

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

SESSION DE 1994



COMITÉ CONSULTATIF
POUR
LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Rapport de la 13^e session
Report of the 13th Meeting

1994

ISSN 0255-3147
ISBN 92-822-2134-2

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

LIST OF ACRONYMS USED IN THE PRESENT VOLUME

1. Sigles des laboratoires, comités et commissions*

Acronyms for laboratories and committees

AAPM	American Association of Physicists in Medicine, New York (É.-U. d'Amérique)
AECL	AECL Research, Chalk River (Canada)
AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai (Australie)
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARCS	<i>voir</i> ÖFS
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australie)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
*BCM/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, IMMR-CCE, Geel (Belgique)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BFMMP/SZMDM	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux/Savezni Zavod za Mere i Dragocene Metale, Belgrade (Yougoslavie)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
*CBNM	<i>voir</i> BCMN
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CEA	Commissariat à l'énergie atomique, Bruyères-le-Châtel (France)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)

* Les laboratoires ou organisations marqués d'un astérisque soit n'existent plus soit figurent sous un autre sigle.

* Organizations marked with an asterisk either no longer exist or operate under a different acronym.

CIPM	Comité international des poids et mesures
CNEA	Comision Nacional de Energia Atomica, Buenos Aires (Rép. argentine)
ENEA/LMRI	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti, Rome (Italie)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EURADOS	European Radiation Dosimetry Group
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
GSF	Institut für Strahlenschutz, Neuherberg (Allemagne)
IAE	Institute of Atomic Energy, Beijing (Rép. pop. de Chine)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRP	International Commission on Radiological Protection (É.-U. d'Amérique)
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEA/OBRI	Instytut Energii Atomowej, Radioisotope Research Centre, Swierk (Pologne)
IFIN	Institutul de Fizica si Inginerie Nucleara, Bucarest (Roumanie)
IIR	(ex UVVVR) Inspectorate for Ionizing Radiation, Prague (Rép. tchèquë)
IMMR/IRMM	(ex BCMN/CBNM) Institut des matériaux et mesures de référence/Institute for Reference Materials and Measurements, Geel (Belgique)
INMRI	(ex LMRI) Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti
IRA-OFM	Institut de Radiophysique Appliquée, Lausanne (Suisse)
*IRD	<i>voir</i> LNMRI
IRK	Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne (Autriche)
ISO/TC 12	Organisation internationale de normalisation, Comité technique 12 (grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion)/International Organization for Standardization, Technical Committee 12 (Quantities, units, symbols, conversion factors)
*ITRI-TNO	Institute of Applied Radiobiology and Immunology, Rijswijk (Pays-Bas), <i>voir</i> TNO-MBL
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
*LMRI	<i>voir</i> ENEA
LNMRI/IRD	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)

*LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NACP	Nordic Association of Clinical Physics
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIRH	National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj (Danemark)
*NIRP	National Institute of Radiation Protection, Stockholm (Suède), <i>voir</i> SRPI
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMi	(ex VSL) Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council, Ottawa (Canada)
ÖFS/ARCS	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, GmbH/Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PNL	Pacific Northwest Laboratory, Richland, Ma (É.-U. d'Amérique)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France)
SRPI	(ex NIRP/SSI) Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
*SZMDM	<i>voir</i> BFMMP
TNO-MBL	TNO Medical Biological Laboratory, Rijswijk (Pays-Bas)
UDZ	Ústav Dozimetrie Zárení, Prague (Rép. tchèque)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendelejev Institute for Metrology, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)

2. Sigles des termes scientifiques Acronyms for scientific terms

EGS4	Electron Gamma Showers Version 4
EPR	Résonance paramagnétique électronique/Electron Paramagnetic Resonance
ITS	Integrated TIGER Series
PPC	Compteur proportionnel à pression/Pressurized proportional counter
SI	Système international d'unités/International System of Units
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma/International Reference System for gamma-ray emitting radionuclides
TDCR	Rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles/Tiple-to-double coincidence ratio
TLD	Dosimètre thermoluminescent/Thermoluminescent dosimeter

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

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), des rayonnements ionisants (1960), aux échelles de temps (1988) et à la quantité de matière (1993). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

* Au 31 décembre 1994, quarante-huit États sont membres de cette Convention: Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép. d'), 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, Nouvelle-Zélande, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Russie (Féd. de), Singapour, Slovaque (Rép.), Suède, Suisse, Tchèque (Rép.), Thaïlande, Turquie, Uruguay, Venezuela.

Une quarantaine de physiciens ou de 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.

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*, 1963, 31, 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 neuf :

1. Le Comité consultatif d'électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.
9. Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé en 1993.

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 multicolpiés).

Le Bureau international publie aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers 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. KOVALEVSKY

Président

D. KIND

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Président : J. VANIER, membre du Comité international des poids et mesures ; directeur général, Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.

Membres :

Le président de la Section I.

Le président de la Section II.

Le président de la Section III.

A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements.

G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

A. DUTREIX, Hôpital universitaire St-Rafael, Louvain.

A.M. KELLERER, Institut für Strahlenbiologie, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Neuherberg.

G.F. KNOLL, University of Michigan, Ann Arbor.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

SECTION I. *Rayons x et γ , électrons*

Président : J.-P. SIMOËN, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay.

Membres :

AUSTRALIAN RADIATION LABORATORY [ARL], Yallambie.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA [NRC], Ottawa.

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS [ICRU].

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NEDERLANDS MEETINSTITUUT [NMi/VSL], Bilthoven.

ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

POLSKI KOMITET NORMALIZACJI, MIAR I JAKOŚCI [PKNM], Varsovie.

SWEDISH RADIATION PROTECTION INSTITUTE [SRPI], Stockholm.

A. BROSED, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

SECTION II. *Mesure des radionucléides*

Président : K. DEBERTIN, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*.

Membres :

AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION
[ANSTO], Menai.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire primaire des
rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA [NRC], Ottawa.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

NATIONAL ACCELERATOR CENTRE [NAC], Faure.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST],
Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

J.-J. GOSTELY, Institut de radiophysique appliquée [IRA-OFM], Lausanne.

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

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

SECTION III. *Mesures neutroniques*

Président : V.E. LEWIS, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres :

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire primaire des
rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

* K. Debertin a remplacé D. Smith, National Physical Laboratory, Teddington, comme président de la Section II en 1994.

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST],
Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

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

J.J. BROERSE, Institute of Applied Radiobiology and Immunology
[ITRI-TNO], Rijswijk.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS
(13^e session — 1994)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par V.E. LEWIS, rapporteur

Résumé. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa treizième session en avril 1994. On lui a présenté les rapports des trois Sections : I (Rayons x et γ , électrons), II (Mesure des radionucléides) et III (Mesures neutroniques). La Section I a rendu compte des comparaisons d'étalons de kerma dans l'air et d'étalons de dose absorbée dans l'eau ; elle a discuté des recherches en cours sur les étalons utilisés en radioprotection, en curiethérapie et pour les irradiations à usage industriel. La Section II a présenté les résultats des comparaisons de radionucléides et l'extension du Système international de référence aux émetteurs de rayonnement bêta pur. Les activités des groupes de travail ont été également décrites. La Section III a exposé l'état d'avancement des comparaisons de mesures de neutrons thermiques et de fluence spectrale. Les membres du personnel du BIPM ont présenté certains de leurs travaux récents. Il a été discuté des travaux futurs et de la composition du comité. Les dates des prochaines réunions des sections ont été fixées.

Ouverture de la réunion

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)* a tenu sa treizième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, le 12 et le 13 avril 1994.

Étaient présents:

- A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU].
- G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

* Pour la liste des sigles, voir page V.

J.-P. SIMOËN, président de la Section I ; Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

K. DEBERTIN, président de la Section II ; Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

V.E. LEWIS, président de la Section III ; National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Assistaient aussi à la réunion : P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM, M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, J. MONPROFIT, J.W. MÜLLER et G. RATEL [BIPM] ; A.-M. PERROCHE (en stage au BIPM).

En l'absence de M. Vanier, président du CCEMRI, due à des raisons de santé, M. Quinn préside la réunion.

Excusés : A. Dutreix, A.M. Kellerer et G.F. Knoll.

Le président, T.J. Quinn, ouvre la session en accueillant les membres du comité et le personnel du BIPM.

Le projet d'ordre du jour est approuvé. M. Lewis est nommé rapporteur.

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

Chaque président résume les activités de sa section et le personnel du BIPM présente quelques-uns des travaux effectués dans le laboratoire des rayonnements ionisants.

Section I — Rayons x et γ , électrons (Président : J.-P. Simoën)

M. Simoën présente le rapport des activités de la Section I (Rayons x et γ , électrons) qui a tenu sa onzième réunion en avril 1993. Cette réunion a commencé par une demi-journée de réunion conjointe avec la Section III, au cours de laquelle M. Allisy a fait un exposé sur les grandeurs opérationnelles à utiliser en dosimétrie pour la radioprotection. Cet exposé comportait une revue complète des grandeurs utilisées pour contrôler et estimer les risques radiologiques, et une discussion des problèmes posés par leur mesure. M. Allisy signale qu'un effort important a été fait au cours des dernières années pour élaborer des méthodes adéquates d'étalonnage en fonction de ces grandeurs. Des problèmes subsistent cependant, en particulier en métrologie neutronique.

Pendant la réunion de la Section I, le BIPM a rendu compte des travaux concernant la comparaison des étalons. Il y a eu quatre

comparaisons d'étalons de kerma dans l'air, dont une dans le domaine des rayons x d'énergie moyenne et trois dans le rayonnement γ du ^{60}Co . Des étalons secondaires en provenance de cinq pays et de l'AIEA ont été étalonnés en fonction du kerma dans l'air aux rayons x d'énergies faible et moyenne et au rayonnement γ du ^{60}Co . Des chambres de transfert et des dosimètres thermoluminescents ont été étalonnés en fonction de la dose absorbée dans l'eau, au rayonnement γ du ^{60}Co .

Des comparaisons entre laboratoires nationaux d'étalons de kerma dans l'air, de dose absorbée dans le graphite et de dose absorbée dans l'eau, au rayonnement γ du ^{60}Co , ont aussi fait l'objet de rapports. Une comparaison d'étalons primaires de dose absorbée dans l'eau intéressant cinq laboratoires, utilisant quatre techniques différentes, a donné un bon accord pour le ^{60}Co , mais les écarts sont beaucoup plus grands pour les photons de haute énergie. Le rapport d'une comparaison dans le domaine des rayons x, faite dans le cadre d'un groupement de laboratoires Asie-Pacifique, a été présenté.

La détermination des facteurs de correction nécessaires à la mesure du kerma dans l'air au moyen de chambres d'ionisation a fait l'objet d'une discussion et on considère qu'il est nécessaire de poursuivre les recherches. Il a été demandé au groupe de travail concerné de rendre compte des incertitudes associées à certaines des grandeurs auxquelles il faut faire appel pour mesurer la dose absorbée dans le graphite, l'exposition et le kerma dans l'air.

Les valeurs de C_{λ}^k , qui permettent de passer du kerma dans l'air à la dose absorbée dans l'eau et qui ont été déterminées de façon expérimentale au BIPM, ont donné un accord satisfaisant (à 1 % près) avec les valeurs calculées selon la méthode de l'AIEA. Des comparaisons analogues ont été faites ailleurs, et la conclusion générale est que la méthode de l'AIEA donne des résultats en bon accord avec ceux qui sont obtenus à partir des étalons de dose absorbée dans l'eau.

Le sujet important des étalons primaires de dose absorbée dans l'eau a été discuté. Le NIST a rendu compte des études faites sur le défaut de chaleur à l'aide du calorimètre à eau scellé qui est utilisé pour la mesure directe de la dose absorbée.

La spécification de la qualité du faisceau constitue un problème pour la mesure du rayonnement des photons de haute énergie à cause de l'effet significatif de la filtration sur la réponse d'une chambre d'ionisation. Le NPL a rendu compte de mesures et le NRC a signalé une publication sur le sujet. L'utilisation et la comparaison des programmes fondés sur la méthode de Monte Carlo, programmes qui sont employés pour calculer la réponse des instruments et les facteurs de correction, ont fait l'objet d'une discussion.

L'utilisation de sources de ^{137}Cs comme étalons en radioprotection est très répandue dans les laboratoires nationaux de métrologie et au sein du réseau des laboratoires secondaires (SSDL) de l'AIEA. Un groupe de travail a été constitué pour décider des conditions optimales d'installation

d'une source de ^{137}Cs au BIPM et pour organiser une comparaison restreinte. Les expériences faites avec cette source pourraient être terminées d'ici un an ou deux.

Le NIST a rendu compte des travaux effectués sur les étalons utilisés en curiethérapie. Le travail sur ce sujet doit commencer en 1995 à la PTB et au LPRI ; l'EUROMET s'y intéresse aussi. Au BIPM, les mesures du kerma dans l'air pour des sources utilisées en curiethérapie seront faites avec la source de ^{137}Cs . Les programmes de travail de l'AIEA et du NIST sur les étalons utilisés en irradiation industrielle ont aussi été présentés.

Après l'exposé de M. Simoën, Mme Perroche rend compte de la participation du BIPM aux comparaisons et des améliorations apportées aux installations de sources de ^{60}Co et de ^{137}Cs . Mme Boutillon donne les résultats de la détermination expérimentale des facteurs C_λ pour différents types de chambres de transfert.

Au cours de la discussion qui suit ces présentations, M. Allisy fait part de sa satisfaction en ce qui concerne les travaux effectués au BIPM. Il mentionne que tout le monde est d'accord pour dire que la dose absorbée dans l'eau pour le ^{60}Co remplacera peu à peu le kerma dans l'air et que les étalons pour les rayons x de haute énergie deviendront plus importants. Il suggère que le BIPM devrait s'intéresser à ceux-ci et mettre au point un système simple et fiable, susceptible d'être utilisé pour des comparaisons entre laboratoires. L'ensemble du comité recommande que cette question soit étudiée lors de la prochaine réunion de la Section I.

M. Dietze attire l'attention sur le fait que, aux basses énergies, le facteur de conversion pour passer du kerma dans l'air aux grandeurs opérationnelles dépend fortement de l'énergie. Il ajoute qu'en conséquence il n'est pas simple de comparer les facteurs d'étalonnage obtenus dans les différents laboratoires à cause du rayonnement diffusé, présent dans les champs de photons. Il est important de normaliser les conditions d'irradiation.

Section II — Mesure des radionucléides (Président : K. Debertin)

M. Debertin passe en revue les travaux de la Section II (Mesure des radionucléides), qui a tenu sa douzième réunion au mois de juin 1993. Cette section fournit à la communauté internationale un point de convergence pour la comparaison de mesures de tout un éventail de radionucléides présentant des schémas de désintégration variés.

Les résultats des comparaisons de ^{109}Cd et de ^{125}I sont en cours de publication, et un rapport sur la récente comparaison de ^{75}Se est en préparation. Cette dernière comparaison, qui a rassemblé 21 laboratoires participants et a utilisé plusieurs techniques de mesure, a donné des résultats compris dans les limites assez larges de $\pm 3\%$. La dispersion

ORDRE DU JOUR
de la 13^e session

1. Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM.
 2. Travaux futurs.
 3. Rapport à la Conférence générale des poids et mesures.
 4. Prochaines réunions des sections du CCEMRI et composition du CCEMRI.
 5. Questions diverses.
-

est attribuée à l'existence d'un niveau métastable du schéma de désintégration du ^{75}As . La présence de cet état constitue la source principale des difficultés que l'on rencontre dans ces mesures. Certaines des incertitudes annoncées sont très inférieures à la dispersion des résultats. Une comparaison préliminaire de ^{204}Tl , émetteur de rayonnement bêta, est en cours de préparation. Elle devra faire appel à la méthode du traceur.

Le Système international de référence (SIR), qui est actuellement fondé sur un système de chambres d'ionisation, est considéré comme très important pour la traçabilité des étalons au niveau international. En tout, depuis 1976, quelque 450 résultats ont été obtenus avec environ 50 radionucléides en provenance de 25 laboratoires. Actuellement, une quinzaine d'ampoules sont mesurées par an. Le SIR vient d'être étendu aux gaz ^{133}Xe et ^{85}Kr .

L'extension du SIR aux émetteurs bêta constitue une activité majeure de la Section II, et un groupe de travail est chargé de superviser son évolution. Pour accomplir cette tâche, les systèmes à scintillation liquide sont considérés comme adéquats. Pour cette raison, un tel système a été installé au BIPM. Les résultats d'une comparaison restreinte de ^3H , ^{14}C et ^{99}Tc , organisée par le NIST, ont été publiés. La prochaine comparaison internationale de ^{204}Tl , émetteur bêta, permettra aussi d'étudier des problèmes liés au SIR étendu.

