruments and Methods* (228, 1985, p. 506) and reprints are available.

b)  $^{133}\text{Ba}$ . — A draft of the final report on the March 1984 full-scale comparison of  $^{133}\text{Ba}$  was presented by A. Rytz. This will be revised to incorporate changes approved at this meeting. A discussion followed in which the problems and uncertainties in the efficiency extrapolation method were described at length. It was the consensus of the meeting that although the efficiency functions showed some inconsistencies in the region of the threshold for detecting L-shell transitions, nevertheless extrapolation from lower-efficiency points gives a valid activity determination. This conclusion is supported by the small uncertainty in the final results: mean activity concentration =  $(1\,160,8 \pm 4,2)$  Bq  $\text{mg}^{-1}$  at the reference date, and the excellent agreement of this value with those obtained by the completely independent  $4\pi$  NaI gamma-ray measurements as well as with earlier SIR results. It was observed that there was an inconsistency in the formulae used to calculate  $\chi^2$  values. The participants were asked to report corrected values to A. Rytz as soon as possible. J.-J. Gostely reported that leading-edge time discrimination appeared to result in significantly less consistent final values than other methods (cross-over or constant fraction). J. W. Müller noted that this correlation did not necessarily imply a causal relationship. A. Rytz will prepare the final report.

c)  $^{109}\text{Cd}$ . — A. Rytz introduced the report on this trial comparison by thanking A. Szörényi for organizing it and B.R. Meyer for supplying the high-purity  $^{109}\text{Cd}$ . There is a great deal of interest in  $^{109}\text{Cd}$  because there are very few gamma rays in this energy region (88 keV) suitable for spectrometer calibration. A. Szörényi reviewed the results which showed good agreement for such a difficult nuclide. He concluded that there were no obstacles to a full-scale comparison (*see* item 5). A. Rytz reported that measurement of the undiluted solution in the SIR ion chamber combined with the dilution factor used by the OMH gave an activity concentration in good agreement with the comparison values.

---

\* — Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(II) 1, and are referred to in the text in the form 85-1, 85-2, etc., p. R 71.

— Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page R 103.

In the discussion it was observed that not all the activity values are independent of the absolute value of the internal-conversion coefficient of the 88 keV transition of  $^{109}\text{Ag}^m$ . The correction, however, is small and quite well known. It was agreed that an account of this preliminary comparison will be completed with typical spectra and issued as a BIPM report.

## 2. BIPM ionization chamber and the SIR

A. Rytz reported that the electronics for the SIR system have been rebuilt; frequent  $^{226}\text{Ra}$  measurements showed no discontinuity following the switch to the new system. By the end of 1984, 413 ampoules of 46 radionuclides from 22 laboratories had been compared. Tables have been distributed showing the maximum impurity levels and lowest activities which allow precise measurements of various nuclides. These are based on the criteria that the uncertainty in the correction for impurities should not exceed 0,2 % and that the weakest source should produce a current greater than one half that produced by the weakest reference source. Improved measurements of the chamber response to bremsstrahlung were reported. A curve of bremsstrahlung response versus average beta-ray energy has been constructed. From this it can be shown that bremsstrahlung contributes 33 % of the current produced by  $^{144}(\text{Ce} + \text{Pr})$ , but less than 1 % for all other gamma-ray-emitting nuclides; a few hundredths of a percent is typical (85-20). The committee suggested that a detailed description of the electronic system be prepared, a « wish list » of new nuclides established, and that the supposed accuracy of the efficiency curve be evaluated.

## 3. Reports of the working groups

*Experiences with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements (Coordinator: G. Winkler)*

A report (85-9) has been distributed (8 pages, 19 references). A table comparing measured and calculated efficiencies for 20 radionuclides measured in four laboratories shows agreement within a few tenths of



a percent in most cases. Further studies on problems associated with pile-up and dead-time corrections are recommended.

*Principles of the coincidence method* (Coordinator : J. W. Müller)

A list of the 20 reports distributed within this working party is given in Document 85-5. B. Chauvenet (LMRI) will replace R. Vatin (LMRI) in this group.

*Thin-source preparation and associated chemical problems* (Coordinator : D. C. Santry)

The coordinator sent out 49 letters and received 17 replies but only two described new work. A literature search did not reveal many significant papers later than 1973. A report will be prepared but unless more information is available the working group should not continue. H.-M. Weiss said the PTB had submitted a paper on their X-ray source for publication. He also noted that large-area  $^{90}\text{Sr}$  sources can be prepared quantitatively by adsorption on oxidized aluminium. Activity is not removed by wipe tests a year after preparation.

*Non-chemical difficulties in activity calibrations of radionuclides* (Coordinator : H.-M. Weiss)

A survey of SIR results revealed some 20 nuclides with actual or potential problems. Most of these have metastable states or decay via both beta emission and electron capture. A report will be prepared.

*Future comparisons* (Coordinator : A. Rytz)

See item 5.

#### 4. BIPM activities

1) The Director of the BIPM, P. Giacomo, reviewed the current situation in which the BIPM has had to undertake some new projects with no increase in budget. Accordingly, some current BIPM activities must be reduced. It is essential, therefore, that the CCEMRI advise the CIPM as to the needs of the national laboratories in the field of

ionizing radiations and the essential rôle of the BIPM in cooperative international programmes. D. D. Hoppes pointed out that any reduction in the activities of the BIPM in the field of ionizing radiations would be serious at this time because there is an increasing demand for international traceability in this field. After further discussion a set of recommendations from Section II to the CIPM was prepared and approved (Recommendation R(II)-1 (1985), p. R180). These set forth the advice of the CCEMRI on the essential activities that BIPM must maintain in the field of radionuclide measurements.

2) G. Ratel described the pressurized proportional counter for coincidence measurements that is being constructed at BIPM based on the PTB design. It can be operated at pressures up to 3 MPa with a relative pressure regulation of  $10^{-3}$ . It will be connected to two independent preamplifiers of BIPM design. A general discussion followed in which the importance of cleaning the anode wires and interlocking the HT supply with the pressure regulation was stressed.

3) Counting statistics. — J. W. Müller gave an illustrated account of his recent work on dead-time problems. The behaviour of extending and non-extending dead times is well known. J. W. Müller showed that if a dead time has a probability  $\theta$  of extending and  $1 - \theta$  of not extending, its response to a random train of input events will be intermediate between that of the two usual types. The mathematical properties of such a «generalized dead time» have been derived and P. Bréonce, of BIPM, has constructed a generalized dead-time apparatus together with equipment demonstrating that it behaved as predicted. This work has elucidated the «first dead time» problem which arises because the first stage of any counting chain has a short intrinsic dead time with unknown and, until now, unknowable properties. The new theory and apparatus allow the properties of this dead time to be deduced from observations of the behaviour of the output from a second fixed dead time of known type. This makes possible, for the first time, accurate predictions of the behaviour of real systems at very high input rates (such as can be handled by selective sampling), for which the first dead time produces a serious distortion of the input distribution. At low rates approximations in general use that neglect the effect of the first dead time are adequate.

Among the other topics dealt with by J. W. Müller we may mention precise measurements of the so-called «Gandy effect», the understanding of which is important for all coincidence measurements, and the pitfalls that a seemingly simple «random choice» of a pulse can reserve for

us if we do not remember that an arbitrarily chosen moment of time falls preferably in a time interval which is longer than the average. Finally, the recent observation of a surprising symmetry relation in the distribution of the arrival times of pulses was reported: it looks like an exact time reversal, but its real explanation had to be left to the listeners.

4) A. Rytz is working, with A. Spagnol and W. B. Mann, on an IAEA manual for radioactivity measurements for use in developing countries. It should be published by the end of the year.

5) The  $\alpha$ -ray spectrometer at the BIPM is the only instrument in the world designed specifically for absolute  $\alpha$ -particle energy measurements. Measurements on  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{252}\text{Cf}$  and  $^{250}\text{Cf}$  (present as an impurity in the  $^{252}\text{Cf}$  sources) were described. A. Rytz said that he will be receiving a  $^{227}\text{Ac}$  source prepared at Harwell for measurement later this year.

## 5. Future comparisons and actions

H.-M. Weiss asked J. G. V. Taylor to act as chairman for this topic because J. G. V. Taylor will become the next chairman of Section I' after H.-M. Weiss retires this year.

### 1) *Future comparisons*

Following the successful trial comparison of  $^{109}\text{Cd}$  it was agreed that a full-scale comparison would be useful. A. Rytz said 19 laboratories had expressed an interest in such a comparison. B. R. Meyer offered to supply the  $^{109}\text{Cd}$  from the same NAC high-purity stock used for the trial comparison. A. Szörényi said OMH would dilute and bottle  $^{109}\text{Cd}$  for distribution but there could be a problem with shipping to some countries. B. Chauvenet offered to have the ampoules shipped from the LMRI. The tentative reference date will be 1986-03-01.

It was agreed that  $^{125}\text{I}$  should be the next radionuclide for a comparison of activity measurements. It is widely used in nuclear medicine but the gamma and X rays from the  $^{125}\text{I}$  decay are too low in energy to be measured by SIR, so there is no information on the international uniformity of its measurement. A. Szörényi said the OMH may be able to supply  $^{125}\text{I}$  for a trial comparison among OMH, PTB, LMRI, CBNM and AECL. October 1986 was tentatively chosen as the

reference date. Representatives of the above laboratories will go on taking part in the working group for advising on future comparisons, and A. Rytz will be the coordinator until May 1986.