Le Groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences constitue un forum pour l'échange d'informations. Le Groupe de travail sur les mesures de taux de comptage élevé a été dissous en 1993 car le problème n'est plus d'actualité. Un autre groupe de travail est chargé de la planification des comparaisons futures.

Les besoins des utilisateurs de radionucléides ont été recensés au moyen d'un questionnaire dans le but d'encourager les commandes groupées et de coordonner les efforts des laboratoires dans leurs négociations avec les fournisseurs. On pense avoir, ultérieurement dans le courant de 1994, de plus amples informations concernant la fourniture de ^{94}Nb , qui est utilisé pour des contrôles de stabilité de chambres d'ionisation. En faisant le tour des nouvelles techniques de préparation des sources, rien de notablement nouveau n'a été signalé.

Le projet de monographie du BIPM *Activity Measurements with Re-entrant Ionization Chambers* a été achevé par M. Schrader (PTB) en novembre 1993. M. Winkler (IRK) est en train de préparer un état de la situation concernant les *High-Efficiency Detectors for Activity Measurements*. M. Müller (BIPM) prépare une nouvelle édition de sa *Dead-time Bibliography*.

En présentant les travaux effectués au BIPM, M. Ratel décrit les résultats des comparaisons antérieures de ^{133}Ba , de ^{109}Cd et de ^{125}I , puis il discute ceux de la récente comparaison de ^{75}Se . M. Müller décrit les problèmes posés par l'attribution de poids à des séries de résultats qui peuvent éventuellement être corrélés.

Au cours des discussions qui suivent ces présentations, M. Debertin suggère que les comparaisons soient effectuées tous les cinq ans pour tous les radionucléides entrant dans le SIR, et il souhaite qu'il soit possible pour le BIPM de traiter le nombre croissant d'ampoules impliquées. C'est un problème d'assurance de qualité qui devra être discuté lors de la prochaine réunion de la Section II. Les résultats des comparaisons ont été publiés dans *Nuclear Instruments and Methods* pour que les activités de la section aient une plus large audience. M. Quinn suggère qu'on utilise aussi *Metrologia* dans la mesure du possible.

M. Debertin attire l'attention sur le rôle de l'EUROMET qui encourage la collaboration des laboratoires européens dans le domaine des rayonnements ionisants. M. Quinn dit que le BIPM participe aux comparaisons organisées par EUROMET pour les grandeurs qui l'intéressent et qu'il aimerait voir cette pratique s'étendre aux rayonnements ionisants. Il considère qu'il est important que les autres groupes de laboratoires nationaux de métrologie en Amérique du Nord, en Europe de l'Est et dans la zone Asie-Pacifique, groupes qui effectuent leurs propres comparaisons, soient en liaison avec le BIPM, soit directement soit par l'intermédiaire des membres des comités consultatifs. M. Allisy fait remarquer que l'AIEA participe à des comparaisons par l'intermédiaire du réseau des SSDL et entretient un lien avec le BIPM.

Section III — Mesures neutroniques (Président : V.E. Lewis)

M. Lewis rend compte des activités de la Section III (Mesures neutroniques), qui a tenu sa dixième réunion en avril 1993. Cette réunion a commencé par une session conjointe avec la Section I (*voir* p. R 64).

La comparaison des mesures de fluence de neutrons à 2,5 MeV et à 14,7 MeV, en utilisant des sphères de Bonner comme instruments de transfert, a été analysée par M. Axton. Le fait de mesurer les effets de l'interaction des neutrons avec la cible qui produit les neutrons a conduit à un assez bon accord des résultats. On a toutefois l'intention d'étendre l'étude en calculant ces effets et en les comparant avec les mesures. Entre-temps, le BIPM a contrôlé et vérifié la stabilité des instruments à 2,5 MeV et à 14,7 MeV.

On utilise une série de sphères de Bonner pour comparer les mesures de fluence de neutrons à 24,5 keV. Ce travail, actuellement encore en cours, concerne six laboratoires et fait appel à trois méthodes différentes pour produire les neutrons à des énergies voisines de 25 keV. Le BIPM a organisé la comparaison et vérifié la stabilité des détecteurs après chaque série de mesures en utilisant un dispositif de contrôle construit spécialement à cet effet. Il était prévu que M. Huynh collecterait et analyserait les résultats des participants, mais il s'avère nécessaire de prendre d'autres dispositions pour achever l'analyse et la rédaction

provisoire du rapport puisque, selon toute probabilité, M. Huynh prendra sa retraite avant la fin de la comparaison. On pourrait demander à quelqu'un de l'un des laboratoires participants de faire ce travail à la condition que la personne choisie n'ait effectivement pris part à aucune des mesures.

Il a été décidé d'abandonner l'analyse de la comparaison des mesures de fluence à 14,8 MeV faites en utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ comme technique de transfert. Cette décision est due au fait que peu de participants avaient conscience du grand nombre de données nécessaires à l'évaluation des corrections relatives à l'interaction avec la cible. Depuis la comparaison, plusieurs participants ont pris leur retraite. (Une comparaison du même genre a fait apparaître un bon accord entre les participants.)

Le NIST a proposé de faire une seconde comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques. La première date d'il y a quelque vingt-cinq ans et on a le sentiment qu'il serait nécessaire d'en refaire une pour étudier les problèmes d'assurance de qualité. Le NIST fabrique l'instrument de transfert et le protocole est en préparation. Aussi bien la Section III que l'AIEA ont reconnu la nécessité d'une nouvelle évaluation des résultats de mesure des sections efficaces pour les neutrons thermiques.

Parmi les laboratoires de métrologie, seuls la PTB et le NPL ont montré de l'intérêt pour la proposition d'une comparaison internationale de spectrométrie neutronique au moyen de sources transportables de type radioactif. Deux laboratoires américains se sont aussi montrés intéressés. Comme la PTB et le NPL participent au Groupe de travail 7 d'EURADOS, qui s'intéresse activement aux mesures spectrales, il vaudrait peut-être mieux inviter des groupes extérieurs à EURADOS à participer aux travaux futurs du Groupe de travail 7.

Il a été discuté de la décision prise par le CIPM de mettre fin aux travaux sur les neutrons au BIPM après le départ en retraite de M. Huynh et des conséquences sur les activités de la Section III de la cessation des travaux dans ce domaine au BIPM. On a aussi discuté de ce qu'on ferait à l'avenir de l'équipement du BIPM. L'accélérateur SAMES et le bain de manganèse continueront à fonctionner jusqu'en 1995. L'installation pour la dosimétrie des champs mixtes sera conservée et entretenue au BIPM ; elle restera à la disposition de ceux qui voudraient l'utiliser pour étalonner leurs champs. Les autres détecteurs qui ont été utilisés et étalonnés à l'occasion de comparaisons de mesures neutroniques seront renvoyés dans les laboratoires qui les ont construits à l'origine.

Au cours de la discussion qui a suivi le rapport de la Section III, M. Quinn a exprimé sa crainte qu'il y ait une éventuelle duplication des activités entre le CCEMRI et EURADOS. M. Lewis estime que la Section III ne sera pas impliquée dans la comparaison proposée de mesures de fluence spectrale. M. Dietze, président d'EURADOS,

explique que l'objectif de cette organisation est d'accroître la collaboration et il décrit ses activités, en particulier celles d'une dizaine de groupes de travail chargés de différents aspects de la dosimétrie des rayonnements.

M. Huynh fait une description des études sur la stabilité à long terme des sources neutroniques de type radioactif de référence du BIPM. On a constaté un faible accroissement du taux d'émission de la source de Ra-Be au cours des trente dernières années, à cause de l'accumulation de ^{210}Po , en quantité qui est en bon accord avec les calculs. Il est prévu que ces sources seront confiées au NIST lorsque les recherches sur les neutrons cesseront au BIPM.

Au nom du CCEMRI, M. Quinn remercie M. Huynh pour son excellent travail et les recherches approfondies qu'il a menées au cours des vingt-cinq années écoulées.

2. Travaux futurs

En ce qui concerne le programme des travaux futurs, l'essentiel a déjà été traité par les présidents de section dans leur rapport. M. Simoën mentionne que les laboratoires nationaux souhaitent que le BIPM soit davantage impliqué dans la dosimétrie des photons de haute énergie et des rayonnements bêta. Il rappelle la proposition de M. Allisy que le BIPM dispose d'une installation de mesure dosimétrique permettant de faire des comparaisons entre laboratoires. Bien que le BIPM n'ait pas la possibilité d'installer un accélérateur pour effectuer des mesures de ce type, le directeur est favorable à une collaboration étroite avec les laboratoires qui disposent de telles installations ; cela concerne, en particulier, l'accélérateur linéaire en cours d'installation au LPRI. L'élargissement envisagé du groupe du BIPM pour les rayons x et γ devrait permettre cette collaboration.

M. Debertain dit que les travaux de la Section II vont être centrés sur les comparaisons de mesures de radionucléides et l'extension du SIR ; le rôle de celui-ci dans les problèmes d'assurance de qualité va s'intensifier. M. Quinn se porte garant, dans toute la mesure du possible, du maintien des effectifs du BIPM, avec le plein appui du CIPM. M. Lewis indique que l'activité de la Section III se poursuivra dans le domaine des comparaisons de mesures neutroniques, toutefois sans la participation du BIPM. De cette façon, les postes de M. Huynh et de M. Lafaye pourront être attribués au groupe des rayons x et γ du BIPM.

M. Quinn précise que la traçabilité n'est pas une fin en soi mais qu'elle doit être fondée sur la métrologie de précision. Les travaux effectués au BIPM doivent être du même niveau que ceux qui sont faits dans les laboratoires nationaux. Le BIPM continuera donc de solliciter l'avis de personnalités comme les membres du CCEMRI.

3. Rapport à la Conférence générale des poids et mesures

Les présidents des trois sections sont priés de préparer des résumés de l'activité de leur section depuis la précédente réunion de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM). La prochaine réunion de la CGPM doit avoir lieu au mois d'octobre 1995 et ces résumés doivent être disponibles en temps utile pour préparer celle-ci.

4. Prochaines réunions des sections du CCEMRI et composition du CCEMRI

Il est convenu que les Sections I et III se réuniront au cours de la même semaine en avril 1995 mais sans chevauchement. La Section I se réunira les 24, 25 et 26 avril et la Section III les 27 et 28 avril 1995. La Section II tiendra sa prochaine réunion les 9, 10 et 11 mai 1995, c'est-à-dire durant la semaine qui précède la réunion de l'ICRM.

Il est prévu que le CCEMRI se réunisse en 1996, à une date qui sera fixée ultérieurement.

M. Quinn sollicite des avis pour nommer au CCEMRI de nouveaux membres, venant de préférence d'autres organisations que les laboratoires nationaux, lesquels sont déjà bien représentés. Les problèmes posés par les rayonnements ionisants sont complexes et s'étendent au-delà des milieux concernés par la métrologie. Il est important d'encourager la participation de personnes venant d'autres régions que celles qui sont représentées à la présente session, c'est-à-dire extérieures à l'Europe en particulier ; cependant, leur participation posera un problème financier, surtout pour ceux qui n'appartiennent pas à des laboratoires de métrologie, mais par exemple à des universités ou à des institutions médicales. Il est important que les membres du CCEMRI aient une bonne connaissance de la métrologie des rayonnements ionisants.

5. Questions diverses

M. Quinn attire l'attention sur le document de l'ISO/TC 12 concernant les unités maintenues temporairement avec le SI. Dans ce document il est proposé que les unités barn, curie, röntgen, rad et rem, entre autres, soient transférées du Tableau 10 (*Unités maintenues temporairement avec le Système International*) au Tableau 12 (*Autres unités généralement déconseillées*) de la publication du BIPM sur le SI. Le BIPM a déjà reçu des réponses du NIST et du NPL ; celui-ci a suggéré de modifier dans la version anglaise le titre du Tableau 12 et de l'appeler « Units to be preferably avoided » au lieu de « Other units generally deprecated ». Bien que l'ICRU n'ait pas encore communiqué ses commentaires, M. Allisy a exprimé que personnellement il était

d'accord avec la modification du titre du Tableau 12, dont la traduction du français à l'anglais est trop rigide. M. Quinn est d'accord avec la modification proposée.

M. Quinn attire l'attention du Comité sur la Recommandation 1 (CI-1992) du CIPM qui demande aux laboratoires nationaux de s'assurer que le BIPM soit informé de l'état d'avancement et des résultats des comparaisons, mais non des étalonnages. Les comparaisons sont importantes pour la traçabilité et, de plus en plus, pour les problèmes d'assurance de qualité. Il est nécessaire qu'il existe une reconnaissance officielle des comparaisons effectuées par des laboratoires nationaux de métrologie au sein de groupes régionaux. Leurs résultats devraient être publiés, de préférence dans *Metrologia*.

M. Simoën pose la question de la reconnaissance de la traçabilité des étalons dans un pays par le laboratoire de métrologie d'un autre pays. M. Quinn répond qu'il s'agit d'un problème important qui concerne tout le monde et qui fera l'objet d'une discussion lors de la prochaine réunion du CIPM. Bien que des comparaisons entre laboratoires puissent être effectuées sous les auspices du CIPM, il appartient aux autres d'en utiliser les résultats ; c'est essentiellement une question commerciale.

Avant de clore la réunion, le président remercie les membres du CCEMRI et le personnel du BIPM pour leurs contributions. Le comité exprime sa gratitude au BIPM pour son hospitalité.

Avril 1994

Section I — Rayons X et γ , électrons

11^e réunion (avril 1993)

ORDRE DU JOUR
de la 11^e réunion

1. Travaux liés aux comparaisons d'étalons.
 2. Facteurs de correction et incertitudes appliqués aux chambres à cavité en graphite utilisées comme étalons de kerma dans l'air pour le rayonnement gamma du ⁶⁰Co.
 3. Étalonnage des chambres à électrodes planes parallèles utilisées en dosimétrie des électrons.
 4. Détermination expérimentale du facteur C_{λ}^k , au BIPM.
 5. Travaux et comparaisons dans le domaine des rayons x de haute énergie.
 6. Spécification de la qualité des faisceaux.
 7. Utilisation et comparaison des programmes de calcul par la méthode de Monte Carlo.
 8. Travaux futurs au BIPM.
 9. Étalons dans le domaine de la curiethérapie.
 10. Étalons utilisés en radioprotection.
 11. Mesures du potentiel des tubes à rayons x ne nécessitant aucune intervention sur l'instrument.
 12. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel.
 13. Rapports d'activité des laboratoires.
 14. Rapport de l'AIEA.
 15. Publicité.
 16. Questions diverses.
 17. Prochaine réunion.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION I. — Rayons x et γ , électrons

11^e réunion (avril 1993)

RAPPORT

par N.J. HARGRAVE, rapporteur

Résumé. La Section I (Rayons x et γ , électrons) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa onzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, au mois d'avril 1993. Elle a examiné les travaux récents du BIPM et elle a constaté que le travail en cours et le travail prévu pour l'avenir immédiat sont dans la ligne des recommandations faites lors des précédentes réunions. Aucune nouvelle directive n'a été donnée pour le moment. Les résultats de plusieurs comparaisons internationales et des étalonnages effectués au BIPM ont été présentés, de même que les résultats de comparaisons effectuées entre des laboratoires membres et d'autres laboratoires de métrologie. Il a été rendu compte des progrès des recherches sur l'utilisation d'un calorimètre à eau comme méthode pour mesurer la dose absorbée dans l'eau aux rayons x d'énergie élevée. Les étalons utilisés en radioprotection, pour des irradiations par le rayonnement bêta, et en curiethérapie ont fait l'objet de discussions.

Ouverture de la réunion

La Section I (Rayons x et γ , électrons)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa onzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 21, 22 et 23 avril 1993.

Étaient présents :

J.-P. SIMOËN, président de la Section I, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay.

* Pour la liste des membres, voir page XII.

** Pour la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport, voir page V.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Australian Radiation Laboratory [ARL], Yallambie (N.J. HARGRAVE).

Bureau national de métrologie, Paris : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay (J.-P. SIMOËN).

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa (D.W.O. ROGERS).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (K. KUDO).

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

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (B.M. COURSEY).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (B. OWEN).

Nederlands Meetinstituut [NMI/VSL], Bilthoven (A.H.L. AALBERS).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (A. JAKAB).

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

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

Swedish Radiation Protection Institute [SRPI], Stockholm (J.E. GRINDBORG).

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Membre nominativement désigné :

A. BROSED, Centro de Investigaciones Energéticas, Medio-ambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

Observateurs :

Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA], Vienne (H. SVENSSON).

Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente [ENEA], Rome (R.F. LAITANO).

Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes [LNMRI], Instituto de Radioproteção e Dosimetria [IRD], Rio de Janeiro (L. CONTIER DE FREITAS).

Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf GmbH [ÖFS], Seibersdorf (K.E. DUFTSCHMID).

Assistaient à tout ou partie de la réunion : P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM ; A. ALLISY, membre du CCEMRI ; M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, J.W. MÜLLER et G. RATEL (BIPM) ; A.-M. PERROCHE (en stage au BIPM).

Excusés :

Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.
Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

La réunion commence par une session conjointe avec la Section III, qui siège depuis le 19 avril 1993. Le directeur du BIPM accueille les membres et les observateurs des Sections I et III ; il rappelle brièvement les liens entre la Convention du Mètre, le CIPM et ses différents organes consultatifs, le BIPM et les divers laboratoires nationaux d'étalonnage. Il souligne que l'objectif de la réunion est de constituer un lieu où l'on peut examiner les travaux du BIPM et conseiller le CIPM sur les travaux à effectuer au BIPM.

Le président de la Section I préside ensuite une session commune à la Section I et à la Section III, au cours de laquelle le président de l'ICRU fait une conférence (93-34)*** sur les grandeurs opérationnelles recommandées par l'ICRU. En rappelant quelles sont ces grandeurs et les relations qu'il y a entre elles, il signale un certain nombre de problèmes, en particulier les difficultés que l'on rencontre pour mesurer des grandeurs telles que les facteurs de pondération.

Trois membres de la Section III, le président V.E. Lewis (NPL), K. Kudo (ETL) et H. Klein (PTB), informent les membres de la Section I de certaines recherches actuellement en cours dans leur laboratoire.

Les membres de la Section III se retirent afin de continuer leur réunion de leur côté dans une autre salle.

Le président de la Section I, J.-P. Simoën, accueille L. Contier de Freitas (LNMRI), J.E. Grindborg (SRPI), K. Kudo (ETL) et R.F. Laitano (ENEA) qui assistent pour la première fois à une réunion de la section ; il propose de discuter et, s'il y a lieu, de modifier le projet d'ordre du jour qui a été communiqué antérieurement. L'ordre du jour est adopté après y avoir ajouté quelques points relatifs aux incertitudes, à l'étalonnage des chambres à électrodes planes parallèles, à la spécification de la qualité des faisceaux et aux travaux futurs du BIPM. N.J. Hargrave est nommé rapporteur.

1. Travaux liés aux comparaisons d'étalons

Le BIPM a rendu compte (93-5) des travaux en cours liés aux comparaisons d'étalons de mesure d'exposition (kerma dans l'air) et de dose absorbée dans l'eau (rayons x et rayonnement gamma du ^{60}Co). Sept étalonnages et trois comparaisons ont été effectués depuis la réunion de 1991. L'étalonnage de dosimètres thermoluminescents (TLD) pour l'AIEA et un étalonnage en fonction de l'équivalent de dose ambiant sont signalés. La source de cobalt qui était utilisée au BIPM depuis

*** 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 93-1, 93-2, etc.

1969 pour la mesure du kerma dans l'air est maintenant trop faible pour effectuer des étalonnages fiables. Les mesures sont faites dans le faisceau de ^{60}Co utilisé pour les mesures de dose absorbée. La fluence énergétique des photons diffusés dans le faisceau est de 14 %, alors qu'elle était initialement de 8 %. Cela a entraîné de petites modifications de quelques facteurs de correction utilisés avec l'étalon de kerma dans l'air et du pouvoir de ralentissement du graphite par rapport à l'air. La modification globale de la valeur de l'étalon est seulement de 0,03 %. La période du ^{60}Co a été déterminée à partir de mesures faites à l'aide de l'étalon de kerma dans l'air avec l'ancienne source ; on l'a trouvée égale à 1 924,6 jours, en bon accord avec la valeur admise.

Une comparaison indirecte avec le NMi concernait le domaine des énergies moyennes. Pour cette comparaison on a utilisé une chambre NE 2561 (93-24). Les résultats montrent la même dépendance en fonction de l'énergie que précédemment pour le rapport des valeurs du kerma dans l'air, mais il subsiste une différence constante de 0,5 % qui reste inexplicée.

Plusieurs comparaisons ont été faites dans le faisceau du rayonnement gamma du ^{60}Co . Y ont pris part le NMi, le SZMDM, l'UDZ et le BIPM. Le résultat du NMi est en accord à 0,2 % près avec celui du BIPM et à 0,1 % près avec la valeur obtenue en 1972. Les comparaisons entre le BIPM et le SZMDM et l'UDZ étaient toutes les deux des comparaisons directes faites à l'aide de chambres conçues par l'ARCS et construites par l'OMH. Elles ont donné des valeurs qui sont respectivement inférieures de 0,18 % et de 0,08 % à celle du BIPM.

En ce qui concerne les travaux sur la dose absorbée dans l'eau, une dérive de près de 0,1 % a été observée entre 1989 et 1992. En septembre 1992, l'enveloppe en Perspex dans laquelle la chambre était précédemment insérée a été remplacée par une enveloppe en polythène, pour le cas où la dérive serait due à l'absorption d'eau par le Perspex.

Les résultats de la comparaison NPL-BIPM, qui s'est déroulée en 1987-1988, ont fait l'objet d'une révision (93-2). Une réévaluation des corrections appliquées au calorimètre en graphite du NPL ainsi que des modifications apportées à la méthode suivie pour étalonner les chambres de transfert ont entraîné un changement global de 0,26 %, alors que les modifications apportées en 1990 à l'étalon de dose absorbée dans le graphite du BIPM a introduit un changement de 0,08 %. Tous ces changements aboutissent pour les étalons de dose absorbée dans le graphite à un rapport révisé NPL/BIPM maintenant égal à 1,004 1, qui se situe donc dans les limites de l'incertitude donnée. La révision des données et des méthodes de calcul a de la même façon entraîné un changement dans le rapport entre les étalons de dose absorbée dans l'eau des deux laboratoires, de telle sorte que le rapport NPL/BIPM est maintenant égal à 0,999 0.

Diverses comparaisons entre laboratoires nationaux (93-23, 29, 32 et 33) ont donné lieu à des rapports ou à des commentaires. Une comparaison a eu lieu entre le NMi et le NPL dans le rayonnement

gamma du ^{60}Co au moyen de chambres d'ionisation placées dans des fantômes de graphite. Les mesures faites dans les mêmes fantômes que ceux qui sont utilisés pour étalonner les chambres de transfert donnaient pour la dose absorbée dans le graphite un rapport NMI/NPL de 0,999 5, alors que, lorsqu'on utilisait des fantômes différents, ce rapport était de 1,007 1 (NMI/NPL) à une profondeur de $5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$. Ce résultat est inattendu et n'a pas encore trouvé d'explication. Cela souligne la nécessité d'effectuer les comparaisons en se servant des fantômes dans lesquels les instruments ont été étalonnés.

Les résultats d'une comparaison récente entre le NIST et le NRC à l'énergie du ^{60}Co (93-29) ont donné un rapport de 0,993 6 pour le kerma dans l'air et de 1,010 5 pour la dose absorbée dans l'eau. Il est précisé que le NIST et le NRC déterminent les facteurs de correction pour leurs chambres de manière différente. Le NIST envisage de faire des expériences complémentaires pour voir s'il doit modifier sa façon de déterminer ces facteurs. Si l'on appliquait aux données du NIST des corrections déterminées de la même façon que cela est fait au NRC, la différence entre les deux laboratoires tomberait à 0,3 %.

Le document 93-33 décrit sommairement les différents types d'étalons primaires de dose absorbée dans l'eau utilisés au BIPM, au NIST, au NRC, au NPL et à la PTB, et commente l'accord entre ces laboratoires, dans le domaine des rayons x de haute énergie, en se référant au BIPM.

Le rapport d'une comparaison d'étalons de dosimétrie des rayons x pilotée par le KRISS dans la zone Asie-Pacifique a été distribué aux participants (*Report APMP TR-1-92*). Certains commentaires à propos de cette comparaison (93-32) attirent l'attention sur la possibilité de raccorder ces résultats au BIPM au moyen de la comparaison effectuée en 1989 entre le BIPM et l'ARL. On constate que ces résultats se situent dans un intervalle de $\pm 0,5 \%$ par rapport à ceux du BIPM. Des laboratoires du Japon, de République populaire de Chine, de Malaisie, de l'Inde, de République de Corée et d'Australie ont participé à cette comparaison.

2. Facteurs de correction et incertitudes appliqués aux chambres à cavité en graphite utilisées comme étalons de kerma dans l'air pour le rayonnement gamma du ^{60}Co

Le NRC soulève la question du choix de la méthode à utiliser pour déterminer les différents facteurs de correction liés au matériau de la paroi des chambres à cavité en graphite. Les indications qu'il présente sont fondées sur des calculs de Monte Carlo. Elles laissent à penser que les méthodes d'extrapolation utilisées actuellement par la plupart des laboratoires primaires d'étalonnage afin d'obtenir les corrections pour la diffusion et l'atténuation dans les parois des chambres à cavité en graphite sont seulement approximatives. Les différences entre les valeurs

calculées par le NRC et celles qui sont utilisées sont fonction de la géométrie particulière des chambres. Si les valeurs du NRC devaient être adoptées, les relations entre les étalons des laboratoires changeraient. Toutefois, la dispersion des résultats des comparaisons d'étalons de kerma dans l'air ne varierait pas de façon appréciable. La figure 1 donne la situation actuelle de plusieurs laboratoires de métrologie par rapport au BIPM ; elle indique aussi quelle serait leur position si l'on utilisait les valeurs calculées par le NRC.

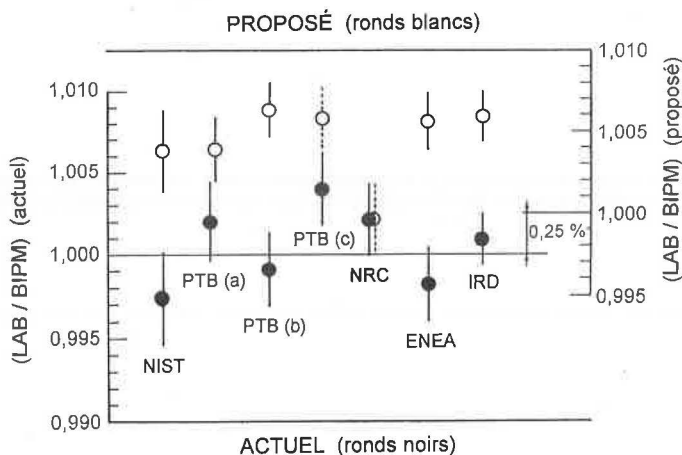


Fig. 1. — Comparaison des mesures de kerma dans l'air (Bielajew et Rogers, *Phys. Med. Biol.*, 1992, 37, 1283-1291).

Plusieurs laboratoires de métrologie font part de leur hésitation à modifier les valeurs attribuées à leurs étalons de quantités aussi importantes que 0,5 % et d'autres recherches sont envisagées. La PTB est en train de construire de nouvelles chambres expérimentales. Le NIST envisage de travailler à des énergies plus faibles en utilisant les rayons x pour voir si le comportement des chambres est cohérent avec ce qui est prédit. On fait remarquer qu'il convient, pendant la fabrication de telles chambres, de prendre un soin particulier pour éviter la présence d'impuretés de numéro atomique élevé. Le représentant de l'ENEA fait remarquer que les corrections de paroi adoptées pour de nombreuses chambres utilisées en médecine sont fondées sur les calculs de Monte Carlo de ce type. L'accord des résultats théoriques avec ceux de quelques expériences est environ 0,5 %, mais cette valeur est comparable à la modification de la correction proposée. Il convient de procéder à de plus amples recherches avant de modifier les facteurs de correction actuels.

Le NPL utilise des corrections de paroi calculées ; toutefois, l'accord entre les calculs faits au NRC et les valeurs calculées par le NPL pour sa chambre n'a pas été vérifié.

Lors de la précédente réunion, un groupe de travail, présidé par le NRC, a été créé et chargé de recommander, pour l'usage des laboratoires membres, des valeurs appropriées pour les incertitudes qui sont associées à la valeur de l'énergie requise pour produire une paire d'ions dans l'air, W/e , au rapport du pouvoir de ralentissement dans le graphite et dans l'air, $\bar{s}_{c,a}$, et au produit $(W/e)_{air} \cdot \bar{s}_{c,a}$. Un document émanant du NRC (93-28) indique que, alors que l'incertitude associée au produit $(W/e)_{air} \cdot \bar{s}_{c,a}$ est assez faible, celle qui est associée à ses composantes est beaucoup plus grande. Il a été question de l'incertitude associée à la valeur de l'énergie moyenne d'excitation, I , pour le graphite, recommandée par l'ICRU. Cette incertitude est très élevée et entraîne sur la valeur de $\bar{s}_{c,a}$ une incertitude d'environ 0,7 %. De plus, un document récent (Bichsel et Hiraoka, *Nucl. Instrum. and Meth.*, 1992, **B66**, 345-351) recommande pour I dans le graphite une valeur différente de celle qui est recommandée par l'ICRU. Si cette valeur devait être adoptée, cela entraînerait une modification significative tant de $\bar{s}_{c,a}$ que de W/e , alors que leur produit ne changerait pas. Les implications sont très significatives pour les valeurs du kerma dans l'air déterminé à l'aide de chambres d'ionisation à parois d'air. Au moment de la réunion, le groupe de travail ne s'était pas encore mis d'accord sur des valeurs appropriées à recommander aux laboratoires membres.

Il est souligné que les approches statistiques utilisées par le NRC et le BIPM sont différentes. De plus, bien que la ré-évaluation de quelques résultats faite par le NRC comporte plusieurs modifications significatives, elle ne comporte pas toutes les corrections que maintenant certains laboratoires estiment nécessaires.

En conclusion de la discussion, le groupe de travail créé lors de la 10^e réunion de la section (1991) est chargé de poursuivre ses recherches. Il lui est demandé, en particulier, de faire un rapport à la prochaine réunion, ou même avant, sur les incertitudes qui doivent être associées aux valeurs des trois grandeurs physiques suivantes :

$(W/e)_{air} \cdot \bar{s}_{c,a}$, à utiliser dans la détermination du kerma dans l'air et de la dose absorbée avec des chambres à cavité en graphite ;

$\bar{s}_{c,a}$, pour la mesure de l'exposition avec des chambres à cavité en graphite ;

$(W/e)_{air}$, pour la mesure du kerma dans l'air avec des chambres à parois d'air.

3. Étalonnage des chambres à électrodes planes parallèles utilisées en dosimétrie des électrons

Le comité constate qu'il existe trois méthodes dont l'utilisation est courante pour étalonner les chambres à électrodes planes parallèles utilisées en dosimétrie des électrons. Ce sont :

la comparaison de la chambre à électrodes planes parallèles avec une chambre cylindrique étalonnée dans le faisceau de rayonnement adéquat ;

l'étalonnage, dans le rayonnement du ^{60}Co , par comparaison à une chambre cylindrique étalonnée après avoir adapté le matériau de la paroi du fantôme de telle sorte que l'on ait $p_{\text{paroi}} = 1,0$;

la comparaison, dans le rayonnement gamma du ^{60}Co , de la chambre à électrodes planes parallèles à une chambre cylindrique étalonnée, les deux étant équipées, pour les mesures dans l'air, de capuchons assurant l'équilibre électronique.

L'AIEA publiera prochainement un document technique et le protocole de l'AAPM sur l'étalonnage des chambres planes parallèles. L'observateur de l'AIEA fait remarquer que la construction effective d'une chambre de ce type est très délicate. Une modification apportée à l'épaisseur de l'électrode collectrice peut, selon certaines sources, modifier la réponse de 1 %. Les effets de la nature et de l'épaisseur du matériau isolant situé derrière l'électrode collectrice sont décrits dans une publication de Rogers (*Med. Phys.*, 1992, **19**, 889-899) ; il y est fait état de la rétro-diffusion d'électrons dans la chambre à partir de l'isolant, ce qui entraîne, d'après le calcul, des différences de 5 % et de 3 % respectivement pour les chambres Capintec et celles du NACP.

Le président fait remarquer que, bien que le comportement de chambres de ce type soit intéressant, la question n'est pas directement de la compétence de la section, à moins qu'un laboratoire d'étalonnage n'ait l'intention de construire un étalon primaire de ce type. La compétence du comité porte essentiellement sur les méthodes correctes d'étalonnage en utilisant des étalons.

4. Détermination expérimentale du facteur C_{λ}^K au BIPM

Les valeurs de C_{λ}^K , le rapport entre les facteurs d'étalonnage dans l'eau et dans l'air, à 1 m de la source dans le faisceau de référence pour plusieurs chambres d'ionisation, telles qu'elles sont obtenues de façon expérimentale au BIPM, ont été comparées avec les valeurs calculées publiées par l'AIEA (*IAEA Technical Report Number 277*) (93-6). Les valeurs expérimentales et calculées de C_{λ}^K diffèrent de moins de 1 %. Les mesures faites à deux profondeurs dans un fantôme d'eau ($5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ et $17 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) indiquent aussi que la variation de C_{λ}^K avec la profondeur est faible ($-0,1 \%$) et ne dépend pas fortement du spectre des photons.