J.-J. Gostely suggested that it was time for another comparison of high-count-rate sources. LMRI and BIPM would participate. J.-J. Gostely will find out which laboratories are interested and prepare a detailed proposal to be discussed at the next meeting of Section II.

A. Allisy noted a renewed interest in internal gas counting and wondered if a comparison involving this method should be considered. The NBS, PTB, LMRI and CBNM representatives expressed interest. D. D. Hoppes will prepare a proposal for the next meeting of the Section.

## *2) Other future actions*

H.-M. Weiss reported that K. Debertin will be the next PTB representative and would like to take H.-M. Weiss' place on the working group for future comparisons also.

J. G. V. Taylor asked the working group coordinators to send him nine-monthly progress reports by 1986-03-15.

The proposed future programme of measurement of radionuclides at the BIPM was presented to Section II for discussion (85-4 and Appendix R(II) 2). It was agreed that the activities planned were essential if the laboratory is to continue to fill its mandate, but it seemed that the programme could not be accomplished in good time without some increase in staff.

## **6. Reports from the laboratories of attendees**

All representatives presented accounts of work in progress and staffing levels for radionuclide metrology in their laboratories. Many laboratories reported that they were renewing their equipment to take advantage of recent rapid advances in electronic and computer technology. Short written summaries of progress and programmes were submitted and are available on request from the BIPM as listed in the Annexe R(II) 1.

## **7. Report to the Chairman of CCEMRI**

The chairman presented a draft of the report to be sent to the chairman of CCEMRI. This will be revised to include progress reported at the present meeting.

## 8. Visit to BIPM laboratories

Demonstrations of new equipment in the radionuclide metrology laboratory, including the generalized dead-time apparatus, were set up for visitors. A visit to the laser physics building was arranged for those interested.

## 9. Other business

D. C. Santry requested that laboratories issuing gamma-ray point sources agree on a standard source-mount diameter. Six sizes are in use at present. H.-M. Weiss replied that several diameters were in accordance with ISO recommendations and that the PTB used one of these. No recommendation was made.

D. Smith asked if the recommendation on the statement of uncertainties has been generally adopted. A. Allisy replied that the response to date had been good. A new meeting of the CIPM Working Group on the Statement of Uncertainties is planned but the date has not yet been chosen.

The chairman noted that after 24 years of service A. Rytz would be retiring from the BIPM and Section II before the next meeting in 1987. He recalled that A. Rytz's efficient but unobtrusive coordination of the work of Section II and of radioactivity measurements at the BIPM during this period had been a most important factor in the success of both. On behalf of the Section, H.-M. Weiss thanked A. Rytz and wished him a long and happy retirement.

Speaking on behalf of P. Giacomo as well as Section II, A. Allisy thanked H.-M. Weiss, who is also retiring after his many years of valuable service to the Section, the last six as chairman.

Before adjourning the meeting, the chairman thanked the participants for their contributions and the staff of the BIPM for their hospitality.

June 1985, revised September 1985

**Recommendation**  
**of Section II (Mesure des radionucléides) of CCEMRI**  
**submitted**  
**to the Comité International des Poids et Mesures**

Importance of the rôle of the BIPM for improving the uniformity and accuracy of radioactivity measurements

RECOMMENDATION R(II)-1 (1985)

*Considering*

— that the establishment and maintenance of the world-wide unification of radioactivity measurements is a fundamental task of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), in conformity with the decisions taken by the 11th Conférence Générale des Poids et Mesures,

— that the constantly increasing use of radionuclides in very different fields calls for stringent traceability to international references and improvement of the accuracy of activity measurements all over the world,

— that the BIPM, by virtue of its generally accepted independence, is the only organization capable of assuming the rôle of a permanent focal point in the field of measurements of radioactivity,

— that the BIPM must take an active part in the application and development of new measurement techniques, especially if these permit the achievement of improved accuracy,

— that radioactivity standards are needed for many radionuclides and, because they decay, must constantly be renewed,

— that the equipment and staff of the BIPM are extremely useful to many countries which are developing laboratories for radioactivity measurements, because they can rely on the BIPM primary standards and on expertise of the BIPM scientists,

Section II *recommends*

— that the BIPM should continue to organize international comparisons of selected radionuclides,

— that the International reference system for activity measurements of  $\gamma$ -ray-emitting nuclides should be maintained, for no other continuing mechanism exists, and be extended to include lower-energy radiations,

— that the study of theoretical and practical aspects of accurate measurements of radionuclides should continue to be given full attention,

— that the present staff should be considered as less than the minimum personnel needed at the BIPM for accomplishing the increasing tasks in the field of radioactivity.

---

APPENDIX R(II) 1

---

**Working documents submitted to  
Section II of the CCEMRI at its 8th Meeting**  
(*see* the list of documents on page R 71)

---

## APPENDIX R(II) 2

---

### **Proposed Radionuclide Measurement Programme at BIPM**

(Document CCEMRI (II)/85-4)

---

#### **Introductory remarks**

Following a decision taken by the 11th Conférence Générale des Poids et Mesures, BIPM has been entrusted with the establishment and maintenance of reference standards in the field of radioactivity to which all other measurements should be traceable. Long-term stability, continuity and international independence are essential for achieving this goal.

Accurate activity measurements are needed in many different fields of application, such as medicine and pharmaceuticals, biology, reactor techniques, materials testing and environmental protection. The number of these applications is steadily increasing, as is the demand for higher precision.

The work of BIPM in this field can be roughly subdivided into the following three areas :

- periodical organization and analysis of international comparisons for selected radionuclides,
- permanent comparisons by means of the International reference system for activity measurements of  $\gamma$ -ray-emitting nuclides,
- improvement of existing, and development of new, measurement techniques.

All these activities are strongly interrelated and enable BIPM to render important and well-appreciated services to the national laboratories. New Member States of the Convention du Mètre, in particular, often take advantage of the availability of carefully calibrated standard sources of radionuclides. In addition, they can send physicists to BIPM in order for them to gain experience with modern laboratory practice.

A review of the work done by Section II in the past two decades is given in Rapport BIPM-83/7.



### Proposed programme

- Organization of international comparisons of activity measurements, as selected by CCEMRI Section II; participation, and analysis of the results.
- Construction of a pressurized proportional counter for activity measurements by the coincidence and the selective-sampling methods.
- International reference system for activity measurements of  $\gamma$ -ray-emitting nuclides (SIR), using samples supplied by the national laboratories.
- Establishment of an ionization chamber for low-energy photons as an extension of SIR; study of corrections and determination of efficiency functions.
- Preparation and supply of calibrated solid sources of radionuclides.
- Installation of a second  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  coincidence set.
- Multiparametric extrapolation by computer discrimination.
- Measurement of neutron-activated sources with a Ge-Li detector.
- Measurement of radionuclidic impurities.
- Standardization of « difficult » radionuclides, such as  $^{75}\text{Se}$  or  $^{85}\text{Sr}$ .
- Activity measurements of activated samples of Zr and Nb for neutron-fluence and energy intercomparisons.
- Installation of a well-type NaI(Tl) detector.
- Corrections of activity measurements due to the effect of a first dead time.
- Study of the model of a generalized dead time.
- Evaluation of the perturbations in the observed counting statistics due to such a dead time.

May 1985

---



**Section III — Mesures neutroniques**

7th Meeting (May 1985)

---

AGENDA  
for the 7th Meeting

---

1. Report on neutron work in progress at BIPM.
  2.  $^{252}\text{Cf}$  neutron source emission-rate intercomparison
    - a. Source ( $10^7 \text{ s}^{-1}$ )
    - b. Source ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ).
  3. Fast-neutron fluence-rate intercomparison
    - a.  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  comparison at 2,5, 5,0 and 14,8 MeV
    - b. Nb/Zr comparison at 14,8 MeV
    - c.  $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}^m$  comparison at 0,144 and 0,565 MeV
    - d. Fission-chamber intercomparison.
  4. Dosimetry intercomparison
    - a. NPL 14,7 MeV comparison
    - b. Comparison organized by BIPM by circulating transfer instruments
    - c. ENDIP-2 comparison.
  5. Working group on « Fluence transfer methods with long-term availability ».
  6. Section III contribution to the 1985 CCEMRI Chairman's report to CIPM.
  7. Future concerns of Section III.
  8. Exchange of information on work in progress at neutron-measurement laboratories.
  9. Visit to selected BIPM metrology laboratories.
  10. Other business.
-

REPORT  
TO THE  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by E. J. AXTON and K. W. GEIGER, Rapporteurs

---

**Abstract.** Section III (Mesures neutroniques) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its seventh meeting in May 1985. Recent work carried out at BIPM in the field of neutron measurements was reported. The status of the  $^{252}\text{Cf}$  neutron source intercomparisons ( $10^7 \text{ s}^{-1}$  and  $10^9 \text{ s}^{-1}$ , respectively) was discussed. The results of the fast-neutron fluence-rate intercomparisons using  $\text{In}(n,n')$  and  $\text{Nb/Zr}$  transfer methods were reported and they have been published in *Metrologia*. The neutron-fluence-rate comparisons using  $\text{In}(n,\gamma)$  reaction and fission chambers are in progress. The results of the neutron-dosimetry intercomparison at NPL and a summary of the ENDIP-2 intercomparison were reported. An intercomparison of neutron dosimetry standards by circulating ionization chambers, organized by BIPM, will start in 1985. The Working Group on fluence transfer methods reported progress and various proposals were discussed in detail. The proposed BIPM programme for neutron measurements was approved subject to minor changes, and future concerns of Section III were discussed. Concern was expressed over the possible diminution of resources available to the Ionizing Radiation Section in the future. Finally, there was an exchange of information on work in progress at the participants' laboratories and a short tour of the BIPM laboratories was arranged.