La PTB a présenté les résultats d'un essai fait avec la méthode de calcul de l'AIEA, en déduisant le rapport de la dose absorbée dans l'eau à partir des facteurs d'étalonnage dans l'air et dans l'eau (93-14). Certaines difficultés proviennent des données publiées, relatives aux dimensions et aux matériaux de certaines chambres d'ionisation que l'on trouvait autrefois dans le commerce, données qui ne sont peut-être pas exactes. Des résultats comparables ont été trouvés par le BEV, le NRC et la PTB où des chambres couramment utilisées ont été mesurées. La

conclusion qui en est tirée est que, en général, la méthode de l'AIEA donne pour les faisceaux de ^{60}Co des résultats en bon accord avec les mesures qui utilisent des étalons de dose absorbée. Dans l'ensemble les rapports sont voisins de l'unité, avec un écart-type de 0,5 %.

5. Travaux et comparaisons dans le domaine des rayons x de haute énergie

Un résumé des comparaisons de mesures de dose absorbée dans l'eau entre le BIPM, le NPL, le NRC et la PTB est présenté (93-4). Les différents étalons ont subi des révisions depuis 1991. Le NPL a apporté des modifications à ses facteurs d'étalonnage ; il a introduit l'emploi d'un moniteur pour éliminer les fluctuations de mesures du ^{60}Co et tient compte de la filtration du faisceau dans la spécification de la qualité du rayonnement. Le BIPM utilise maintenant comme référence, pour la dose absorbée dans l'eau, une méthode ionométrique à l'aide d'une chambre à cavité en graphite dans un fantôme d'eau.

B.M. Coursey présente un rapport complet (93-13) sur un calorimètre scellé à eau. Ce rapport conclut qu'un effet égal à 2,4 % sur le défaut de chaleur dépend de la présence d'oxygène. La solution à ce problème consiste à purger le calorimètre scellé à eau avec de l'hydrogène, ce faisant à le saturer d'hydrogène de façon à éliminer l'effet. La paroi de la cellule à eau est très mince (0,25 mm), et introduit un excès d'élévation de la température de 0,09 % soixante secondes après une irradiation de soixante secondes quand on utilise une source de ^{60}Co de 400 TBq (débit de dose voisin de 1,85 Gy/min). L'instrument donne un écart-type d'environ 0,1 % pour 500 mesures. Les mesures effectuées avec d'autres systèmes hydrogène-oxygène varient en fonction de la dose absorbée accumulée, comme cela est prévisible pour un système clos.

Une présentation condensée de la relation actuelle entre les étalons de dose absorbée dans l'eau pour les rayons x d'énergie élevée a été discutée (93-33). Le document concerne les étalons du NIST, du NPL, du NRC et de la PTB et les relie aux étalons du BIPM ainsi que la section le recommande. Ces laboratoires utilisent des méthodes différentes : la PTB utilise un système de Fricke calculé à partir de l'énergie massique impartie par un faisceau d'électrons d'énergie connue (5,6 MeV) ; le NRC utilise une solution de Fricke étalonnée par rapport à un calorimètre à eau dans un faisceau de photons à 20 MV ; le NPL utilise un calorimètre en graphite de type Domen et la loi de similitude sur la fluence de photons pour obtenir D_w , puis il utilise comme étalons de travail des chambres d'ionisation étalonnées ; l'étalon du NIST est fondé sur un calorimètre à eau comme il a été dit ci-dessus.

Comme ces étalons ne sont pas transportables, des méthodes indirectes faisant appel à la fois aux dosimètres de Fricke et aux chambres d'ionisation ont été employées. Les comparaisons ont été

bilatérales (NRC/PTB, NPL/PTB, NRC/NIST), et pour les rayons x de haute énergie elles ont utilisé des qualités de rayonnement identiques. Pour les faisceaux de rayonnement du ^{60}Co , en prenant le BIPM comme référence, on a constaté que les résultats du NPL et ceux du BIPM sont voisins (à 0,11 % près) tandis que ceux du NRC et ceux de la PTB sont voisins de leur côté, mais s'écartent d'environ 0,7 % de ceux du BIPM. Le NIST se situe à environ 1 % au-dessus du NRC et est proche du BIPM. Pour les énergies supérieures, les comparaisons entre le NPL et la PTB utilisant la méthode de Fricke donnent des résultats qui concordent à environ 1,5 % près, et les comparaisons entre le NRC et la PTB utilisant l'ionométrie concordent à environ 0,4 % près.

6. Spécification de la qualité des faisceaux

On rappelle les problèmes que le NPL avait signalés lors de la précédente réunion au sujet de la possibilité de déduire la réponse des chambres NE 2561 à partir de la qualité du rayonnement des accélérateurs linéaires et au sujet de l'apparente incohérence des résultats obtenus pour les énergies du ^{60}Co et des rayons x. Le rapport du NPL fait apparaître deux courbes d'étalonnage différentes selon la filtration utilisée pour les faisceaux de rayons x (93-3). Des mesures ultérieures ont été gênées par des problèmes (éliminés plus tard grâce à l'emploi d'une chambre de contrôle) dus au déplacement de certains éléments dans la source de ^{60}Co nouvellement installée au NPL. Il semble maintenant qu'il existe une courbe limite pour le rayonnement fortement filtré, typique de ce que l'on a avec les installations thérapeutiques, et une famille de courbes pour chaque énergie. Les courbes ont tendance à rejoindre la courbe limite lorsque la filtration augmente.

Il est suggéré que les clients qui demandent au NPL des étalonnages pour des rayons x de haute énergie devraient préciser leur demande en énergie et en indice de qualité. La question de savoir comment le client devrait spécifier l'énergie du faisceau n'a pas été clarifiée.

Une publication (Rogers, *Med. Phys.*, 1993, **20**, 1181-1188) suggère que la répartition relative de la dose en fonction de la profondeur, prise à une profondeur de 10 cm dans un fantôme d'eau, fournit un excellent identificateur unique, relié linéairement à $\bar{s}_{w,a}$. Il est suggéré que les laboratoires de métrologie primaires pourraient demander aux hôpitaux d'estimer la dose relative à une profondeur de 10 cm dans un fantôme d'eau et que les laboratoires d'étalonnage primaires utilisent cette référence pour régler la qualité du faisceau.

7. Utilisation et comparaison des programmes de calcul par la méthode de Monte Carlo

Lors de la précédente réunion, un groupe de travail présidé par le NRC a présenté un rapport préliminaire sur l'utilisation et la comparaison

des programmes de calcul utilisant la méthode de Monte Carlo. Depuis lors, deux lettres circulaires sur ce sujet ont été diffusées, mais on a reçu seulement deux réponses. Les laboratoires de métrologie n'ont fourni aucune information nouvelle concernant la comparaison de leurs programmes. On estime qu'il serait toujours souhaitable d'effectuer des comparaisons en utilisant différents programmes comme ceux qui sont utilisés au BIPM, au NMI et à la PTB. Bien que les calculs puissent donner d'excellents résultats pour la réponse relative de chambres homogènes, l'exactitude n'est probablement que d'environ 1 %. On estime qu'une façon efficace de vérifier les différents programmes serait d'effectuer une comparaison des performances des différents programmes dans le calcul de la réponse d'une chambre simple en forme de disque. En effet, les calculs au voisinage de 200 keV constituent un test plus sévère qu'à l'énergie du ^{60}Co . Il a été dit que les programmes ITS et EGS4, à cause de leurs approximations, exigent des corrections s'ils doivent donner des résultats fiables pour les faisceaux de rayonnement de freinage.

Une publication récente (Ma *et al.*, *Med. Phys.*, 1993, **20**, 283-292) traite de l'utilisation des méthodes de Monte Carlo et des méthodes expérimentales pour étudier les effets de paroi des fioles contenant la solution de Fricke et utilisées dans les faisceaux de photons. On a constaté que les effets observés dans les fioles en verre sont essentiellement dus aux différences de diffusion des électrons dans les parois et dans l'eau. L'effet résultant est très petit à l'énergie du ^{60}Co mais il peut être significatif (jusqu'à 2 %) dans les faisceaux de photons de haute énergie.

8. Travaux futurs au BIPM

La poursuite de comparaisons et d'étalonnages avec les étalons du BIPM est considérée comme prioritaire. Trois comparaisons sont prévues pour 1993. Un diagramme résume les résultats des comparaisons dans le domaine des rayons x d'énergies faibles et moyennes. Les comparaisons dans le domaine des rayons x de faible énergie sont moins nombreuses, mais la dispersion de leurs résultats est plus petite que celle des comparaisons effectuées dans le domaine des rayons x de moyenne énergie. Cette différence est attribuée à l'emploi dans le premier cas de l'étalon primaire plutôt que d'un étalon de transfert. Pour les énergies moyennes, la difficulté d'obtenir la même qualité de rayonnement au BIPM et dans un autre laboratoire pour étalonner les chambres de transfert est la cause probable de l'accroissement de la dispersion.

Suite aux recommandations de la section relatives à la nécessité d'avoir des étalons de kerma dans l'air pour le ^{137}Cs , le BIPM a acheté une source, une enceinte et l'équipement connexe. On estime que le faisceau de ^{137}Cs sera disponible d'ici un ou deux ans pour effectuer

des comparaisons de kerma dans l'air et d'équivalent de dose ambiant. On envisage de procéder alors à des mesures de sources utilisées en curiethérapie.

Le personnel du BIPM est invité à donner des indications sur l'état d'avancement de l'étude d'un calorimètre à eau qui avait été prévue lors de la dernière réunion. Un stagiaire a passé un certain temps à mettre au point un instrument de transfert transportable. Cet instrument était conçu pour fonctionner à 20 °C avec des barrières de convection ; il était prévu qu'il serait utilisé dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM et qu'il pourrait être transporté dans d'autres laboratoires afin d'être utilisé dans les faisceaux de rayons x de haute énergie produits par des accélérateurs linéaires. Il n'a pas été possible d'expliquer le comportement de cet instrument, en particulier la non-linéarité de sa variation de température en fonction du temps. Il a donné des résultats à environ 3 % de ceux que l'on attendait (avec un écart type d'environ 1 % pour 5 mesures). Après le départ du stagiaire, le travail n'a pas été poursuivi car le BIPM ne dispose pas de personnel suffisant pour continuer ces recherches.

Les membres de la section approuvent le programme de travail envisagé, qui est essentiellement conforme aux recommandations faites lors des réunions précédentes.

9. Étalons dans le domaine de la curiethérapie

Le NIST a accueilli un atelier sur l'étalonnage des sources de ^{192}Ir à débit élevé utilisées en curiethérapie. Cet atelier a réuni trente participants, dont les représentants de trois laboratoires nationaux (NIST, NRC et NMi). Pour obtenir des facteurs d'étalonnage pour ces sources, le LPRI et l'OMH utilisent la théorie de la cavité de Bragg-Gray alors que d'autres laboratoires emploient des chambres utilisées en radioprotection, étalonnées dans un faisceau de rayons x, et dans le rayonnement du ^{137}Cs , en faisant une moyenne spectrale pour le ^{192}Ir . Le NMi utilise une technique d'interpolation fondée sur une proposition faite par Goetsch *et al.* (*Med. Phys.*, 1991, **18**, 462-467). Le NIST a l'intention de mettre au point pour ces sources un étalon primaire qui utiliserait une série de chambres sphériques en graphite avec des corrections de parois calculées par des méthodes de Monte Carlo.

Une discussion s'ensuit sur la nécessité d'utiliser le débit de référence de kerma dans l'air à 1 m, actuellement recommandé par l'ICRU, comme méthode de choix pour étalonner les sources de curiethérapie, alors que de nombreux systèmes de prescription des doses demandent de donner l'activité de la source. Le comité est d'accord, malgré tout, pour dire qu'il n'y a pas de raison valable de suggérer une autre méthode que celle qui est recommandée par l'ICRU.

Le NIST est en train de mettre au point une chambre à parois d'air ayant un grand angle pour étalonner les sources de ^{125}I . Ce laboratoire serait désireux de participer à des comparaisons avec tout autre laboratoire qui mettrait aussi au point des étalons pour ces sources.

10. Étalons utilisés en radioprotection

a) Au BIPM

Le BIPM rappelle qu'il est en mesure d'effectuer des étalonnages d'équivalent de dose ambiant et d'équivalent de dose directionnel en utilisant le rayonnement gamma du ^{60}Co .

b) Dans les laboratoires nationaux de métrologie

Plusieurs documents de travail (93-12, 19 et 20) traitent des étalons utilisés en radioprotection. Le NIST a fait un inventaire des installations qui existent dans les laboratoires membres. Il a reçu quinze réponses de laboratoires. Deux seulement ne proposaient pas d'étalonnage au ^{137}Cs pour utilisation en radioprotection, mais ils ont pris depuis lors des dispositions pour le faire. Les sources disponibles n'étaient pas toutes inventoriées, seulement celles qui peuvent être utilisées comme étalons primaires. On remarque qu'au moins cinquante laboratoires secondaires du réseau de l'AIEA disposent eux aussi de sources de ^{137}Cs pour l'étalonnage.

Une discussion s'ensuit sur les méthodes préférées pour les comparaisons de ^{137}Cs . Différentes chambres d'ionisation, dont le volume varie de 30 cm^3 à $3\ 000\text{ cm}^3$, provenant de différents fabricants, semblent appropriées pour les comparaisons indirectes, bien que quelques laboratoires utilisent de façon courante des chambres encore plus grandes. Des questions se posent aussi sur l'uniformité du champ de rayonnement des sources utilisées. Il est souligné comme essentiel que le BIPM mette au point et conserve les conditions optimales de travail dans ce domaine. La nécessité d'effectuer des comparaisons d'équivalent de dose ambiant est discutable, puisqu'on peut faire des comparaisons de kerma dans l'air et que l'on peut employer des facteurs de conversion adoptés par convention. Il est prévu que le BIPM détermine de façon expérimentale la relation entre le kerma dans l'air et l'équivalent de dose ambiant, pour le ^{137}Cs . Le comité est d'accord pour reconnaître que cela constitue une activité importante pour le BIPM.

Il est convenu qu'un groupe de travail doit être créé pour déterminer les conditions optimales pour le faisceau de ^{137}Cs du BIPM et pour organiser une comparaison restreinte utilisant le rayonnement du ^{137}Cs dans le domaine de la radioprotection ; pour commencer, cette comparaison porterait sur le kerma dans l'air. Ce groupe de travail sera

présidé par un représentant du NIST. Plusieurs laboratoires se disent intéressés à prendre part à la comparaison proposée et au groupe de travail. Ce sont l'ARL, l'ENEA, l'ETL, le LPRI, le NIRP, le NIST, le NMI, le NPL, l'ÖFS, l'OMH et le PKNM.

Deux documents présentés par l'ETL (93-19 et 20) font l'objet d'une discussion. Ils traitent de l'emploi des chambres d'extrapolation et des sources de rayonnements bêta utilisés dans le domaine de la radioprotection. En réponse à la question de savoir quels sont les membres qui font des travaux en dosimétrie bêta, il s'avère que onze membres ont des programmes en cours dans ce domaine.

11. Mesures du potentiel des tubes à rayons x ne nécessitant aucune intervention sur l'instrument

Une nouvelle méthode pour mesurer de façon précise la tension appliquée à un tube à rayons x est présentée dans un document (93-11) du NIST. L'attention du comité est attirée sur la méthode courante, ne nécessitant aucune intervention sur l'instrument, qui sert à mesurer la haute tension en mammographie en utilisant deux filtres. Cette méthode est décrite comme permettant de déterminer des tensions à environ 2 kV près, alors que les radiologues prétendent souvent être en mesure de voir des différences dues à 1 kV sur les radiographies. Le NIST a mis au point une méthode, due à Rutherford, qui est fondée sur la spectrométrie par diffraction dans un cristal et repose seulement sur des informations concernant la constante réticulaire du silicium et une mesure précise de longueur. En utilisant cette méthode la haute tension peut, en principe, être mesurée à 10 V près (ou même à 1 V près) en étalonnant l'appareil. Le domaine spectral couvert pourrait être facilement étendu jusqu'à 300 kV. De plus, l'image sur le film fourni par l'appareil donne des indications à la fois sur la répartition spectrale et sur l'intensité du rayonnement. Il pourrait être intéressant d'utiliser cette méthode en parallèle avec le générateur de rayons x ultra-stable du BIPM. Le directeur du BIPM souligne que c'est un sujet de satisfaction de voir qu'une mesure précise faite dans un domaine scientifique, la mesure de la constante réticulaire, trouve une application pratique dans un autre domaine.

12. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel

Le représentant de l'AIEA indique que tous les dosimètres de l'AIEA utilisés pour contrôler la dosimétrie à usage industriel sont rattachés à la dose absorbée dans l'eau telle qu'elle est mesurée au BIPM. Il attire l'attention sur l'importance des conditions d'irradiation. L'utilisation d'un

fantôme en matière plastique pour l'irradiation peut être la cause d'une distorsion de la dose en profondeur due à un stockage de la charge dans la matière plastique.

Le représentant du NIST rend compte d'un programme de recherches portant sur la résonance paramagnétique électronique et un film radiochromique pour étudier des échantillons osseux dans le but de mesurer la dose absorbée à des niveaux compris entre 1 gray et 10^4 grays, ce qui intéresse aussi bien les victimes d'accident que l'irradiation industrielle. Il indique aussi que l'on s'intéresse à l'utilisation de dosimètres à alanine comme étalons de transfert en thérapie. Cela comporte une étude systématique des incertitudes associées à la forme de la pastille d'alanine. On espère pouvoir réduire les incertitudes à moins de 1 %.

Le représentant de l'AIEA indique que, dans leur service, on peut obtenir un écart-type de 1 % à des niveaux de dose de 2 grays.

13. Rapports d'activité des laboratoires membres

Plusieurs rapports ont été présentés par des laboratoires membres soulignant les travaux en cours, les modifications apportées aux installations, ou aux étalons et aux services offerts, depuis la dernière réunion. Signalons entre autres les documents 93-1, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 25, 27, 30, 31 et 35 qui contiennent des informations dont il n'a pas été question ailleurs dans le présent rapport. Les participants expriment leurs remerciements pour les renseignements fournis. Le personnel du BIPM est intéressé par ces questions et apprécie d'en être tenu informé.

14. Rapport de l'AIEA

Un résumé des travaux effectués par le réseau des 72 laboratoires secondaires (SSDL) de l'AIEA est présenté. Ces travaux comportent la lecture de deux millions de dosimètres individuels par an, l'étalonnage de quelque 1 000 chambres d'ionisation et 2 000 faisceaux utilisés en thérapie par an, ainsi qu'une activité dans le domaine des mesures de doses élevées. De brèves indications sont données sur la façon dont est constitué et dont travaille le comité technique qui supervise le réseau de laboratoires secondaires. Un résumé des divers programmes de l'AIEA est présenté : la coopération technique, la qualité, l'assurance de qualité aussi bien au moyen des dosimètres que des méthodes utilisant les dosimètres thermoluminescents, ainsi que les travaux dans le domaine des doses élevées, y compris les techniques mettant en jeu l'alanine et la résonance paramagnétique électronique.

Le programme de formation en cours pour le personnel des laboratoires secondaires comporte trois cours de chacun trois semaines, prévus pour 1993, et un programme de séminaires semestriels. Une description du programme coordonné de recherches est donnée. Il comporte l'essai du code de pratique de l'AIEA, publié comme *Technical Report 277*, la mise sur pied d'un programme d'assurance de qualité en radiothérapie, et quelques sujets qui demandent une attention particulière pour l'étalonnage des moniteurs des accélérateurs. Une liste des publications de l'AIEA sur ces questions, récentes ou récemment révisées, est présentée.

15. Publicité

Le président a l'intention de faire connaître les travaux de la section dans la littérature scientifique et il va préparer un rapport à paraître dans la revue de l'AIEA *SSDL Newsletter*.

16. Questions diverses

Plusieurs questions seront étudiées par des groupes de travail. Ces études devront être terminées pour la prochaine réunion. Dans le contexte actuel, le représentant du NIST suggère d'inscrire à l'ordre du jour de la prochaine réunion la question des étalons primaires à utiliser en thérapie par faisceaux de protons.

17. Prochaine réunion

Le comité est d'accord pour que la prochaine réunion ait lieu dans deux ans.

Novembre 1993, révisé mars 1994

ANNEXE R(I) 1

**Documents de travail
présentés à la 11^e réunion de la Section I du CCEMRI**

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

Document
CCEMRI (I)/

- 93-1 NPL (Royaume-Uni).— NPL Radiation Dosimetry Progress Report, January 1993, by B. Owen, 4 pages.
- 93-2 NPL (Royaume-Uni).— Revision of the NPL-BIPM Cobalt-60 Comparison of Absorbed Dose to Water, 1987/88, by B. Owen, 3 pages.
- 93-3 NPL (Royaume-Uni).— The Dependence of Absorbed Dose Calibration Factors on Quality Index and Beam Filtration, by B. Owen, 3 pages.
- 93-4 NPL (Royaume-Uni).— Summary of NPL, BIPM, PTB and NRC Absorbed Dose to Water Comparisons, by B. Owen, 6 pages.
- 93-5 BIPM.— Comparisons and calibrations at the BIPM (1991-1993), by A.-M. Perroche, 9 pages.
- 93-6 BIPM.— Experimental determination of C_{λ}^K in a ^{60}Co beam, by M. Boutillon, 5 pages.
- 93-7 ETL (Japon). — An investigation of the influence of applied voltage on ionization due to electrons in free-air ionization-chambers, by N. Takata and Matiullah, *Nucl. Instrum. and Meth.*, 1993, **A324**, 226-231.
- 93-8 ENEA (Italie).— Summary of the most recent activities (1991-1993) at ENEA-INMRI in the field of interest of the CCEMRI Section I, 3 pages.
- 93-9 ARCS (Autriche).— Report by Austrian Research Center Seibersdorf, by K.E. Duftschnid, 16 pages.

Document
CCEMRI (I)

- 93-10 NIST (É.-U. d'Amérique).— Report to the CCEMRI Section I, by B.M. Coursey, 11 pages.
- 93-11 NIST (É.-U. d'Amérique).— Report to the CCEMRI Section I: Non-invasive kV measurement using crystal diffraction spectrometry, by R. Deslattes, 2 pages.
- 93-12 NIST (É.-U. d'Amérique).— Availability of Instrument Calibrations for Protection Instruments in Cesium-137 Beams, by B.M. Coursey, 4 pages.
- 93-13 NIST (É.-U. d'Amérique).— A Sealed Water Calorimeter for Measuring Absorbed Dose, by S.R. Domen, 70 pages.
- 93-14 PTB (Allemagne).— Testing of the IAEA code: absorbed dose determination at ^{60}Co gamma radiation, by K. Hohlfeld, 13 pages.
- 93-15 PTB (Allemagne).— List of Publications 1991-1993 (Gruppe für Photonen- und Elektronendosimetrie), 2 pages.
- 93-16 PTB (Allemagne).— Status and Progress Report 1991 to 1993 – Radiation sources, standards, research work and services, by K. Hohlfeld, 3 pages.
- 93-17 ETL (Japon).— Progress Report on Standards for Dosimetry of X, γ and β rays at ETL, by N. Takata, K. Sakihara and T. Matsumoto, 1 page.
- 93-18 ETL (Japon).— Standardization of Compton-scattered γ -rays at ETL (I), by K. Sakihara, T. Matsumoto and Y. Koyama, 6 pages.
- 93-19 ETL (Japon).— Absorbed Dose Standard to Tissue for External Beta-rays at ETL, by K. Sakihara, T. Matsumoto and Y. Koyama, 6 pages.
- 93-20 ETL (Japon) et Nuclear Energy Unit (Malaisie).— Standardization of Tissue Absorbed Dose for External Beta-rays, by K. Sakihara and T. Kadoni, 7 pages.
- 93-21 OMH (Hongrie).— Progress Report on the Dosimetry (1991-1993), by A. Jakab, 2 pages.
- 93-22 IRD (Brésil).— National laboratory for metrology of ionising radiation, by L. Contier de Freitas, 7 pages.
- 93-23 NMi (Pays-Bas) et NPL (Royaume-Uni).— Report on a Intercomparison of Absorbed Dose Standards of the Netherlands and the United Kingdom, by T.W.M. Grimbergen and B. Owen, 2 pages.

Document
CCEMRI (I)/

- 93-24 NMI (Pays-Bas).— Report on the NMI/BIPM comparison of air kerma standards 1991-1992, by E. van Dijk, T.W.M. Grimbergen and A.H.L. Aalbers, 8 pages.
- 93-25 NMI (Pays-Bas).— Radiation standards, facilities and related topics, 1991-1993, by A.H.L. Aalbers, 3 pages.
- 93-26 PKNM (Pologne).— Progress report 1991-1993 to CCEMRI, by Z. Referowski, 3 pages.
- 93-27 NRC (Canada).— Activities at NRC, 1991-1993, by D.W.O. Rogers, 12 pages.
- 93-28 NRC (Canada).— Uncertainties in the ^{60}Co graphite to air stopping-power ratio and re-evaluation of $(W/e)_{\text{air}}$ values, by D.W.O. Rogers, 13 pages.
- 93-29 NRC (Canada) et NIST (É.-U. d'Amérique).— Report of a Comparison of Dosimetric Measurement Standards of the NRC and the NIST, by K.R. Shortt, 6 pages.
- 93-30 ARL (Australie).— Outline of some activities and changes to equipment available at the Australian Radiation Laboratory since CCEMRI(I) meeting held in 1993, by N.J. Hargrave, 2 pages.
- 93-31 ARL (Australie).— Status report for CCEMRI(I) on absorbed dose standards at the Australian Radiation Laboratory, by R.B. Huntley, 8 pages.
- 93-32 ARL (Australie).— Asia/Pacific X-ray dosimetry standards intercomparison, by N.J. Hargrave and P.D. Allen, 8 pages.
- 93-33 BIPM, NIST (É.-U. d'Amérique), PTB (Allemagne), NPL (Royaume-Uni) et NRC (Canada).— Comparison of primary water absorbed dose standards, by M. Boutillon, B.M. Coursey, K. Hohlfeld, B. Owen and D.W.O. Rogers, 19 pages.
- 93-34 A. Allisy.— Operational quantities, 24 pages.
- 93-35 LPRI (France).— Progress report, 2 pages.
-

Section II — Mesure des radionucléides

12^e réunion (juin 1993)

ORDRE DU JOUR
de la 12^e réunion

1. Résultats de comparaisons récentes de mesures d'activité.
 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. Rapports d'activité des laboratoires membres.
 6. Questions diverses.
 7. Visite de laboratoires du BIPM.
 8. Questions diverses.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II. — **Mesure des radionucléides**

12^e réunion (juin 1993)

RAPPORT

par B.R.S. SIMPSON, rapporteur

Résumé. La Section II (Mesure des radionucléides) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa douzième réunion en juin 1993. Le rapport préliminaire sur la comparaison internationale de ^{75}Se , qui a eu lieu en 1992, est présenté et fait l'objet d'une discussion. La dispersion totale des valeurs est plus importante que lors des autres comparaisons récentes, en partie à cause de la nécessité d'avoir un facteur de correction pour tenir compte d'un état métastable. Un article résumant la comparaison précédente de mesures d'activité du ^{133}Ba a fait l'objet d'une publication, et des versions condensées des rapports des comparaisons de ^{109}Cd et de ^{125}I seront soumises pour publication dans le courant de l'année 1993. Un rapport complet de la comparaison de ^{75}Se , ainsi qu'une version abrégée destinée à la publication, vont être préparés. Les résultats d'une comparaison internationale de mesures d'activité d'émetteurs bêta purs, qui correspond en partie à une recherche en vue de l'extension du Système international de référence (SIR), sont présentés. Le ^{204}Tl fera l'objet de la prochaine comparaison internationale qui, avec une comparaison préliminaire, constituera aussi un essai du système adopté pour le SIR étendu. Les travaux sur la « méthode de parité » ont continué au BIPM avec l'obtention d'une expression qui permet de corriger les pertes dues aux temps morts. D'autres activités récentes du BIPM sont décrites et les rapports des groupes de travail sont présentés.

Ouverture de la réunion

La Section II (Mesure des radionucléides)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa douzième réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 1, 2 et 3 juin 1993.

Étaient présents :

D. SMITH, président de la Section II, National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Bureau national de métrologie, Paris : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay (N. COURSOL).

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa (D.C. SANTRY).

Institut national de métrologie [NIM], Beijing (LI FEN).

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

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (J.M.R. HUTCHINSON).

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

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (Á. SZÖRÉNYI).

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

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Membres nominativement désignés :

J.-J. GOSTELY, Institut de radiophysique appliquée [IRA-OFM], Lausanne.

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

* Pour la liste des membres, voir page XIII.

** Pour la liste des sigles utilisés dans ce rapport, voir page V.

Invités :

R. BRODA, Instytut Energii Atomowej, Radioisotope Research Centre [IEA-OBRI], Swierk.

P. DE FELICE, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti [ENEA], Rome.

A. GRAU MALONDA, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

D.F.G. REHER, Institut des matériaux et mesures de référence [IMMR], Geel.

SUN-TAE HWANG, Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejon.

Ont assisté à la réunion : P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM ; A. ALLISY, membre du CCEMRI ; M. BOUTILLON, P. BRÉONCE, V.D. HUYNH, J.W. MÜLLER et G. RATEL (BIPM) ; A.-M. PERROCHE (stagiaire au BIPM).

Excusé :

Australian Nuclear Science and Technology Organisation [ANSTO], Menai.

Absents :

Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA], Vienne.

Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

Le directeur du BIPM ouvre la réunion. Il accueille les membres de la Section II du CCEMRI et leur rappelle les termes de leur mission.

Le président de la Section II propose B.R.S. Simpson comme rapporteur. Il accueille les nouveaux délégués ainsi que les invités.

Le projet d'ordre du jour est adopté.

1. Résultats de comparaisons récentes de mesures d'activité

a) Résultats de la comparaison internationale de ^{75}Se

G. Ratel (BIPM) résume le rapport préliminaire (93-14)*** sur les résultats de la comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de ^{75}Se . Pour la première fois, la préparation des ampoules de solutions a été entreprise par le BIPM. Deux solutions mères, appelées A et B, ont été achetées et diluées pour donner deux séries d'environ

*** La liste des documents soumis par les participants est donnée à l'Annexe R(II) 1 ; ils sont cités dans le texte sous la forme 93-1, 93-2, etc.

30 ampoules chacune, le facteur de dilution étant choisi de telle sorte que les participants n'aient pas à effectuer une nouvelle dilution.

Des mesures ont été faites sur chaque ampoule avec les chambres d'ionisation du SIR ; c'est la solution B qui a été choisie pour être distribuée aux 21 laboratoires participants. L'envoi a été effectué par le LPRI. On souligne que la principale difficulté pour déterminer l'activité est due à la présence d'un état métastable, qui oblige à apporter une correction au taux de comptage mesuré. La plupart des laboratoires ont utilisé la méthode des coïncidences $4\pi(e,x) - \gamma$, avec une répartition quasiment égale entre ceux qui ont employé des compteurs à pression et ceux qui ont utilisé des compteurs proportionnels à la pression atmosphérique pour compter les électrons ; deux laboratoires ont utilisé le comptage par scintillation liquide. Un laboratoire a aussi appliqué la technique des anti-coïncidences et quatre laboratoires ont utilisé une autre technique. La figure 1 montre la répartition des résultats à la fois avant et après l'application d'une correction pour tenir compte des événements retardés. La dispersion totale des valeurs, en excluant un résultat aberrant, s'étend sur environ $\pm 3\%$. Un diagramme comparant les mesures des chambres d'ionisation aux résultats définitifs ne fait apparaître aucune corrélation, ce qui indique que la grande dispersion n'est pas due à la préparation des ampoules de solution. La moyenne non pondérée de la concentration de l'activité, en ne tenant pas compte d'une valeur aberrante, est de $(1,253 \pm 0,004) \text{ MBq} \cdot \text{g}^{-1}$, l'incertitude estimée donnée étant égale à l'écart-type de la moyenne de 23 valeurs.

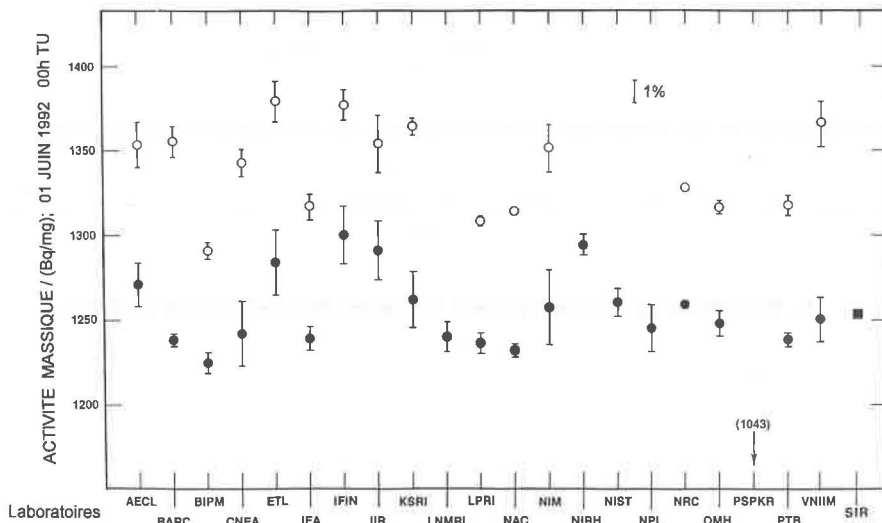


Fig. 1. — Résultats de la comparaison internationale de ^{75}Se obtenus avant ○ et après ● correction pour la présence des événements retardés. La valeur obtenue par l'intermédiaire des mesures du SIR est également indiquée.