Section III (Mesures neutroniques) \* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) held its seventh meeting at the Pavillon de Breteuil, Sèvres, from 28 through 30 May 1985.

Present :

R. S. CASWELL, Chairman of Section III, National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg.

---

\* For the list of the members, see p. IX.

Delegates of the member laboratories :

- Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants [LMRI], Saclay (Mlle J. CAUMES).  
Electrotechnical Laboratory [ETL], Ibaraki (T. MICHIKAWA).  
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév [IMM], Leningrad (E. KOUTCHERIAVENKO).  
National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. S. CASWELL).  
National Physical Laboratory [NPL], Teddington (V. E. LEWIS).  
National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (K. W. GEIGER).  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (G. DIETZE).

Members :

- J. J. BROERSE, Radiobiological Institute TNO, Rijswijk.  
H. LISKIEN, Central Bureau of Nuclear Measurements [CBNM], Euratom, Geel.  
E. J. AXTON, Chairman, Working Group on fluence transfer methods.

The Director of BIPM (P. GIACOMO).

Observers :

- Atomic Energy Research Establishment Harwell [AERE], (D. B. GAYTHER).  
Centre d'Études de Bruyères-le-Châtel [CEN] (S. CRESPIN).  
Also attended the meeting : J. TERRIEN, Director Emeritus of BIPM, Mme N. COURSOL (LMRI, one day), A. ALLISY (2,5 days), V. D. HUYNH, A. RYTZ, J. W. MÜLLER, G. RATEL and D. MÜLLER (BIPM).

Absent :

- Comitato Nazionale per la ricerca e per lo sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative [ENEA], Roma.  
National Institute of Metrology [NIM], Beijing.

The Director of BIPM welcomed the participants, in particular those who had not attended previous meetings of Section III : G. Dietze, V. E. Lewis, Mme N. Coursol, D. B. Gayther, and S. Crespin representing Mr Grenier.

E. J. Axton and K. W. Geiger accepted to act as rapporteurs.

The very minor changes or additions to the agenda are included in the report.

## 1. Report on neutron work in progress at the BIPM \*

V. D. Huynh summarized the activity of the neutron measurement group since 1983 (85-9) \* as follows :

— Determination of the contribution of scattered neutrons from the target backing in the international comparison of fluence rate at 14,8 MeV using the reaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ . A contribution of 2,8 % (at a target distance of 14,3 cm) has been obtained in the BIPM experimental conditions. It was measured by using a target with a copper backing of 1,5 mm thickness, instead of the 0,5 mm normally used.

— Participation in the ENDIP-2 neutron-dosimetry intercomparison.

— Participation in the neutron-dosimetry intercomparison at the central facility at NPL.

— Participation in the international comparison of neutron-fluence-rate measurements with fission chambers at 14,65 MeV.

— Calibration of the BIPM (d+T) neutron beam in terms of tissue kerma in free air by the ionization-chamber method as well as by the fluence method. A difference of only 0,8 % has been observed between these two independent methods.

— Study of tissue-equivalent (TE) and Mg/Ar ionization chambers as reference and transfer instruments for the coming international comparison of kerma measurements. Six TE (Exradin T2 type) and four Mg (Exradin MG2 type) chambers have been tested in the  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray beam, in close cooperation with the BIPM X- and  $\gamma$ -ray measurement group. Some of these chambers have been also investigated in the (d+T) neutron beam. The walls of two of the TE chambers have been constructed at BIPM with a thickness (2,5 mm and 4,0 mm, respectively) different from that of the original Exradin T2 type chambers, with a view to improving the long-term stability.

---

\* — Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(III) 1. and are referred to in the text in the form 85-1, 85-2, etc.

— Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page R 103.

## 2. Californium neutron source emission-rate intercomparisons

a) Source SR144 — Emission rate approximately  $4.5 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$  at the start of the comparison. Coordinator: E. J. Axton (85-2)

A draft report on the intercomparison was distributed to participants and members of Section III in March 1985. Since that time there have been slight changes to the data as a result of further information from participants in response to telexed enquiries. Hence the tables of results have changed slightly and also the explanatory notes in Appendix I. However, the basic conclusions remain the same. The half-life of  $^{252}\text{Cf}$  remains a problem, as discussed at the previous meeting. Literature values vary from 2,622 a to 2,659 a but the more modern measurements favour 2,650 a. On the other hand, several independent groups of data internal to the intercomparison favour a lower value. An intermediate value of 2,645 a as recommended by NBS in their report to Section III was used to normalize the data to a common reference date.

It was not possible to send SR144 to India or China, so an NPL source CVN10 was sent instead. Also, in order to include INEL in the comparison a third source was introduced, NZ90, which was measured by INEL and NPL. In total, contributions were received from fourteen laboratories involving three sources and four methods of measurement.

A least-squares fitting procedure was used to determine the best values for the three sources and the differences between these best values and the measured values (the residuals) were studied as a measure of the agreement between the participants. Two measurements were omitted from the least-squares analysis (but included as residuals) because they had unreasonably high residuals which have not been explained.

The data were first analysed with the values and uncertainties as evaluated by the participants (stage 1), where the uncertainties were treated as uncorrelated except for the correlation between measurements from the same laboratory (NPL, NBS). The results were far from satisfactory. In addition to the higher-than-expected spread of results, there appeared to be a systematic difference between the manganese-bath measurements and the water-bath measurements.

For stage 2 the data were recalculated using a common set of reference data such as cross sections and cross-section ratios, and some of the corrections were recalculated in a unified manner. This procedure



also affected the uncertainties, some of which changed and/or became correlated. However, not all corrections could be treated this way, and some of the reports lacked the required information.

Nevertheless, the stage 2 results showed a very significant improvement over stage 1, and the systematic difference between the two bath methods was no longer apparent.

It is important to stress that the better agreement in stage 2 does not remove the discrepancies apparent in stage 1. It merely explains them, and they remain in existence unless the laboratories concerned alter their techniques and corrections along the lines of stage 2 or in some other way.

In stage 3 the stage 2 data were recalculated with a  $^{252}\text{Cf}$  half-life of 2,650 a, and this worsened the agreement. Better agreement would be obtained with a half-life even lower than 2,645 a, but this cannot be justified.

In stage 4 some, but not all, of the manganese-bath results of stage 2 were submitted to a correction based on high-pressure ionization-chamber measurements of  $^{56}\text{Mn}$  instead of on  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  coincidence measurements. Stage 4 was a disaster, and highlights severe problems in the measurement of current.

In stage 5 some, but not all, of the manganese-bath results were recalculated on the basis of  $\text{MnSO}_4$  concentrations measured by CBNM instead of with the participants' own measurement. This resulted in a significant worsening of the stage 2 results, possibly because the solution concentrations may have changed during transit or storage.

There was a noticeable improvement at stage 6 where some of the manganese-bath results were corrected for the impurities in the solution as measured by CBNM.

Inclusion of corrections based on assay of rare earths by VGKRI (stage 7) made no significant difference to the stage 2 results because the levels detected were so small.

A final calculation, stage 8, which included all three solution-based corrections, was dominated by the concentration corrections and produced results of an intermediate quality.

The best agreement is obtained with stage 6, the results of which appear in Table 13 of the report, and which can be regarded as a fair view of the status of the metrology of neutron-source emission rates at the present time.

It is proposed to write to all participants to give them an opportunity to make changes to their data, either along the lines of stage 2 or in some other way, after they have seen the report.

A final stage will then be added to the analysis to represent the

final status of each participating laboratory as a result of knowledge gained from the intercomparison.

It is hoped that all participants will respond to the request for final values before 31 July 1985, in order that the final version of the report can be prepared in August.

Section III recommended that the final report, after review by participants, should be published in *Metrologia*.

The work of chemical analysis by CBNM, the search for rare earths by VGKRI, and the organization and analysis of the ionization-chamber measurements by NPL, are gratefully acknowledged.

*b)* Source SR255Z — Emission rate approximately  $10^9$  neutrons  $s^{-1}$  at the start of the comparison. Coordinator: W. G. Alberts (PTB)

Only three laboratories are participating in the comparison. NBS completed measurements in 1977 and PTB the following year. The source is currently at NPL, where difficulties were encountered in the safe handling of the source. There have also been delays in transportation due to the high radiation field. The source strength is now down to  $10^8 s^{-1}$ , and the californium half-life introduces a large uncertainty. Since the interest is in comparing a  $10^9 s^{-1}$  source rather than one of  $10^8 s^{-1}$ , it was decided that this intercomparison should be abandoned. Consideration should be given to a new bilateral intercomparison between NBS and PTB with a new  $10^9 s^{-1}$  source. However, since the measurements made so far have never been properly evaluated and compared it was decided that W. G. Alberts (PTB) and E. D. McGarry (NBS) should be asked to collaborate to produce a summary of the results obtained so far, preferably by the end of 1985. This should lead to a better understanding of the problems involved, and then to a decision whether the new bilateral comparison could then take place in 1986, in time for a report at the next Section III meeting in 1987.