Une discussion générale suit cette présentation. On remarque que la valeur moyenne figurant dans le SIR pour le ^{75}Se est très semblable à la valeur moyenne de la comparaison internationale. Il est suggéré que les valeurs individuelles de cette comparaison internationale soient incluses dans les tableaux du SIR afin d'y consigner des informations complémentaires utiles. Certains participants donnent des détails supplémentaires sur leurs mesures. D.C. Santry explique que l'attribution d'une faible incertitude à la valeur du NRC est due à deux facteurs. En premier lieu, on n'a pas essayé d'estimer l'incertitude correspondant à une non-linéarité éventuelle de la courbe ajustée sur les résultats, et deuxièmement il n'a pas été tenu compte de l'incertitude qui résulte du facteur de correction correspondant au schéma de désintégration. D. Smith explique brièvement comment on a obtenu au NPL le facteur de correction fondé sur l'application du comptage par corrélation à chaque point de mesure de l'efficacité. K. Debertain souligne que la méthode $4\pi\gamma$ est particulièrement appropriée à la mesure de l'activité du ^{75}Se puisqu'elle ne fait appel à aucun facteur de correction. Il remarque qu'il faut tenir compte des deux valeurs de la PTB, puisque deux méthodes différentes ont été utilisées. N. Coursol fait remarquer que le LPR1 a, à la fois, calculé et mesuré (par la méthode du double temps mort) le facteur de correction pour les événements retardés. Un rapport BIPM détaillé sera rédigé par G. Ratel sur la comparaison du ^{75}Se . De plus, et en parallèle, une version abrégée, plus appropriée à la publication, sera préparée.

b) Publication des résultats de comparaisons récentes

Une version condensée du rapport sur la comparaison de mesures d'activité du ^{133}Ba a fait l'objet d'une publication (*Nucl. Instrum. and Meth.*, 1992, **A316**, 318-323). La version condensée du rapport sur la comparaison de ^{109}Cd sera terminée à la fin du mois de juin 1993 sous une forme prête à être soumise pour publication dans *Nuclear Instruments and Methods*****. Un projet de version abrégée du rapport sur la comparaison de ^{125}I sera prêt dans le courant du mois de juillet 1993 et sera diffusé en sollicitant des commentaires.

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

a) Système actuel de chambres d'ionisation

Depuis la dernière réunion, au total 36 ampoules ont été reçues ; elles contenaient 14 radionucléides différents. Les laboratoires qui ont utilisé le SIR en 1992 sont plus nombreux qu'au cours des deux années précédentes. Deux nouveaux radionucléides ont été soumis, en particulier

**** *Nucl. Instrum. and Meth.*, 1994, **A345**, 289-295.

le ^{133}Xe sous forme gazeuse. Celui-ci a nécessité l'emploi d'un nouveau type d'ampoule conçu et fabriqué au NIST. Le résultat s'inscrit bien dans la courbe de l'efficacité en fonction de l'énergie du rayonnement gamma établie au cours des années. Une mesure faite sur une ampoule étalonnée de ^{85}Kr à l'état gazeux soumise par le NIST a été moins satisfaisante ; son résultat a été retiré. Une commande a été passée au NIST pour 500 ampoules à gaz, que le BIPM distribuera à la demande.

b) Extension aux émetteurs bêta avec le système à scintillation liquide

La supervision de l'extension du SIR est essentiellement la tâche d'un groupe de travail de la Section II. Après le départ en retraite de D.D. Hoppes, A. Grau Malonda a accepté la charge de coordonner les travaux de ce groupe. Les autres membres du groupe de travail, P. Cassette (LPRI), J.-J. Gostely, G. Ratel et B.R.S. Simpson, ont confirmé leur participation. La méthode proposée pour étendre le SIR a été acceptée en principe ; il s'agit de la méthode CIEMAT/NIST qui consiste à suivre l'efficacité avec le tritium. L'autre méthode qui utilise le rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR), bien que plus pratique, car on n'a pas besoin de connaître les courbes de l'affaiblissement en fonction de l'efficacité de détection, risque d'être sujette à des perturbations plus grandes s'il y a des impuretés radioactives ou des impulsions-échos dont il n'est pas tenu compte.

Une brève description de la méthode CIEMAT/NIST est donnée par A. Grau Malonda. Il n'est nécessaire de dériver une courbe d'affaiblissement pour ^3H qu'une seule fois à partir d'une série de sources de ^3H initialement identiques mais intentionnellement affaiblies par addition de petites quantités connues, échelonnées, d'un agent chimique approprié. On utilise une source gamma externe de référence (par exemple de ^{137}Cs) pour déterminer l'état d'affaiblissement de la source à mesurer et ainsi établir le facteur de mérite requis pour déduire l'activité de la source.

Pour évaluer la possibilité d'utiliser la technique de comptage par scintillation liquide, évoquée ci-dessus, le NIST a organisé une mini-comparaison internationale à laquelle ont participé six laboratoires (BIPM, CIEMAT, IAE, NAC, NIST et PTB). Les radionucléides émetteurs bêta purs à mesurer étaient le ^{14}C et le ^{99}Tc . Une série de fioles à scintillation contenant du tritium ont été distribuées avec les échantillons de ^{14}C et de ^{99}Tc . Les résultats préliminaires des six laboratoires concernés sont très encourageants. Pour le ^{14}C , les valeurs vont de 53,9 $\text{kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ à 54,3 $\text{kBq}\cdot\text{g}^{-1}$. Pour le ^{99}Tc , un laboratoire se situe à 1,6 % en dessous de la valeur moyenne des autres. La dispersion pour les cinq autres laboratoires est d'environ 1,1 %. Les désaccords trouvés avec le ^{99}Tc peuvent être dus aux différentes formes de spectre bêta choisies dans le calcul de l'efficacité effectué par chaque laboratoire.

Il reste maintenant à déterminer les caractéristiques techniques en ce qui concerne le choix d'une fiole convenable pour le comptage et le choix du scintillateur liquide.

Il est confirmé que le ^{204}Tl constitue un candidat convenable pour la prochaine comparaison internationale car elle concerne directement le SIR étendu. En conséquence, une mesure préliminaire va être organisée entre cinq ou six laboratoires ; elle devrait avoir lieu au début de l'année 1994. Le président, D. Smith, restera en contact avec le BIPM et le NIST pour ce qui concerne la préparation des ampoules de ^{204}Tl . De plus, le coordonnateur du groupe de travail (A. Grau Malonda) tiendra le président informé, au cours des prochains mois, des progrès effectués au sein du groupe de travail pour recommander un scintillateur particulier, les conditions chimiques etc., appropriés à la méthode CIEMAT/NIST pour le ^{204}Tl .

3. Rapports des groupes de travail

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

Une liste des rapports récents distribués au sein du groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences a été communiquée à la Section II (93-15).

Tout le monde est d'accord pour dire que ce groupe devrait continuer son travail, à un niveau modeste, car il agit comme un stimulant et constitue un forum utile pour la distribution et l'échange de renseignements.

b) *Bibliographie sur les temps morts* (Coordonnateur : J.W. Müller)

Une liste partielle de références pour la bibliographie sur les temps morts est distribuée à la réunion. À ce stade la liste est loin d'être complète et il est demandé de communiquer des références supplémentaires pour la fin de novembre 1993.

c) *Préparation des sources* (Coordonnateur : D.C. Santry)

Rien de marquant n'a été trouvé récemment dans les publications au sujet de la préparation des sources.

d) *Monographie sur les chambres d'ionisation* (Coordonnateur : H. Schrader)

L'idée de préparer une monographie sur les chambres d'ionisation remonte à 1985. Finalement, en 1990, H. Schrader, de la PTB, s'est aimablement chargé de cette tâche et a maintenant achevé un premier projet. Ce travail concerne essentiellement les chambres à puits pour des mesures d'activité, bien qu'à peu près tous les aspects soient couverts,

y compris des sujets annexes. Il comprend plus de 100 pages de texte, 100 figures et 500 références. Des copies vont être maintenant distribuées à un certain nombre de personnes qui ont de l'expérience dans le domaine en sollicitant leurs commentaires et des suggestions d'amélioration. Il est prévu que la version finale soit envoyée au BIPM en janvier 1994. Le BIPM se chargera de faire le nécessaire avant de publier le document comme une monographie du BIPM. Il en sera fait environ 100 copies qui seront distribuées gratuitement sur demande.

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

Les informations nécessaires pour un article sur les systèmes de détection à efficacité élevée ont été rassemblées, essentiellement grâce aux efforts du coordonnateur. Une fois achevé, le travail sera soumis pour publication dans un journal de grande diffusion. Il est convenu qu'après cela ce groupe de travail sera dissous.

f) Mesure de taux de comptage élevés (Coordonnateur : J.-J. Gostely)

Le problème des mesures à des taux de comptage élevés n'est plus considéré comme étant d'une importance majeure et d'autres priorités ont supplanté ce sujet. Une comparaison internationale de taux de comptage élevés avait été suggérée il y a quelques années ; ce projet n'a pas abouti pour diverses raisons. Le comité se met donc d'accord pour dissoudre ce groupe de travail et le président remercie J.-J. Gostely pour les efforts qu'il a déployés à la tête du groupe de travail.

g) Comparaisons futures de mesures d'activité (Coordonnateur : Á. Szörényi)

Le groupe de travail sur les comparaisons futures de mesures d'activité considère l'organisation à long terme des comparaisons internationales. Le coordonnateur collectera d'ici le mois de septembre 1993 des idées de comparaisons internationales à effectuer à l'avenir, car les recommandations et les suggestions doivent être faites à temps pour le prochain rapport d'activité du président de la section au mois de mars 1994. Il a été suggéré que les comparaisons internationales devraient être entreprises de façon plus fréquente que cela n'a été le cas dans un passé récent, car les comparaisons primaires sont essentielles pour assurer la traçabilité au niveau international. L'ensemble de la section a été d'accord, toutefois, pour souligner de nouveau qu'il est important d'effectuer une comparaison préliminaire, à titre d'essai, avant toute grande comparaison.

h) Approvisionnement groupé en radionucléides (Coordonnateur : K. Debertain)

Au cours des dernières années il a parfois été difficile de trouver du ^{139}Ce et d'autres radionucléides se désintégrant par capture électronique.

La situation s'est améliorée puisqu'il existe maintenant plusieurs fournisseurs. Pour maintenir les frais aussi bas que possible, D.F.G. Reher s'est porté volontaire pour recenser, au moyen d'un questionnaire, les besoins en nucléides de chaque laboratoire national. La liste sera ensuite distribuée aux laboratoires et constituera la base pour un approvisionnement groupé en radionucléides.

4. Travaux du Bureau international des poids et mesures

a) *Statistique de Poisson après une division* (J.W. Müller)

L'analyse de la manière dont la statistique de Poisson est modifiée par une division s'applique à la situation expérimentale où les impulsions aléatoires d'une source sont envoyées sur un diviseur, et analysées à la sortie. L'étude statistique fut à l'origine faite par J. Freycenon et il en a rendu compte en 1964 et en 1966. Ces expressions théoriques ont été contrôlées et pleinement vérifiées. Les effets d'oscillation prédits par la théorie ont été confirmés au moyen de mesures expérimentales minutieuses. Toutefois, les effets d'oscillation peuvent être fortement réduits ou même évités en choisissant convenablement l'intervalle de comptage ou le diviseur.

b) *Points d'intersection de Poisson* (J.W. Müller)

Les effets de temps mort réduisent la dispersion relative des distributions réelles de comptage, par comparaison à la distribution originelle de Poisson. Les deux points auxquels la distribution observée croise la distribution prédite par la loi de Poisson sont donnés par une expression analytique simple qui ne dépend que de la moyenne expérimentale. Un effet similaire, qui accroît la dispersion relative, se manifeste pour une source décroissante, en particulier quand la durée de la mesure devient comparable à la période. Les points d'intersection sont encore donnés par l'expression originelle. On peut montrer qu'ils sont une caractéristique de la distribution de Poisson, et non de la perturbation appliquée.

c) *Progrès de la méthode de parité* (J.W. Müller)

Pendant un intervalle de temps t , les impulsions bêta et gamma sont enregistrées séparément; il n'y a pas de canal de coïncidences. La « parité » Π est définie comme la probabilité d'observer un nombre impair d'événements pendant t . Un compteur spécial, le compteur modulo 2, est utilisé pour enregistrer des événements au cours des répétitions multiples de très courts intervalles de temps, de l'ordre de la microseconde. Une courbe de Π_{exp} en fonction du temps mort fait apparaître un écart par rapport à la linéarité. Les corrections pour le temps mort ont été calculées

pour Π jusqu'au quatrième ordre en fonction de $x = \rho\tau$, où ρ représente le taux de comptage et τ le temps mort, avec des expressions explicites pour chaque terme. Si l'on tient compte des termes jusqu'au quatrième ordre, le résultat calculé concorde avec les résultats mesurés presque exactement pour le cas des temps morts étendus. La méthode présente des avantages car elle n'exige pas de corrections pour le temps de résolution des coïncidences.

d) Méthode de Galushka (J.W. Müller)

A.N. Galushka, physicien russe, a récemment conçu un dispositif électronique qui apparemment fait la compensation, en temps réel, pour les pertes dues au temps mort. Il affirme qu'il peut être appliqué à toutes les situations et que les corrections habituelles pour les temps morts ne sont donc plus nécessaires. L'article de Galushka a été étudié au BIPM et on a analysé les bases de la méthode proposée. Bien qu'il ne convienne pas pour les coïncidences, un dispositif électronique pour mettre en oeuvre cette méthode semble être réalisable pour des événements dans un seul canal et soumis à un temps mort non étendu. Toutefois, les corrections appliquées seraient alors fortement corrélées et risqueraient des distortions aux taux de comptage élevés.

e) Incertitudes sur la mesure de τ (J.W. Müller)

La recherche sur les incertitudes sur la mesure de τ fait suite à une question posée par E. Funck (PTB) sur le calcul de l'incertitude lorsqu'on utilise la méthode des deux oscillateurs pour déterminer les temps morts. Des expressions ont été obtenues qui tiennent compte des fréquences mises en jeu et de leur nature non aléatoire. Elles présentent une analogie intéressante avec les phénomènes presque périodiques, comme par exemple le cycle de Saros pour les éclipses.

f) Mesure du ^{75}Se effectuée au BIPM (G. Ratel)

Le BIPM a utilisé la méthode de comptage par coïncidences $4\pi(e,x)-\gamma$ pour la mesure de l'activité du ^{75}Se . Une fenêtre a été aménagée pour sélectionner les rayonnements gamma correspondant au pic des photons de 401 keV. On a étudié les formules d'efficacité pour aider au choix du seuil du compteur proportionnel à pression (PPC), en s'appuyant sur la position connue des événements retardés dans le spectre des électrons. Un discriminateur électronique permet de faire varier l'efficacité et d'extrapoler pour une efficacité de 100 %. La probabilité d'émission d'électrons de conversion ce_{IL} et ce_{IM} est déterminée en déplaçant la position du seuil inférieur; la valeur obtenue est en étroit accord avec celle qui est donnée dans les publications.

5. Rapports d'activité des laboratoires membres

Les laboratoires représentés ont communiqué des rapports écrits (93-1 à 9, 93-11 à 13 et 93-16 à 19) aux personnes qui assistent à la réunion. Chaque participant présente, à son tour, un résumé de son rapport, avec plus ou moins de détails. Certains sujets d'intérêt sont repris et font l'objet de discussions à la fin de chaque présentation. Comme d'habitude, cette partie de l'ordre du jour est l'occasion d'échanges précieux d'idées et d'informations.

6. Questions diverses

a) Comparaison de nucléides à durée de vie courte

Le SIR se limite aux radionucléides dont la durée de vie dépasse quelques jours ; il n'est pas approprié pour comparer les activités relatives des nombreux nucléides à durée de vie courte qui sont importants en médecine nucléaire. Une solution à ce problème serait d'adopter un type particulier d'instrument pour la mesure de ces nucléides dans les différents laboratoires.

b) Déviation éventuelle des résultats de la comparaison internationale de ^{125}I

Au sujet des résultats de la comparaison internationale de ^{125}I , il est suggéré que dans la publication envisagée on indique que le poids attribué à la valeur de l'AECL peut fausser la valeur moyenne pondérée.

c) Prochaine réunion

Il est convenu que la prochaine réunion aura lieu en 1995, et que la date en sera déterminée en fonction de celles des autres réunions européennes qui portent sur la métrologie des radionucléides. Les détails à ce sujet seront communiqués aux intéressés dès qu'ils seront connus.

7. Visite de laboratoires du BIPM

La plupart des participants profitent de l'invitation qui leur est faite par le directeur du BIPM pour faire une visite commentée du laboratoire qui s'occupe de la conservation des étalons de masse.

8. Questions diverses

Aucune autre question n'est posée. Avant de clore la réunion, le président remercie les participants pour leurs contributions et le personnel du BIPM pour son hospitalité. Au nom du BIPM, J.W. Müller remercie le président et les participants.

L'ordre du jour étant épuisé, D. Smith déclare close la douzième réunion de la Section II du CCEMRI.

Juin 1993, révisé juillet 1994

ANNEXE R(II) 1

**Documents de travail
présentés à la 12^e réunion de la Section II du CCEMRI**

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

Document
CCEMRI (II)/

- 93-1 KRISS (Rép. de Corée).— Brief Report on Work and Projects in KRISS Radiation Laboratory, 1 page.
- 93-2 BCMN (Belgique).— Progress Report 1991-1993 on Radionuclide Metrology at the CEC-JRC, by D.F.G. Reher, 8 pages.
- 93-3 NAC (Afrique du Sud).— Review of the activities at the NAC standardization laboratory (June 1991 to March 1993), 2 pages.
- 93-4 NIST (É.-U. d'Amérique).— NIST Radioactivity Group Report 1991-1992, 3 pages.
- 93-5 PTB (Allemagne).— Review of recent work and projects (May 1991 to March 1993), 6 pages.
- 93-6 NPL (Royaume-Uni).— NPL Radioactivity Group Report 1991-3, for Section II, by D. Smith, 4 pages.
- 93-7 CIEMAT (Espagne).— Progress report in radionuclide metrology at CIEMAT in the last twelve months, by A. Grau Malonda, 4 pages.
- 93-8 OMH (Hongrie).— Progress Report on Radionuclide Metrology (1991-93), by Á. Szörényi, 3 pages.
- 93-9 IRA-OFM (Suisse).— Progress report 1991-1993 on radionuclide metrology, 2 pages.
- 93-10 IRA-OFM (Suisse).— Activity measurement of ⁷⁵Se, by J.-J. Gostely and M. Décombaz, 12 pages.

Document
CCEMRI (II)/

- 93-11 ENEA (Italie).— Summary of the most recent activities (1991-1993) at ENEA-INMRI in the field of interest of the CCEMRI Section II, 2 pages.
- 93-12 NRC (Canada).— Progress report on radionuclide metrology 1991-1993, by D. Santry, 1 page.
- 93-13 IEA (Pologne).— Report of activity in liquid scintillation technique in 1992/93, 3 pages.
- 93-14 BIPM.— Activity measurements of a ⁷⁵Se solution in the frame of an International Comparison (June 1992) – Preliminary report, by G. Ratel, 24 pages.
- 93-15 BIPM.— List of Reports distributed within the Working Party “Principles of the Coincidence Method”, by J.W. Müller, 1 page.
- 93-16 IRK (Autriche).— Summary of the research programme related to nuclide metrology for the years 1992 and 1993 at the “Institut für Radiumforschung und Kernphysik” (IRK) of the University of Vienna, Austria, by G. Winkler, 4 pages.
- 93-17 VNIIM (Russie).— Report for CCEMRI (Section II) on the work completed at VNIIM in the field of radionuclide metrology in 1991-1992, by N.I. Karmalitsyn, M.F. Yudin, A.E. Kochin, T.E. Sazonova, E.A. Frolov, E.A. Kholnova, 2 pages.
- 93-18 NIM (Rép. pop. de Chine).— Progress report on works concerning radioactivity measurements at NIM, 3 pages.
- 93-19 LPRI (France).— Progress report 1991-1992 on radionuclide metrology and projects for 1993 at LPRI, by N. Coursol, 6 pages.
-

Section III — Mesures neutroniques

10^e réunion (avril 1993)

ORDRE DU JOUR
de la 10^e réunion

1. Rapport sur les travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques.
 2. Comparaisons de débit de fluence de neutrons rapides.
 3. Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques.
 4. Comparaison de mesures de fluence spectrale.
 5. Activités futures de la Section III.
 6. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires représentés à la réunion.
 7. Visite de laboratoires du BIPM.
 8. Questions diverses.
 9. Grandeurs opérationnelles dans le domaine de la radioprotection.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION III. — Mesures neutroniques

10^e réunion (avril 1993)

RAPPORT

par E.J. AXTON et D.M. GILLIAM, rapporteurs

Résumé. La Section III (Mesures neutroniques) du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a tenu sa dixième réunion en avril 1993. On y a présenté les travaux récents effectués au BIPM dans le domaine des mesures neutroniques, les résultats d'une comparaison de mesures de fluence au moyen d'un dispositif comportant deux sphères de Bonner, résultats qui tiennent compte de mesures complémentaires effectuées au BIPM, et l'état d'avancement d'une comparaison de mesures de fluence de neutrons à 24,5 keV, actuellement en cours. Des projets y ont été discutés en vue de comparaisons internationales de mesures de fluence de neutrons thermiques et de fluence spectrale de neutrons. Les sujets d'étude de la Section III et le devenir de l'équipement du BIPM dans ce domaine ont aussi été discutés. Enfin, il y a eu un échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires des différents participants.

Ouverture de la réunion

La Section III (Mesures neutroniques)* du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI)** a tenu sa dixième réunion au Pavillon de Breteuil, Sèvres, les 19, 20 et 21 avril 1993.

* Pour la liste des membres, voir page XIII.

** Pour la liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport, voir page V.

Étaient présents :

V.E. LEWIS, président de la Section III, National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Bureau national de métrologie, Paris: Laboratoire primaire des rayonnements ionisants [LPRI], Saclay (N. COURSOL).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (K. KUDO).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (D.M. GILLIAM).

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

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

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Membre nominativement désigné :

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

Observateurs :

Commissariat à l'énergie atomique, Service de physique et technique nucléaires [CEA], Bruyères-le-Châtel (S. CRESPIN).

Institut des matériaux et mesures de référence [IMMR], Geel (E. WATTECAMPS).

Ont assisté au moins à une partie de la réunion : P. GIACOMO, directeur honoraire du BIPM; A. ALLISY, membre du CCEMRI; M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, J.W. MÜLLER et G. RATEL (BIPM); A.-M. PERROCHE (en stage au BIPM).

Excusés :

Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.
Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

J.J. BROERSE, TNO Medical Biological Laboratory [TNO-MBL], Rijswijk.

Le directeur du BIPM accueille les participants à la Section III. Il précise que cette année les trois sections ne se réuniront pas simultanément, ce qui permettra à certains participants de prendre part à la réunion de plusieurs sections s'ils le désirent. En conséquence, le CCEMRI ne tiendra sa prochaine session qu'en 1994, après avoir reçu le rapport des réunions de ses trois sections.

Le président de la Section III accueille les membres et les observateurs et tout particulièrement ceux qui assistent à cette réunion pour la première fois : K. Kudo de l'ETL et H. Klein de la PTB.

E.J. Axton et D.M. Gilliam acceptent d'être rapporteurs.

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

V.D. Huynh donne un résumé des principales activités du groupe des mesures neutroniques du BIPM depuis 1991.

a) Comparaison internationale de mesures de fluence de neutrons à 2,5 MeV et 14,7 MeV utilisant deux sphères de Bonner comme instruments de transfert

Les mesures dont il a été question lors de la réunion qui s'est tenue en 1991 ont été refaites afin de vérifier la stabilité des instruments. Des mesures complémentaires ont été faites avec des cibles plus épaisses afin d'étudier l'influence de la diffusion des neutrons dans la cible (*voir* les détails donnés ci-après en 2a).

b) Préparation et organisation de la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons à 24,5 keV

Voir en 2b) ci-après.

c) Vérification de la stabilité à long terme des étalons de référence dont dispose le BIPM

Les mesures faites à l'aide du bain de manganèse de la source Ra-Be (α, n) du BIPM font apparaître un accroissement du taux d'émission des neutrons entre 1969 et 1986 dans les proportions prévues d'après l'accumulation des produits issus du radium. Les mesures de la dose absorbée de neutrons depuis 1991 avec les chambres d'ionisation à cavité font preuve d'une bonne stabilité ; il en est de même pour le dispositif de détecteurs de particules associées utilisé pour mesurer le débit de fluence des neutrons d'énergie 2,5 MeV et 14,7 MeV.

d) Calcul par la méthode de Monte Carlo de la fonction de réponse aux neutrons et de l'efficacité du détecteur à scintillation liquide NE-213 du BIPM

On a comparé les résultats de mesures du spectre neutronique faites au moyen du détecteur à scintillation liquide à 2,5 MeV et 14,7 MeV avec les calculs effectués par la méthode de Monte Carlo ; cela a révélé des écarts aux énergies élevées que l'on pense être dus à un effet de

saturation dans les spectres mesurés. Pendant la discussion qui s'en est suivie, H. Klein a rendu compte de recherches qui ont été faites récemment à la PTB et qui font apparaître la nécessité d'utiliser des fonctions non linéaires distinctes de réponse lumineuse pour les électrons et pour diverses particules lourdes chargées. Il a constaté que l'on obtenait un excellent accord entre les résultats calculés et les réponses observées par le détecteur pour des énergies neutroniques allant jusqu'à 20 MeV. Bien que V.D. Huynh ait constaté un bon accord entre les résultats calculés et la réponse observée du détecteur pour des neutrons de 2,5 MeV, il existait des différences significatives pour les neutrons de 14,7 MeV dans les travaux effectués au BIPM. V.D. Huynh a constaté un bon accord entre les mesures de débit de fluence faites au moyen de la méthode de particules associées et les résultats de fluence spectrale intégrée obtenus avec le détecteur NE-213 aux deux énergies. Après quelques discussions et une visite du laboratoire par H. Klein, V.D. Huynh est d'accord pour dire que l'écart spectral que l'on constate dans les recherches faites au BIPM à 14,7 MeV doit être imputable à un effet expérimental au sein du système utilisé au BIPM.

2. Comparaisons de débit de fluence de neutrons rapides

a) *Comparaison à 2,5 MeV et 14,7 MeV avec des sphères de Bonner* (Coordonnateur : E.J. Axton)

E.J. Axton rappelle l'historique de cette comparaison depuis la proposition qui en a été faite en 1985 sous forme de mini-comparaison entre quatre laboratoires dans le but de vérifier une suggestion présentée par J.B. Hunt (NPL) : d'après celui-ci l'étalonnage des sphères de Bonner pourrait être effectué plus rapidement à l'aide d'un ajustement, par la méthode des moindres carrés, sur les résultats expérimentaux obtenus pour une série de distances courtes entre la cible et le détecteur, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des mesures avec un cône d'ombre. Ce protocole devrait permettre de réduire le délai dont chaque participant a besoin pour faire les mesures et par conséquent la durée totale de la comparaison.

Les objectifs de cette comparaison internationale étaient les suivants :

1) comparer les mesures de débit de fluence dans des locaux de forme et de taille différentes dans plusieurs laboratoires, et par conséquent dans des champs de neutrons diffusés différents, par comparaison des efficacités de détection de la sphère ainsi obtenues ;

2) voir s'il est possible d'obtenir des valeurs cohérentes pour l'efficacité, avec un petit nombre de mesures faites à proximité de la source de neutrons où les taux de comptage sont élevés, et sans utiliser de cône d'ombre.

E.J. Axton avait entrepris d'effectuer une analyse simultanée par moindres carrés non linéaires des quatre séries de résultats pour s'assurer qu'il avait bien été tenu compte de toutes les corrélations. À l'époque de la neuvième réunion, en 1991, les quatre séries de résultats avaient été communiquées, mais pas à temps ou pas avec suffisamment de détails, pour permettre une évaluation simultanée. Un rapport avait été présenté, rapport qui donnait un résumé 1) des mesures faites par chaque participant, 2) des différentes techniques utilisées pour déterminer la fluence des neutrons, 3) des incertitudes dont il était tenu compte et des différentes façons de les exprimer, et 4) des différences dans le traitement mathématique des résultats utilisé pour déterminer les efficacités des détecteurs pour chacune des quatre combinaisons sphère-énergie, et pour les deux méthodes (c'est-à-dire l'utilisation de cônes d'ombre et l'ajustement de polynômes par les moindres carrés, appelées respectivement méthode 1 et méthode 2).

Depuis 1991, le BIPM a fourni une nouvelle série de résultats qui comporte maintenant des corrections pour les neutrons diffusés dans la cible (93-1)***. Le dispositif de détection s'est montré stable dans la limite des incertitudes expérimentales durant toute la comparaison. Les corrections pour la diffusion dans la cible sont établies de façon expérimentale. À 2,5 MeV l'accord entre les deux méthodes est bon. À 14,6 MeV on estime que le modèle polynomial n'est plus valable pour la petite sphère à cause de facteurs dus 1) aux sources de neutrons secondaires provenant de l'aimant analyseur et de divers diaphragmes, 2) à la petite taille du laboratoire, 3) au fait que la réponse de la petite sphère aux neutrons parasites croît par rapport à sa réponse aux neutrons du faisceau direct. Des problèmes du même genre se produisent, dans une moindre mesure, avec la grande sphère, bien que dans ce cas-là l'accord entre les deux méthodes soit raisonnable.

Il n'y a aucune autre modification aux résultats communiqués lors de la dernière réunion. Le calcul de la valeur moyenne pondérée de l'efficacité à l'aide de l'inverse de la matrice des covariances pour chacune des quatre combinaisons sphère-énergie de neutrons a été refait avec les nouveaux résultats (93-2). On trouvera sur la figure 1 les résidus exprimés en pourcentage des valeurs mesurées, par rapport à la moyenne pondérée par covariance inversée pour chaque combinaison sphère-énergie.

La principale source de corrélation réside dans l'incertitude sur les mesures de débit de fluence. C'est la raison pour laquelle les résultats, dans les groupes de mesures de la même fluence par quatre procédés (deux sphères et deux méthodes), sont très fortement corrélés. Il en résulte que la figure peut donner l'impression que l'accord est meilleur qu'il n'est, compte tenu de ce que les barres d'erreurs représentent l'incertitude composée (niveau de confiance de 68 %).

*** 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 93-1, 93-2, etc.

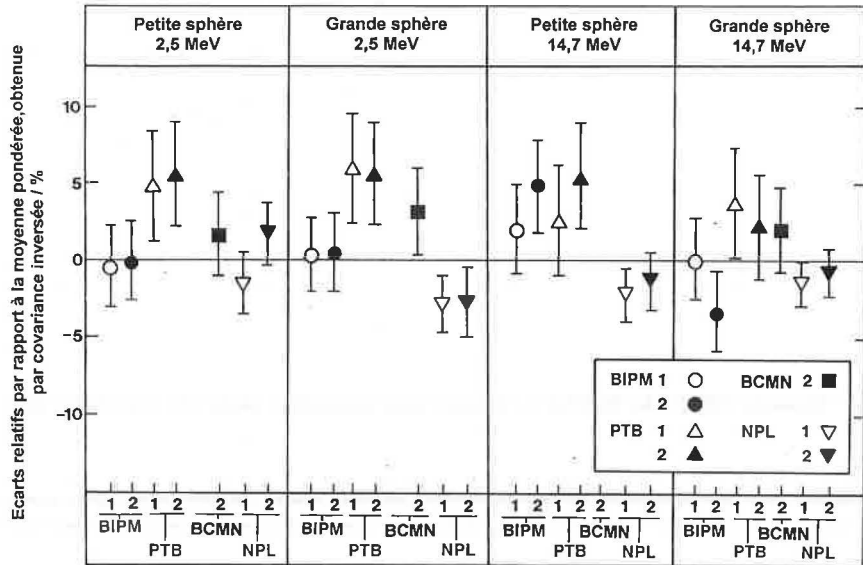


Fig. 1. — Résultats de la comparaison de mesures de débit de fluence à 2,5 MeV et 14,7 MeV.

Méthode 1 : avec cônes d'ombre,

Méthode 2 : avec ajustement par moindres carrés.