### 3. Fast-neutron fluence intercomparisons

*a)* Transfer method using the  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  reaction at 2,5, 5,0 and 14,8 MeV. Coordinator: H. Liskien (CBNM) (85-18)

Seven laboratories participated at 2,5 MeV, and four at 5,0 MeV. All measurements were completed in 1981 and a detailed analysis of the results was presented by the coordinator at the 1983 meeting. The report has now been published (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 55), together with the report by V. E. Lewis on the intercomparison at 14,8 MeV using the Nb/Zr transfer method (*Metrologia*, **20**, 1984, p. 49; see Section 3 *b* below). A joint paper on these two intercomparisons, by

the two authors, was presented at the 5th Symposium on Neutron Dosimetry in September 1984 at Neuherberg, and also at the Advisory Group Meeting on Nuclear Standard Reference Data at Geel in November 1984.

There were nine participants at 14,8 MeV. The coordinator reviewed the problems which had been encountered in the interpretation of the results, as discussed at the previous meeting. Since the reaction cross section is energy-dependent, significant corrections are necessary to normalize the results to a common energy.

In addition, difficulties occurred with the rather large corrections from room-scattered and target-scattered neutrons, which have a disproportionate effect due to the high value of the reaction cross section at low neutron energies relative to that at 14,8 MeV. The comparison, therefore, serves to highlight the difficulties involved in the practical measurements of neutron-capture cross sections, some of which can be required as secondary standards for the measurement of neutron fluence, and in the calibration of certain instruments used for the measurement of neutron dose equivalent in the field of radiation protection. Some laboratories withdrew their results and others submitted revised values which were not always «blind». Others made no corrections for scattered neutrons. In view of the importance of these data, a study is in progress (G. Dietze, PTB) to calculate, for each participant, the required scattering correction based on ENDF/B-V values of the cross sections for the reactions (n,n), (n,n'), and (n,2n) for Al, Fe, Cu, and Ag between 12 and 16 MeV, and considering also the different target geometries used in the intercomparison. A summary report only will be issued. No publication is foreseen for the reasons given above.

b) Transfer method using activation of samples of Nb/Zr at 14,8 MeV.  
Coordinator: V. E. Lewis (NPL) (85-18)

Nine laboratories participated in the comparison. The activation-threshold neutron energies are above the energies of most of the low-energy contaminant neutrons, for example low-energy scattered neutrons and neutrons produced in (n,2n) reactions. All measurements were completed in 1981 and a report on the results was discussed at the last meeting.

The quotients of niobium activity and fluence, as measured by participants, were generally consistent. The mean neutron energies derived from the ratios of zirconium-to-niobium specific activities were compared with the mean energies (in the range from 14,0 to 14,8 MeV)

as measured or calculated by the participants. The agreement was generally within about 100 keV. The intercomparison was a good test of the Nb/Zr technique, which appears to have adequate accuracy whilst at the same time being inexpensive and involving minimal effort on the part of the participants.

The report has been published in *Metrologia*, and presented at two international meetings (see 3 a above).

Some supplementary work in 1984 (in which four laboratories were involved) to investigate the use of the technique with a higher incident deuteron energy (220 keV) was not conclusive.

c) Transfer method using  $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}^m$  reaction at 0,144 and 0,565 MeV.  
Coordinator: T. B. Ryves (NPL)

A progress report was presented by V. E. Lewis. Six laboratories are participating in sequence in this comparison. Measurements took place between March 1983 and March 1985. The  $4\pi\beta$  proportional counter, indium foils, and  $^{60}\text{Co}$  check source were returned to NPL after each measurement. Several problems arose: several laboratories reported radioactive contamination of the foils — the indium foil was damaged on one occasion — the  $^{60}\text{Co}$  check source was lost, and had to be replaced. These problems are not believed to have affected the results of the comparison. All participants submitted final results and the analysis is in progress.

At neutron energy 0,144 MeV, four of the five laboratories submitted results within a spread of 8 % compared with estimated uncertainties between 3 and 5 % which are correlated. The standard deviation of the check-source results is 1 %. At 0,565 MeV neutron energy the six results showed a spread of 8 %. Scattering corrections are important, but those applied by the participants appear to be inconsistent. Room-scattering corrections are straightforward but corrections for target-scattered neutrons are more difficult.

The coordinator is using his own Monte-Carlo method to evaluate all corrections in a unified manner, and this appears to improve the agreement. Optimistically, a 1 % accuracy is achievable for the intercomparison excluding correlated uncertainties. A summary of the results will be circulated to participants for comment.

d) Transfer method using twin  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  fission chambers.  
Coordinator: D. B. Gayther (AERE) (85-15)

The two chambers, one containing  $^{235}\text{U}$  and the other containing  $^{238}\text{U}$  fissile deposits, have been sent in sequence to three laboratories

which have completed their measurements. The chambers are now at CBNM. There are five further participants.

A valid intercomparison of the measurements requires there to be no deterioration in either the performance or the fissile content of each chamber with the passage of time. Accordingly, after each measurement the chambers have been returned to the United Kingdom and the pulse-height distributions and count-rates recorded under carefully controlled conditions with the same  $^{252}\text{Cf}$  neutron source, which is recalibrated at NPL on each occasion. Measurements of this type made in November 1983 and September 1984 showed there to be no change in the performance of either chamber or in its fissile content within the relative accuracy of the source calibration ( $\approx 0,25\%$ ).

If the programme continues at its present rate of two measurements per annum it will take until at least mid-1987 to complete. To speed up the exercise presents an administrative rather than a technical problem. Each measurement requires a participating laboratory to devote to it several man-months of effort and the present rate of progress is accounted for by staff shortages, greater emphasis given to other programmes of work, and re-scheduling caused by accelerator breakdowns. Some improvement could be expected if participants were to give the intercomparison a higher priority, thereby allowing greater flexibility in scheduling the programme.

#### 4. Dosimetry intercomparisons

##### a) NPL 14,7 MeV dosimetry intercomparison. Coordinator: V. E. Lewis

Seven groups from five countries participated in a neutron-dosimetry intercomparison held in 1983 at the National Physical Laboratory. Measurements were made free-in-air and at three depths in a water-filled phantom in a collimated d+T neutron beam. The dosimetry system used by the majority of the participating groups for the determination of the neutron and photon dose components consisted of a  $0,5\text{ cm}^3$  Exradin tissue-equivalent (TE) ionization chamber plus an energy-compensated Geiger-Müller (GM) counter as the «neutron insensitive» device. Some groups used a magnesium/argon ionization chamber as well as the GM counter. The responses were measured and corrected according to the ECNEU protocol. A common relative neutron-dose sensitivity ( $k_T$  value) for the TE chamber was derived.

The TE ionization chamber responses were generally consistent within the estimated random uncertainties, thus giving good agreement for the total doses. The GM counter responses were consistent and these, combined with low and accurately known relative neutron-dose sensitivities ( $k_U$  values), resulted in good agreement for the separate neutron and photon dose components. However, the Mg/Ar devices, although nominally of the same type, produced wide variations in response which resulted in very inconsistent sets of values for the dose components. This suggests that at present the Mg/Ar chamber cannot be regarded as being sufficiently accurate.

More participants would have been desirable, but some potential groups were inhibited by the costs, which involved travelling expenses plus the need to pay for accelerator time.

The comparison demonstrated that consistent results can be obtained when the participants use instrumentation of the same design, a common protocol, and the same reference data.

A comprehensive report has been approved by the participants, subject to minor amendments. The report is too long for publication but a shortened version could be prepared for publication in the open literature.

*b) BIPM dosimetry comparison based on the circulation of a set of transfer instruments. Coordinator : V. D. Huynh (85-3 and 85-8)*

The intercomparison was planned at the 1983 meeting of the Section, which followed a two-year period in which BIPM examined the performance of a number of transfer devices which could be considered suitable. The set of transfer instruments which has been chosen comprises :

- Two Exradin T-2 tissue-equivalent (TE) ionization chambers + TE build-up caps with thicknesses of 1, 2, 3, 4, 5 and 6 mm,
- An Exradin MG2 magnesium-argon ionization chamber + Mg build-up caps with thicknesses of 1, 2, 3, 4, 5 and 6 mm,
- An energy-compensated Geiger-Müller (GM) counter (+ spare tube),
- 60 m of triaxial cable with BNC connectors and « banana plugs » + adapter connectors,
- A flow-rate meter (floating-ball type).

This equipment will be sent unaccompanied to each participant in turn and returned to BIPM for checking before dispatch to the next participant. In the tentative schedule a period of two months is allowed for each participant, which includes shipment both ways and the BIPM checks. At present, eleven laboratories have agreed to participate during the period from October 1985 to May 1987. However, the intercomparison

is ongoing and other participants may be added to the list at any time.

A comprehensive protocol had already been prepared and distributed to prospective participants, some of whom had already replied with suggestions for changes. There was considerable discussion on these proposals, with the following conclusions.

— Kerma in A150 plastic (in air) would remain as the quantity to be compared. It is unlikely that A150 could be improved upon significantly and there is now a European source of this material. Depth dose measurements in A150 phantoms cannot be performed because of the non-availability of phantoms.

— Depth dose measurements in water phantoms will not be included.

— Tissue-equivalent gas will be supplied by the home laboratory. It is not practical to specify gas from a common source, e.g. BIPM. However, as a precaution, the ratio of chamber response with TE gas to that obtained with air should be determined.

— Accuracy of charge- or current-measuring devices. The neutron-source comparison (2 a above) demonstrated a wide spread in absolute measurement of current among different laboratories. It was decided that it would be unnecessary to compare these measurements directly since only ratios to the photon response are required.

— The  $K_N$  and  $K_G$  values should be determined both with the BIPM equipment and with the «home» equipment as was done in the ENDIP-2 comparison.

— Changes to the tentative schedule should be made as required to suit changing circumstances, in order to expedite the programme.

#### c) The ENDIP-2 intercomparison (85-14)

A summary of this comparison was given by J. J. Broerse. Under the auspices of the CENDOS committee a fully equipped measurement team visited eighteen participating groups in six countries. The equipment was similar to that proposed above for BIPM with the addition of electrometers, argon gas and gas-flow systems (but not TE gas), phantom, thermometer, and barometer. Results with the check-source system showed a standard deviation of less than one percent but variations in the readings of up to 2 % were found, due to differences in the composition of the locally supplied TE gas. Preliminary results reveal agreement which is much better than that achieved in ENDIP-1 due to recent improvements in neutron dosimetry and the adoption of

standard data, equipment and procedures. It was found that having people travel with the instruments accelerated the intercomparison and had many technical advantages.

### 5. Working group on fluence transfer methods with long-term availability

(E. J. Axton, 85-4, 85-5 and 85-6)

#### a) Activation methods

Early in 1984 a progress report was circulated to members who discussed activation methods that had been used in previous intercomparisons. Ideally, samples should be dispatched to participants for activation in a known neutron field and then returned to BIPM for absolute counting, thereby absolving the participating laboratories from making absolute radioactivity measurements.

The  $\text{Au}(n,\gamma)$  reaction has been used successfully in the past for thermal neutrons. It is not necessary for the BIPM to possess a standard neutron-flux assembly, only to have the facility to measure  $^{198}\text{Au}$  absolutely.

The Nb/Zr combination has been used successfully in the energy range 14-15 MeV, and it also provides an estimate of the neutron energy.

The  $^{56}\text{Fe}(n,p)$  reaction has been used successfully at 14,8 MeV but requires absolute counting of  $^{56}\text{Mn}$  at each laboratory. Hence suitable check sources are necessary. The same applies to the  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  reaction which was successful at low energies (2,5 and 5 MeV) but ran into severe scattering problems at 14-15 MeV.

The  $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$  reaction for low energies requires absolute counting at laboratories or the circulation of an instrument.

In general, obtainable count-rates are low, and measurements at several distances to determine scattering contributions are not possible.

It is very difficult to find reactions which can be used at energies other than thermal or 14-15 MeV. Such reactions need to have the right combination of half-life, cross section and cross-section shape as a function of energy, and reaction-product radioactivity which is sufficiently intense for accurate absolute measurements. Shipment of radioactive sources is becoming more regulated, and difficult, and therefore takes longer than it did twenty years ago. The following decisions were made :

— BIPM should establish gold foils as a transfer standard for the measurement of thermal-neutron fluence.



— BIPM should establish Nb/Zr samples as a transfer standard for the measurement of neutron fluence in the energy range 14-15 MeV.

#### b) Transfer instruments

The alternative to activation methods is to develop rugged, simple, transportable transfer instruments which can be kept permanently at BIPM and sent, unattended, as required, to would-be participants.

As with the activation methods, transfer instruments suffer from the problem of scattered neutrons. However, when the instrument measures the neutron spectrum, the contribution of lower-energy scattered neutrons can be greatly reduced.

From a total of ten possible methods the working group selected a short list of three, namely :

- moderating spheres at all energies,
- $^3\text{He}$  spectrometer up to 250 keV,
- above 1 MeV, a proton-recoil spectrometer that includes a scintillator of stilbene or one of Type NE (Nuclear Enterprises).

The first two have been used successfully in previous intercomparisons. In the intercomparison with spheres, all participants worked at large source-detector separation distances and derived the scattering effects either by the use of shadow cones or by least-squares fitting of the detector response as a function of distance. Recently J. B. Hunt (*Rad. Prot. Dosimetry*, **9**, 1984, p. 105) has demonstrated that the geometrical problems of working at very short distances can be overcome and the sphere response derived very quickly by making a small number of measurements at very short distances, provided that the scattering contribution is known. Subsequent computer simulation of the experiment shows that shadow-cone measurements can be avoided at the expense of making more measurements at longer distances. After some discussion of the problems involved, such as automatic positioning of detectors at short distances, and monitoring of the neutron field in a manner unaffected by the presence of the detector, the following decisions were made :

— The working group should try to have the Hunt technique tested at a number of laboratories such as PTB, NBS, BIPM. The effects of a small room should be studied.

— The working group should continue to consider the  $^3\text{He}$  and stilbene spectrometers, and to search for suitable activation reactions for other neutron energies.

## 6. Contribution of Section III to the Report of the Chairman of CCEMRI to CIPM

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants presents a report to the Comité International des Poids et Mesures every two years. R. S. Caswell agreed to write the contribution after receiving suggestions from members of Section III. The chairman of CCEMRI (E. Ambler, NBS) is expected to resign after the next meeting of CIPM, in October 1985.

## 7. Future concerns of Section III

### a) Proposed future measurement programme at BIPM (85-7, 85-10)

The proposed programme (85-7) covers three areas :

— Maintenance of the BIPM system of interdependent reference standards for the measurement of neutron-source emission rates, neutron fluence, and neutron kerma. The accuracy of these reference standards has been demonstrated by intercomparisons with the major national laboratories, and they are maintained permanently at BIPM and are available on demand at BIPM for the benefit of member countries who wish to compare their measurements internationally.

— BIPM participation in international comparisons.

— Establishment of transfer standards for international comparisons. Transfer standards for the measurement of neutron-source emission rate, neutron fluence, and neutron kerma will be established permanently at BIPM. They will be available on demand to be transported unattended for use in the laboratories of the Member States.

During the discussion, some further proposals were suggested (85-10) :

— In view of the importance of neutrons in the energy range of several keV to several tens of keV for the neutron dosimetry of personnel, a neutron-fluence intercomparison should be arranged in the near future at one energy in the range 20 keV to 50 keV. Possible neutron sources are the scandium (p,n) reaction at NPL and ETL, the PTB reactor beam, and the Sb/Be source. In view of the shortage of sources, transfer devices and techniques, it was decided that some thought should be given to the problem during the next two years and it should be discussed at the next meeting.

— A fluence comparison for neutrons of energy  $\approx 20$  MeV should be considered in the near future because these are important to dosimetry

of personnel monitoring in the fields of high-energy accelerator facilities. There are problems associated with the establishment of fluence standards at 20 MeV and it was decided that the subject should be discussed at the next meeting.

— In view of the development of fast-breeder and/or fusion-reactor technologies in the world, national laboratories should conduct research on measurement techniques for materials dosimetry as well as for medical dosimetry. This would necessitate the installation of high-intensity d + T neutron generators at national laboratories as well as at BIPM. After some discussion of high-intensity sources and measurement techniques it was decided that it would be premature for Section III to become involved in this field at this stage.

After minor changes to document 85-7 the proposed neutron measurement programme was approved, and is presented in Appendix R(III)2, p. R 205.

#### b) Publicity

The BIPM facilities and the transportable transfer standards are to be available to all Member States but they will be of particular interest to those countries that have no neutron facilities in a national laboratory and to those countries newly entering the field. The group feels that some potential clients may be unaware that these services are available.

The International Atomic Energy Agency has a comprehensive programme to assist such countries to establish secondary standards laboratories, particularly in the field of radiation-protection dosimetry. Perhaps some collaboration with IAEA would be possible, for example by inviting an IAEA observer to future meetings of Section III. Also, BIPM publications should have wider distribution.

An *ad hoc* Committee (J. J. Broerse, H. Liskien) has been formed to prepare a suitable list of addressees which can be circulated to members for further additions. However, for countries where neutron work is carried out at national laboratories, only the latter will later be contacted for liaison.

c) J. J. Broerse drew attention to the IAEA Advisory Group Meeting on Nuclear and Atomic Data for Radiotherapy and Radiobiology which will take place at the Radiobiological Institute TNO, 16-20 September 1985.

d) In view of the impending retirement of some key personnel in the ionizing radiation group, Section III is concerned that CIPM may wish to change priorities within the BIPM laboratories. This could lead to a reduction in the resources available to the BIPM Ionizing Radiation Laboratory.

The members pointed out that accurate neutron measurements are important for :

- reactor design and safety,
- fusion and solid-state research,
- protection of workers in radiation applications, considering that neutrons are particularly hazardous,
- radiobiology and mechanisms of radiation action,
- neutron radiotherapy with high-energy accelerators,
- neutron contamination of photon and electron beams from high-energy electron accelerators.

The establishment of reference standards for the measurement of neutron radiation is a fundamental rôle of BIPM, conforming to the directives of the Conférence Générale des Poids et Mesures. Such references need to have long-term stability and continuity and are international in nature.

Some of these measurements are needed to implement the legal basis for radiation protection regulations. Traceability to national standards is usually required.

In view of these and other considerations, Section III wishes to make the Recommendation R(III)-1 (1985) to CIPM.

### **8. Exchange of information on work in progress at the participants' laboratories**

A very fruitful exchange of information took place. The group felt again that this was a very important item on the agenda as it furthered the mutual understanding among scientists and helped to distinguish the various capabilities of the laboratories.

### **9. Visit to BIPM metrology laboratories**

The Director of BIPM conducted a very informative tour of the laboratories for the measurement of gravity, length and mass.

### **10. Other business**

There was no other business.

The chairman thanked all the participants and also expressed his gratitude to the BIPM staff for their hospitality. The meeting closed with an expression of thanks by the director of BIPM.

**Recommendation  
of Section III (Neutron measurements) of CCEMRI  
submitted  
to the Comité International des Poids et Mesures**

Maintenance and improvement at the BIPM of reference and transfer instruments for neutron measurements

RECOMMENDATION R(III)-1 (1985)

*Considering* that neutron metrology is a young and still-developing science in which the international consistency of measurements is in the process of being established,

*considering* the progress achieved in establishing this consistency thanks to the joint efforts made by the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants and the neutron laboratory of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM),

*considering* that some member countries of the Convention du Mètre have deliberately chosen to establish and maintain secondary standards as their national standards, assuming that they could have direct access to the primary standards of BIPM,

*considering* that in the field of neutron measurements the accuracies required in industry, for health protection and in biomedical applications are close to those presently achievable in metrological laboratories,

*considering* that some of these measurements are needed to implement the legal basis for radiation-protection regulations and that traceability to national standards is usually required,

Section III *recommends*

— that the international references for neutron measurements existing at the BIPM be maintained and improved,

— that the necessary steps be taken with regard to personnel and equipment, so that the neutron laboratory at the BIPM can study and improve the simple, yet precise, transfer instruments which have already been tested within the framework of international comparisons,

— that these instruments be maintained at BIPM with guaranteed stability, in order to allow the establishment of a coherent system of neutron measurements to which experienced laboratories as well as those entering this field can be linked.

APPENDIX R(III) 1

---

**Working documents submitted to  
Section III of the CCEMRI at its 7th Meeting**  
(*see* the list of documents on page R 96)

---

## APPENDIX R(III) 2

---

### **Proposed Neutron Measurement Programme at BIPM** (Document CCEMRI (III)/85-7)

---

#### **1. Maintenance of reference standards**

The establishment of reference standards for the measurement of neutron-source emission rates, neutron fluence, and neutron kerma is a fundamental rôle of BIPM, conforming to the directives of the Conférence Générale des Poids et Mesures. Such references have long-term stability and continuity and are internationally independent.

Accurate neutron measurements are required for medical purposes (dosimetry for radiation protection and radiotherapy), for industry and research, and for the calibration of transfer instruments for inter-laboratory calibrations. In order to promote international comparisons of neutron-source emission rate, neutron fluence, neutron kerma and neutron dose equivalent, the BIPM has established a system of interdependent reference standards, the accuracy of which has been demonstrated by international comparisons with the major national laboratories. The reference standards are maintained permanently at BIPM and are available on demand for the benefit of member countries who wish to compare their measurements internationally.

Neutron metrology is a young and still-developing science, in which the international consistency of measurements is in the process of being established, in contrast to the situation prevailing in other fields such as those of mass, length and time. The accuracies so far attained in metrological laboratories are not yet adequate for the requirements in industry, health protection and biomedical applications.

##### *a)* Neutron emission rate from portable radioactive sources

At the present time, the most accurate and most convenient method for the calibration of neutron-source emission rates is the manganese-

bath technique. The BIPM system can be used to calibrate sources with widely differing neutron spectra and with emission rates between  $10^4$  and  $10^8 \text{ s}^{-1}$  to an accuracy of between 0,5 % and 1,5 % depending on the neutron spectrum. Neutron sources may be sent to BIPM for calibration or, alternatively, a calibrated neutron source is available on loan.

*b) Monoenergetic fast-neutron fluence*

Although radioactive neutron sources have many uses and advantages, their intensity is limited and they are not monoenergetic. Instruments for neutron detection are designed to have energy response functions for specific purposes. For example, they may be energy-independent or they may have a response which follows dose equivalent as a function of neutron energy. In order to check the energy response of these instruments, it is necessary to provide calibration fields of monoenergetic fast neutrons. The two widely used neutron energies are 14,8 MeV and 2,5 MeV because they can be provided at low cost. These neutron energies are available with the BIPM accelerator, which can provide fluence rates of up to  $1,2 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and  $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  for 14,8 MeV and 2,5 MeV respectively, at a distance of 10 cm from the target. The accuracy of the certification of the neutron fluence rate is 1,5 %. Instruments may be sent to BIPM for calibration in these fields.

*c) Neutron kerma*

Neutron kerma is important in neutron dosimetry for radiobiology, radiotherapy and radiation protection. A tissue-equivalent plastic-cavity ionization chamber with the associated tissue-equivalent gas-flow system has been established as a reference standard for the measurement of neutron kerma. After calibration in a standardized photon beam and with the appropriate conversion factors, the chamber measures kerma. Alternatively, the chamber may be calibrated in a standardized neutron beam, and the kerma calculated from internationally-agreed fluence-to-kerma conversion factors. In order to discriminate between the photon and neutron contributions to the total kerma, an energy-compensated Geiger-Müller counter and a magnesium-argon gas-flow cavity ionization chamber are available. Instruments may be submitted to BIPM for calibration or, alternatively, the system is available on demand to be used at the client's laboratory. However, the small cyclotrons (up to 15 MeV) are not producing the expected benefit in neutron radiotherapy. The tendency in the future will be towards higher energies.



d) Neutron dose equivalent

Instruments may be calibrated in terms of neutron dose equivalent by exposure in a standardized neutron field and the use of internationally-agreed conversion factors between fluence and dose equivalent.

The possibility to measure dose equivalent at a prescribed depth in a tissue-equivalent phantom by means of a tissue-equivalent proportional counter is under consideration.

## 2. BIPM participation in international comparisons

a) Neutron sources

A report has been prepared on the results of measurements of a  $^{252}\text{Cf}$  spontaneous-fission neutron source by fourteen laboratories.

No further neutron-source comparisons are contemplated in the near future.

b) Monoenergetic neutron fluence

— The results of the comparison at 14,8 MeV neutron energy with the  $\text{In}(n,n')$  reaction as transfer method are under review.

— The comparison at 144 and 565 keV neutron energies with a circulated proportional counter as transfer instrument is still in progress.

— The comparison at several neutron energies with a fission chamber as transfer instrument is still in progress.

No further intercomparisons of monoenergetic neutron fluence are contemplated in the near future.

c) Neutron kerma

BIPM participated in the comparison of kerma in A150 plastic which was held at NPL in 1983, and also in the ENDIP-2 comparison which was arranged under the auspices of the CENDOS Committee.

A comparison of kerma in tissue-equivalent plastic (in air) at 14,8 MeV neutron energy is in progress. This comparison, organized by BIPM, is achieved by circulating, to each participant in turn, the tissue-equivalent cavity ionization chamber and its associated photon detectors, as described in Section 1 c. There are at present eleven laboratories who

wish to participate. The reference equipment will continue to be available at BIPM on a permanent basis on demand for the benefit of countries which enter the field later on.

### 3. Establishment of transfer standards for international comparisons

#### a) Neutron sources

The BIPM standard Ra-Be( $\alpha$ ,n), Ra-Be( $\gamma$ ,n), and Am-Be( $\alpha$ ,n) neutron sources are available as transfer standards for the measurement of neutron-source emission rates.

#### b) Neutron fluence

Neutron-fluence measurements at agreed energies can be compared either by neutron-activation methods or with the use of transfer instruments. Both of these methods have been featured in previous international comparisons. The most serious problem in either case is the presence of neutrons scattered by the environment.

— Activation methods. — The aim is to select, for each neutron energy, a nuclear reaction that has a suitable combination of reaction cross section, cross-section variation with neutron energy, spectrum of  $\gamma$ -ray emission and half-life of the induced activity, to enable samples of the chosen material to be dispatched by BIPM to the participating laboratories for activation by neutrons, and then returned to BIPM for activation measurements. The procedure absolves the laboratory from the responsibility of making absolute measurements of radioactivity.

For measurements of thermal neutron fluence, the  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$  reaction is suitable, provided that the intensity of the fluence to be compared is sufficiently high and that the samples can be returned to BIPM within a day or two.

The most suitable reactions for neutron energies in the range from 14 to 15 MeV are  $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92}\text{Nb}^m$  and  $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}^{g+m}$ . This combination has the advantage that the neutron fluence can be obtained from the induced Nb activity, and the precise neutron energy can be obtained from the ratio of the two activities.

The Working Group of CCEMRI Section III is investigating neutron reactions which may be suitable at other neutron energies.

— Transfer instruments. — An instrument which is suitable for shipment (unattended) to different countries must be stable, robust, and

simple to operate with unsophisticated ancillary equipment, such as electronics. The most suitable instrument for this purpose is the simple moderating sphere containing a thermal-neutron detector at the centre. By making measurements at short separation distances, the detection efficiency of the instrument and the scattering corrections can be derived by a least-squares fitting procedure. The instrument is suitable for all neutron energies. If two or three different-sized spheres are used, the average neutron energy can be deduced. By working at short distances from the target where the fluence is greater, the measurements at each energy can be completed in a few hours.

Work is planned, in collaboration with the CCEMRI Section III programme, to investigate the suitability of this transfer method.

c) Neutron kerma

At the conclusion of the intercomparison described above under 2 c the equipment will be permanently available as a transfer standard for the comparison of neutron kerma in tissue-equivalent plastic.

May 1985

---



---

# TABLE DES MATIÈRES

---

## COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

11<sup>e</sup> session (1985)

---

	Pages
Notice sur les organes de la Convention du Mètre .....	v
Liste des membres .....	vii
Ordre du jour .....	x
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures</b> , par R. S. Caswell .....	<b>R1</b>
Résumé .....	1
Introduction .....	2
Rapports d'activité des trois Sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM :	
— Section I : Rayons X et $\gamma$ , électrons (importance du rôle du BIPM dans les comparaisons d'étalons primaires ; mesures de la dose absorbée dans l'eau ; comparaison de dose absorbée dans l'eau au moyen de dosimètres Fricke ; répercussions sur les étalons primaires d'exposition et sur certaines constantes ( $W$ , $g$ ) des nouvelles valeurs de pouvoirs de ralentissement de l'ICRU ; nouvelles grandeurs pour l'équivalent de dose recommandées par l'ICRU ; rapport du Groupe de travail sur l'estimation des incertitudes ; rayonnements à usage industriel ; recherches sur les calorimètres à eau ; relations entre le réseau SSDL de l'AIEA et le BIPM ; publicité) .....	2
Travaux du BIPM (comparaisons internationales et étalonnages ; projet de mesure de la dose absorbée dans l'eau ; calcul de la correction de perturbation $k_p$ ; influence des nouvelles valeurs des pouvoirs de ralentissement sur $W$ ) ..	6
Nouveau président de la Section I .....	7
— Section II : Mesure des radionucléides (comparaisons internationales récentes : $^{137}\text{Cs}$ , $^{133}\text{Ba}$ et $^{109}\text{Cd}$ ; Système international de référence ; rapports des groupes de travail ; comparaisons futures : $^{109}\text{Cd}$ et $^{125}\text{I}$ ; enquête sur le comptage à gaz interne et les taux de comptage élevés ; nouveaux membres) .....	7
Travaux du BIPM (comparaisons internationales ; amélioration du système électronique du SIR ; mesures d'énergie de particules $\alpha$ ; construction d'un compteur proportionnel à pression ; résultats nouveaux dans le domaine des statistiques de comptage) .....	10
— Section III : Mesures neutroniques (comparaisons internationales de taux d'émission de sources de neutrons de $^{252}\text{Cf}$ ; comparaisons de mesures de débit de fluence avec trois méthodes de transfert et avec des chambres à fission de $^{235}\text{U}$ et $^{238}\text{U}$ ; comparaisons de dosimétrie neutronique du NPL et du BIPM) .....	11

Travaux du BIPM (participation aux comparaisons internationales; étude d'instruments de transfert pour la comparaison de dosimétrie neutronique à long terme du BIPM).....	13
Discussion du rapport du président du CCEMRI au CIPM .....	14
Questions diverses .....	14
 <b>Annexe</b>	
R 1. Rapport du président du CCEMRI au CIPM .....	15
 <b>SECTION I (Rayons X et <math>\gamma</math>, électrons), 8<sup>e</sup> réunion (avril 1985).....</b>	
Ordre du jour.....	38
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par S. C. Ellis.....</b>	<b>39</b>
Résumé.....	39
Ouverture de la réunion.....	39
Travaux récents effectués au BIPM (étude de la stabilité de chambres d'ionisation Exradin, mesure de $C_x$ , étalonnages et comparaisons d'étalons d'exposition, réévaluation de $W$ , mesure de la dose absorbée dans l'eau, calcul de $g$ )....	41
Travaux futurs à effectuer au BIPM (maintien des références existantes et poursuite des comparaisons, collaboration avec l'AIEA dans le cadre du réseau SSDL, études relatives à l'équivalent de dose).....	42
Comparaison d'étalons d'exposition et de kerma dans l'air (comparaisons et étalonnages effectués au BIPM, comparaisons bilatérales, comparaisons pour les faibles débits de kerma, comparaisons restreintes de dosimètres chimiques Fricke) .....	43
Constantes physiques pour les étalons de mesure de rayonnement (l'emploi de nouvelles valeurs est recommandé à partir de 1986-01-01) .....	45
Grandeurs utilisées en radioprotection (équivalent de dose, détermination des facteurs de conversion nécessaires pour les faisceaux de rayons X) .....	46
Comparaison des estimations des incertitudes (résultats des travaux du groupe de travail pour les étalons d'exposition (chambres à parois d'air ou à cavité) et pour les calorimètres de graphite).....	47
Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel.....	48
Rapports d'activité des laboratoires.....	49
Réseau AIEA/OMS de laboratoires de dosimétrie dotés d'étalons secondaires..	49
Publicité.....	50
Résumé des principales conclusions.....	50
Recommandation R(I)-1 (1985) (Maintien et développement des étalons de rayonnements ionisants du BIPM).....	51
Recommandation R(I)-2 (1985) (Extension des responsabilités du BIPM à la mesure de l'équivalent de dose ambiant (rayons X et $\gamma$ )) .....	52
Recommandation R(I)-3 (1985) (Rattachement aux étalons du BIPM des comparaisons de dose absorbée dans l'eau).....	52

**Annexes**

R(I) 1. Documents de travail présentés à la 8 <sup>e</sup> réunion de la Section I du CCEMRI .....	53
R(I) 2. Programme proposé pour les mesures de rayons X et $\gamma$ au BIPM.....	56
SECTION II (Mesure des radionucléides), 8 <sup>e</sup> réunion (juin 1985).....	59
Ordre du jour .....	60
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures</b> , par J. G. V. Taylor .....	61
Résumé.....	61
Ouverture de la réunion.....	61
Résultats des récentes comparaisons internationales de mesures d'activité (version condensée du rapport de la comparaison de <sup>137</sup> Cs publiée dans <i>Nucl. Instrum. Methods</i> ; projet de rapport final de la comparaison à grande échelle de <sup>133</sup> Ba; rapport de la comparaison restreinte de <sup>109</sup> Cd) .....	63
Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (amélioration de l'équipement électronique; développement régulier du système).....	64
Rapports des groupes de travail (compilation des expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée; principes de la méthode des coïncidences; préparation de sources minces; difficultés d'ordre non chimique rencontrées dans les étalonnages de l'activité de certains radionucléides; comparaisons internationales futures) .....	64
Travaux effectués au BIPM (besoins des laboratoires nationaux et rôle du BIPM dans le domaine des mesures d'activité; construction d'un compteur proportionnel à pression; statistiques de comptage; rédaction d'un manuel AIEA; spectrométrie alpha (mesures de <sup>241</sup> Am, <sup>252</sup> Cf et <sup>250</sup> Cf)) .....	65
Comparaisons internationales futures ( <sup>109</sup> Cd; <sup>125</sup> I; étude d'une comparaison de sources à taux de comptage élevés; comptage à gaz interne); autres activités futures.....	67
Rapports d'activité des laboratoires représentés à la réunion .....	68
Rapport au président du CCEMRI.....	68
Visite de laboratoires du BIPM .....	69
Questions diverses (diamètre des supports de sources; expression des incertitudes; départ à la retraite de A. Rytz et H.-M. Weiss).....	69
Recommandation R(II)-1 (1985) (Importance du rôle du BIPM pour améliorer l'uniformité et l'exactitude des mesures de radioactivité) .....	70

**Annexes**

R(II) 1. Documents de travail présentés à la 8 <sup>e</sup> réunion de la Section II du CCEMRI .....	71
R(II) 2. Programme de travail proposé pour le groupe de mesure des radionucléides du BIPM.....	73

SECTION III (Mesures neutroniques), 7 <sup>e</sup> réunion (mai 1985) .....	77
Ordre du jour .....	78
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures</b> , par E. J. Axton et K. W. Geiger .....	79
Résumé .....	79
Ouverture de la réunion .....	79
Travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques .....	81
Comparaison internationale de mesures de taux d'émission de sources de neutrons de $^{252}\text{Cf}$ de $10^7 \text{ s}^{-1}$ (discussion du projet de rapport) et de $10^9 \text{ s}^{-1}$ (comparaison abandonnée) .....	82
Comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides (réactions $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ à 2,5 et 5,0 MeV [analyse publiée] et à 14,8 MeV [analyse en cours]; Nb/Zr à 14,8 MeV [analyse publiée]; $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}^m$ à 144 keV et 565 keV [analyse en cours]; chambres à fission $^{235}\text{U}$ et $^{238}\text{U}$ [comparaison en cours]) .....	84
Comparaisons internationales d'étalons de dosimétrie neutronique (comparaison NPL à 14,7 MeV [analyse terminée]; comparaison BIPM par circulation d'instruments de transfert [début prévu en octobre 1985]; ENDIP-2 [analyse en cours]) .....	87
Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence disponibles en permanence et à long terme (méthodes d'activation; instruments de transfert) .....	90
Contribution de la Section III au Rapport du président du CCEMRI au CIPM .....	92
Activités futures de la Section III (programme de travail proposé pour le groupe de mesures neutroniques du BIPM; publicité) .....	92
Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires représentés à la réunion .....	94
Visite de laboratoires du BIPM .....	94
Questions diverses (néant) .....	94
Recommandation R(III)-1 (1985) (Maintien et amélioration au BIPM d'instruments de référence et de transfert pour les mesures neutroniques) .....	95
<b>Annexes</b>	
R(III) 1. Documents de travail présentés à la 7 <sup>e</sup> réunion de la Section III du CCEMRI .....	96
R(III) 2. Programme de travail proposé pour le groupe de mesures neutroniques du BIPM .....	98
Liste des laboratoires et organisations mentionnés dans le volume .....	103



Notice for the reader of the English version. Avertissement au lecteur de la version anglaise .....	107
Note on the organs of the Convention du Mètre.....	109
Agenda.....	112
<b>Report to the Comité International des Poids et Mesures, by R.S. Caswell .....</b>	<b>113</b>
Abstract.....	113
Introduction.....	114
Reports of the three CCEMRI Sections and related BIPM work:	
— Section I: Rayons X et $\gamma$ , électrons (importance of the rôle of BIPM in primary standard comparisons; measurement of absorbed dose in water; comparisons of absorbed dose in water by using Fricke dosimeters; effect of the new ICRU stopping-power values on the primary standards of exposure and on some constants ( $W$ , $g$ ); new quantities recommended by ICRU for dose equivalent; report of the Working Party on uncertainty estimates; processing-level standards; investigation of water calorimeters; links between IAEA's SSDL network and BIPM; publicity).....	114
BIPM work (international comparisons and calibrations; project for the measurement of absorbed dose in water; calculation of the perturbation correction $k_p$ ; effect of the new stopping-power values on $W$ ).....	118
New chairman of Section I.....	119
— Section II: Mesure des radionucléides (recent international comparisons: $^{137}\text{Cs}$ , $^{133}\text{Ba}$ and $^{109}\text{Cd}$ ; International reference system; reports of the working groups; future comparisons: $^{109}\text{Cd}$ and $^{125}\text{I}$ ; internal gas counting and high count rates; new members).....	119
BIPM work (international comparisons; improvement of the electronics of the SIR; $\alpha$ -particle measurements; construction of a pressurized proportional counter; new results in the field of counting statistics).....	122
— Section III: Mesures neutroniques (international comparisons of $^{252}\text{Cf}$ neutron-source emission-rate measurements; comparisons of fluence-rate measurements with three transfer methods and with $^{235}\text{U}$ and $^{238}\text{U}$ fission chambers; neutron-dosimetry comparisons organized by NPL and BIPM).....	123
BIPM work (participation in international comparisons; study of transfer instruments for the BIPM long-term neutron-dosimetry comparison).....	125
Discussion of the report of the CCEMRI Chairman to CIPM.....	126
Other business .....	126
<b>Appendix</b>	
R1. Report of the Chairman of CCEMRI to CIPM.....	127
SECTION I (Rayons X et $\gamma$ , électrons), 8th meeting (April 1985).....	149
Agenda.....	150
<b>Report to the Comité International des Poids et Mesures, by S.C. Ellis.....</b>	<b>151</b>
Abstract.....	151
Introduction.....	151

Recent work at BIPM (study of the stability of Exradin ionization chambers ; measurement of $C_{\gamma}$ , calibrations and comparisons of exposure standards, re-evaluation of $W$ ; measurement of absorbed dose in water ; calculation of the value of $g$ ).....	153
Future work at BIPM (maintenance of existing references and continuation of comparisons ; cooperation with IAEA within the SSDL network ; studies related to dose equivalent).....	154
Comparison of exposure and air-kerma standards (comparisons and calibrations made at BIPM, bilateral comparisons ; comparisons for low kerma rates ; small-scale comparisons of Fricke chemical dosimeters).....	155
Physical constants for radiation measurement standards (new values recommended from 1986-01-01) .....	157
Quantities used in radiation protection (dose equivalent ; determination of conversion factors necessary for X-ray beams).....	158
Comparison of uncertainty estimates (results of the enquiry of the working group for exposure standards [free-air and cavity chambers] and for graphite calorimeters) .....	159
Processing-level standards.....	160
Reports from member laboratories .....	161
Report on the IAEA/WHO network of secondary standard dosimetry laboratories.....	161
Publicity.....	162
Summary of the principal conclusions .....	162
Recommendation R(I)-1 (1985) (Maintenance and development of BIPM standards for ionizing radiations).....	163
Recommendation R(I)-2 (1985) (Extension of BIPM responsibilities to the measurement of ambient dose equivalent (X and $\gamma$ rays)) .....	164
Recommendation R(I)-3 (1985) (Traceability to BIPM standards of the comparisons of absorbed dose in water).....	164
 <b>Appendices</b>	
R(I) 1. Working documents submitted by the member laboratories (see p. 53)	165
R(I) 2. Proposed X- and $\gamma$ -ray measurement programme at BIPM .....	166
 <b>SECTION II (Mesure des radionucléides), 8th meeting (June 1985).....</b>	
Agenda.....	170
<b>Report to the Comité International des Poids et Mesures, by J. G. V. Taylor .....</b>	<b>171</b>
Abstract .....	171
Introduction.....	171
Results of recent international comparisons of activity measurements (the condensed version of the report on the $^{137}\text{Cs}$ comparison is published in <i>Nucl. Instrum. Methods</i> ; provisional report on the full-scale comparison of $^{133}\text{Ba}$ ; report on the small-scale comparison of $^{109}\text{Cd}$ ) .....	173

International reference system for activity measurements of gamma-ray-emitting nuclides (improvement of the electronic equipment; regular development of the system) .....	174
Reports of the working groups (experiences with high-efficiency NaI(Tl) systems; principles of the coincidence method; thin-source preparation; non-chemical difficulties in activity calibrations of radionuclides; future intercomparisons) ..	174
BIPM activities (needs of national laboratories and rôle of BIPM in the field of activity measurements; construction of a pressurized proportional counter; counting statistics; IAEA manual on radioactivity; alpha spectrometry [measurements of $^{241}\text{Am}$ , $^{252}\text{Cf}$ and $^{250}\text{Cf}$ ]) .....	175
Future international comparisons ( $^{109}\text{Cd}$ ; $^{125}\text{I}$ ; study of a comparison of high-count-rate sources; internal gas counting); other future actions .....	177
Reports from the laboratories of attendees .....	178
Report to the Chairman of CCEMRI .....	178
Visit to BIPM laboratories .....	179
Miscellaneous (standard source mount diameter; statement of uncertainties; retirement of A. Rytz in 1986 and of H.-M. Weiss in 1985) .....	179
Recommendation R(II)-1 (1985) (Importance of the rôle of the BIPM for improving the uniformity and accuracy of radioactivity measurements) .....	180
 <b>Appendices</b>	
R(II) 1. Working documents submitted by the member laboratories ( <i>see</i> p. R 71) .....	181
R(II) 2. Proposed radionuclide measurement programme at BIPM .....	182
 <b>SECTION III (Mesures neutroniques), 7th meeting (May 1985) .....</b>	
Agenda .....	186
 <b>Report to the Comité International des Poids et Mesures, by E. J. Axton and K.W. Geiger .....</b>	
Abstract .....	187
Introduction .....	187
Report on neutron work in progress at BIPM .....	189
Californium neutron source emission-rate intercomparison ( $10^7\text{ s}^{-1}$ [discussion of draft report] and $10^9\text{ s}^{-1}$ [comparison stopped]) .....	190
Fast-neutron fluence-rate intercomparison ( $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ at 2.5 and 5.0 MeV [analysis is published] and at 14.8 MeV [currently being analysed]; Nb/Zr at 14.8 MeV [analysis is published]; $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}^m$ at 144 keV and 565 keV [currently being analysed]; $^{235}\text{U}$ and $^{238}\text{U}$ fission chambers [in progress]) .....	192
Dosimetry intercomparison (NPL 14.7 MeV comparison [analysis completed]; BIPM comparison by circulating transfer instruments [will start in October 1985]; ENDIP-2 [currently being analysed]) .....	195

Working Group on fluence transfer methods with continued long-term availability (activation methods, transfer instruments) .....	198
Contribution of Section III to the Report of the Chairman of CCEMRI to CIPM .....	200
Future concerns of Section III (proposed neutron-measurement programme at BIPM, publicity) .....	200
Exchange of information on work in progress at participants' laboratories ...	202
Visit to BIPM metrology laboratories .....	202
Other business (none) .....	202
Recommendation R(III)-1 (1985) (Maintenance and improvement at the BIPM of reference and transfer instruments for neutron measurements) .....	203

**Appendices**

R(III) 1. Working documents submitted by the member laboratories ( <i>see</i> p. R 96).....	204
R(III) 2. Proposed neutron measurement programme at BIPM.....	205

---

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal, Imprimeur 1986, N° 5584  
ISBN 92-822-2096-6

ACHEVÉ D'IMPRIMER : DÉCEMBRE 1986

Imprimé en France