À la suite du résultat des nouvelles mesures du BIPM l'accord général entre les participants s'est amélioré. Il est encourageant de savoir que le dispositif de détection est demeuré stable tout au long des quatre années sur lesquelles s'est étendue la comparaison. Entre le NPL et le BIPM l'accord obtenu est assez bon. Les résultats des mesures de l'IMMR (anciennement BCMN) et de la PTB ont des valeurs un peu plus élevées. On peut vraisemblablement imputer ces différences au problème des neutrons diffusés dans la cible. Les corrections du NPL et du BIPM sont déterminées de façon expérimentale ; elles sont fondées sur l'ajustement selon une droite d'un effet qui n'est peut-être pas linéaire, avec seulement deux points et une extrapolation à 100 %. Les corrections de la PTB sont obtenues uniquement à partir de calculs du type Monte Carlo. Une comparaison est en cours entre, d'une part la fluence spectrale des neutrons diffusés par la cible, obtenue par le calcul, et d'autre part les résultats expérimentaux obtenus en se servant de la technique du temps de vol. La PTB va profiter de la comparaison de mesures de débit de fluence à 24 keV pour refaire les mesures à 2,5 MeV et à 14,7 MeV et ainsi élucider les raisons des désaccords constatés. H. Klein accepte de calculer les corrections pour le NPL et le BIPM avec le même

programme suivant la méthode de Monte Carlo. V.D. Huynh et V.E. Lewis communiqueront à la PTB les détails de la configuration de leur cible.

Il est clair que le modèle polynomial sans mesures avec cône d'ombre n'est pas valable pour le BIPM, bien que selon toute vraisemblance cela soit plus imputable à la présence de sources neutroniques secondaires qu'à la petite taille du laboratoire. On peut sans doute améliorer la situation en installant un blindage supplémentaire. Certains participants ont indiqué qu'ils préfèrent la méthode du cône d'ombre et l'un d'eux estime que celle-ci est plus rapide.

b) Comparaison à 24,5 keV avec des sphères de Bonner (Coordonnateur : V.D. Huynh)

Avant la réunion un protocole a été préparé par le groupe de travail (V.E. Lewis, R. Jahr et V.D. Huynh) et communiqué à tous les intéressés. Ce protocole donne une description des champs de neutrons et des énergies dont on dispose, avec les précautions à prendre pour assurer la stabilité de l'instrument de transfert proposé ; il précise aussi les détails expérimentaux et les résultats qui devront être communiqués à la personne qui sera chargée de l'évaluation.

V.D. Huynh présente l'état d'avancement de l'organisation et de la préparation de la comparaison. On y utilisera le même dispositif de sphères que celui qui a été utilisé lors de la précédente comparaison a). Le BIPM a conçu et construit une sphère en polyéthylène, de 200 mm de diamètre, dans laquelle on peut introduire une source neutronique de Am-Be de 0,1 Ci (3,7 GBq) afin de produire un champ neutronique stable utilisable dans un montage de contrôle. Cela permet de vérifier la stabilité du système des sphères de Bonner pendant toute la durée de la comparaison.

On avait espéré commencer la comparaison vers la fin de 1992 avec des mesures au VNIIM en utilisant un champ de neutrons de Sb-Be. Malheureusement, en dépit d'efforts répétés de la part du BIPM, aucune nouvelle du VNIIM n'a été reçue depuis le mois de septembre 1992. En conséquence, le jeu de sphères a été envoyé au NIST pour que des mesures soient faites dans le faisceau filtré du réacteur dans le deuxième trimestre (avril à juin) de 1993. Le tableau 1 donne à titre indicatif le déroulement prévu pour cette comparaison. On espère que le VNIIM sera en mesure d'y prendre part au plus tard en 1995.

H. Klein recommande d'utiliser des fonctions de réponse calculées pour faciliter les corrections spectrales. Pour cela les récents calculs faits à la GSF (M. Mares *et al.*) peuvent être utilisés, bien que ces calculs soient fondés sur une modélisation très simple du système de détection. H. Klein suggère de recalculer les fonctions de réponse pour les trois sphères utilisées pour la comparaison à 24 keV, en se servant de la modélisation améliorée qui est employée à la PTB. V.E. Lewis

TABLEAU 1

*Prévision du déroulement d'une comparaison internationale
de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV*

Laboratoire	Époque des mesures	Champ neutronique
NIST	avril-juin 1993	faisceau filtré du réacteur
IAE	automne 1993	faisceau filtré Sb-Be
PTB	printemps 1994	faisceau filtré ⁴⁵ Sc(p,n) ⁷ Li(p,n)
NPL	automne 1994	⁴⁵ Sc(p,n) Sb-Be
ETL	1994 ou 1995	⁴⁵ Sc(p,n)

s'engage à communiquer à la PTB les détails concernant les dessins de construction des sphères et la masse volumique du polyéthylène. En principe, l'IMMR est désireux de prendre part à cette comparaison en utilisant un champ neutronique produit par la réaction ⁷Li(p,n). Des essais sont en cours sur une couche de lithium revêtue d'une mince couche d'or pour assurer la stabilité. La PTB envisage d'utiliser la même réaction productrice de neutrons mais avec une cible en LiH. V.D. Huynh continuera à coordonner cette comparaison internationale jusqu'à son départ en retraite au cours de l'été 1995 ; il est peu probable qu'il soit encore là pour procéder à l'évaluation des résultats. Il devrait être possible de trouver une personne compétente pour effectuer cette évaluation dans le personnel de l'un ou l'autre des laboratoires participants. Il faudra quelqu'un qui ne soit pas directement concerné par les mesures et qui soit conscient de la nécessité de préserver la neutralité fondamentale de la comparaison. Il est convenu que cette question sera revue lors de la prochaine réunion, en espérant qu'elle aura lieu avant le départ en retraite de l'actuel coordonnateur.

c) Analyse de la comparaison utilisant la réaction ¹¹⁵In(n,n') à 14,8 MeV (Coordonnateur : H. Liskien)

L'analyse préliminaire des résultats de la comparaison utilisant la réaction ¹¹⁵In(n,n') à 14,8 MeV a fait apparaître de grandes différences entre les résultats des laboratoires participants. On sait que ces différences sont imputables aux effets dus aux interactions dans les cibles, effets auxquels cette réaction est très sensible, plutôt qu'à des erreurs dans les mesures primaires de fluence. La comparaison concurrente fondée sur

l'activation du niobium ne fait pas apparaître de telles différences. H. Klein indique que, bien que le programme de la PTB soit disponible pour calculer les corrections appropriées, des informations essentielles manquent concernant la configuration de certaines cibles. Dans certains cas les corrections seraient très grandes et ne pourraient pas être calculées avec une exactitude suffisante. Comme les mesures remontent à douze ans, il est convenu de ne pas consacrer davantage d'efforts à cette comparaison.

3. Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques

D.M. Gilliam, du NIST, présente la proposition d'une nouvelle comparaison de mesures de fluence de neutrons thermiques, dans laquelle l'accent serait mis sur la géométrie du faisceau et qui se ferait à des débits de fluence supérieurs à ceux qui furent utilisés lors de la comparaison de 1966-1968. Une copie de cette proposition et de la lettre de couverture qui ont été adressées, le 31 mars 1993, aux participants à la Section III sont données dans le document 93-12. Le NIST se propose de fournir une série de chambres d'ionisation à ^{10}B comme instruments de transfert pour la comparaison. L'ETL, le NPL, la PTB et le VNIIM ont déjà fait part de leur intention d'y participer ; confirmation sera donnée lorsque le protocole sera défini. D'autres laboratoires risquent encore de manifester leur intérêt lorsque les consultations seront plus avancées entre les laboratoires nationaux participants et d'autres laboratoires dans leurs pays respectifs.

Dans un message envoyé par télécopie (93-14) qui est parvenu juste avant la réunion, I.A. Kharitonov (VNIIM) estime qu'un plus grand nombre de laboratoires nationaux serait en mesure de participer directement à la comparaison si celle-ci comportait une géométrie intermédiaire entre les champs de diffusion quasi isotrope, qui ont caractérisé la comparaison de 1966-1968, et la géométrie du faisceau que préconise D.M. Gilliam. Le champ à géométrie intermédiaire proposé serait un champ de neutrons thermiques, à 300 mm d'une sphère en polyéthylène de 192 mm de diamètre, produit par une source de ^{252}Cf en son centre. Les parcours des neutrons dans ce champ seraient compris à l'intérieur d'un cône ayant un demi-angle au sommet de 18 degrés. Cet angle de collimation conviendrait tout à fait avec les chambres de transfert proposées et la géométrie présentant une ouverture de 40 mm comme le propose le NIST. D.M. Gilliam accueille favorablement cette suggestion et en discutera avec les autres participants éventuels pour établir le protocole de la comparaison.

H. Klein fait part des suggestions de M. Matzke de la PTB qui pense que la grandeur dont il est question dans la comparaison doit être le débit de fluence à $2\,200\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, et qu'il doit être donné autant de

renseignements que possible sur le spectre neutronique utilisé. Il estime aussi que, dans la mesure du possible, les participants doivent indiquer la fluence intégrale des neutrons au-dessous de la coupure du cadmium. D.M. Gilliam tiendra compte de ces suggestions en préparant le protocole.

On espère que cette nouvelle comparaison débutera d'ici deux à quatre ans.

E.J. Axton estime qu'il serait opportun d'ajouter à la comparaison expérimentale une nouvelle évaluation simultanée des données concernant les sections efficaces utilisées dans les déterminations de flux de neutrons thermiques (93-3). D.M. Gilliam discutera de cette suggestion avec A. Carlson, qui fait partie du Groupe de travail sur l'évaluation des sections efficaces, et en rendra compte à V.E. Lewis et E.J. Axton.

4. Comparaison de mesures de fluence spectrale

H. Klein présente une proposition préliminaire de comparaison, sous l'égide du CCEMRI, de mesures de fluence spectrale portant sur une série de sources transportables.

Cette série pourrait inclure des sources de ^{252}Cf nu, de Cf avec modérateur D_2O , d'Am-Be, d'Am-B, et une combinaison « inconnue » source-écran-modérateur. Les taux d'émission absolus des sources radioactives seraient déterminés au NPL par la méthode du bain de manganèse. Les laboratoires participants pourraient déterminer les débits de fluence spectrale absolus.

H. Klein fait un tour d'horizon des activités récentes au sein des laboratoires européens sur les sphères de Bonner, les compteurs proportionnels à protons de recul et les détecteurs à scintillation liquide NE-213. Il expose aussi l'intérêt que le Groupe de travail 7 d'EURADOS porte aux problèmes de champs « réels » d'étalonnage. Le document 93-13 comprend les copies des transparents qu'il a utilisés pour cette discussion.

H. Klein accepte de diffuser un questionnaire**** ayant pour but de rassembler les opinions des éventuels participants en ce qui concerne l'intérêt, les débits de fluence demandés, les préférences, les problèmes d'emballage et d'acheminement, les options alternatives. Il est demandé aux participants d'envoyer leur réponse avant le mois de septembre 1993. D.M. Gilliam se charge de prendre contact avec les éventuels participants américains, en particulier avec Battelle PNL (L.W. Brackenbush) et Aberdeen Proving Grounds (C. Heinbach).

**** Il a été ultérieurement décidé de reporter l'envoi de ce questionnaire après la réunion du Groupe de travail 7 d'EURADOS en septembre 1993.

5. Activités futures de la Section III

V.E. Lewis signale que lui-même et R. Jahr ont présenté au CCEMRI le rapport de la dernière réunion de la Section III. Le CCEMRI a soumis au CIPM une recommandation selon laquelle il faudrait que « le BIPM étudie l'instrumentation nécessaire pour la mesure des spectres de neutrons et étudie les moyens d'effectuer des comparaisons dans ce domaine ». Cette recommandation n'a pas été retenue par le CIPM lors de sa session de 1991. Celui-ci a demandé un document sur l'orientation future des travaux dans le domaine des rayonnements ionisants au BIPM. T.J. Quinn indique qu'il a préparé une note qu'il a communiquée, en un premier temps, aux membres du CIPM qui font partie de laboratoires nationaux actifs en métrologie neutronique pour avoir leurs commentaires ; elle a été aussi envoyée au président de la Section III.

Cette note fait l'historique des travaux effectués au BIPM en métrologie neutronique et envisage la situation du personnel après les départs en retraite qui doivent avoir lieu dans les toutes prochaines années. Elle conclut que, dans l'intérêt à long terme du programme de la section des rayonnements ionisants au BIPM, le mieux sera de mettre en oeuvre la décision, prise par le CIPM en 1985, de reporter les ressources consacrées aux travaux sur les neutrons sur les travaux concernant les rayons x et γ . Bien qu'à regret, le CIPM a approuvé cette manière de voir et il a été décidé de ne pas poursuivre les travaux sur les neutrons au BIPM après le départ en retraite de V.D. Huynh et de son technicien L. Lafaye en 1995. Les postes correspondants seront consacrés aux travaux effectués dans le domaine des rayons x et γ afin d'en assurer la continuité après le départ futur de Mme Perroche, stagiaire de longue date du SCPRI.

T.J. Quinn précise que les principales raisons de cette décision sont les suivantes : l'absence de comparaisons dans un avenir prévisible aux énergies dont dispose le BIPM, la non-utilisation des installations et des étalons du BIPM par des pays autres que ceux qui sont représentés à la Section III, et le choix entre avoir deux groupes, comprenant chacun un physicien et un technicien, l'un dans le domaine des neutrons et l'autre dans celui des photons, ou avoir un groupe unique, plus étoffé et plus viable, seulement dans le domaine des photons. Il exprime sa satisfaction et celle du CIPM pour le travail et les résultats obtenus par V.D. Huynh et L. Lafaye pendant de longues années.

Au nom de la Section III, V.E. Lewis rend hommage au travail de V.D. Huynh et L. Lafaye qui a constitué une contribution de premier plan à l'amélioration de l'exactitude en métrologie neutronique. Le BIPM a de façon constante fourni des résultats de la plus haute qualité et de la plus grande cohérence dans les nombreuses comparaisons internationales auxquelles il a participé. L'interruption des travaux du

BIPM dans ce domaine portera un coup sérieux aux activités de la Section III. Il restera le problème de l'organisation et de l'analyse des futures comparaisons, y compris celle qui vient de commencer. Il faut toutefois reconnaître que, dans le passé, certaines comparaisons ont été analysées par des physiciens appartenant à des laboratoires participants. On estime qu'un tel problème devrait pouvoir être résolu d'une façon qui préserve le caractère fondamentalement neutre du travail demandé.

T.J. Quinn souligne que l'existence même de la Section III ainsi que le travail dans les autres domaines des rayonnements ionisants au BIPM ne sont pas remis en question. La section constate qu'il y a très peu de chevauchement entre les domaines couverts par les trois sections du CCEMRI, bien que toutes concernent la métrologie des rayonnements ionisants. Certaines applications en métrologie neutronique font appel à des mesures de radioactivité et de dose de photons dans des champs mixtes, mais les problèmes et les équipements dans les domaines des trois sections sont entièrement différents.

La discussion porte ensuite sur ce que deviendront les installations du BIPM. L'accélérateur de 150 kV et le bain de manganèse vont continuer à fonctionner jusqu'en 1995. Il n'est donc pas nécessaire de prendre une décision maintenant. La législation européenne exige que le BIPM se débarrasse des sources de référence de neutrons de type radioactif et cela sera très coûteux. D.M. Gilliam indique que le NIST serait éventuellement prêt à en faire l'acquisition et à en assumer les frais de transport ; il est convenu que cette option sera examinée.

Au cours des dernières années, plusieurs ensembles d'instruments ont été spécialement étudiés en tant qu'étalons de référence à l'occasion de comparaisons organisées sous les auspices de la Section III. Il avait été envisagé que le BIPM fasse éventuellement l'acquisition de cette collection, mais il n'en possède jusqu'ici que deux. Le système de sphères de Bonner a été utilisé pour des comparaisons de mesures de fluence à 2,5 MeV et 14,7 MeV. C'est ce système qui circule actuellement pour la comparaison à 24,5 keV. Les sphères ont été fabriquées par le NPL et spécialement offertes au BIPM, qui a fourni le compteur à ^3He . Il semble raisonnable que le NPL en reprenne possession lorsque l'actuelle comparaison sera terminée, dans deux ou trois ans, et les conserve pour les mettre à la disposition d'autres utilisateurs. L'ensemble à conserver devrait comprendre aussi le compteur à ^3He qui lui est associé. Les chambres d'ionisation utilisées dans les comparaisons de mesure de la dose absorbée resteront au BIPM où elles pourront être conservées et périodiquement étalonnées dans un champ de photons par le groupe de dosimétrie des rayons x et γ , afin d'être utilisables par d'autres laboratoires.

Les chambres à fission de ^{235}U et ^{238}U utilisées lors de la comparaison organisée par D.B. Gayther sont encore aux mains de leur propriétaire, Harwell Laboratory, qui a refusé d'en faire don au BIPM. H. Klein indique que la PTB aimerait bien acheter ces détecteurs pour certaines mesures, dont des mesures de temps de vol, et pour les utiliser à des

énergies allant jusqu'à 100 MeV. La PTB conserverait ces chambres et serait prête à les mettre à la disposition d'autres laboratoires dans le cadre des activités de la Section III. Les participants sont heureux de cette information et il est convenu que le président écrira à Harwell au nom de la Section III afin de savoir si ces chambres sont encore à vendre.

Le système constituant l'étalon de référence niobium-zirconium n'est pas encore installé au BIPM. Le détecteur Ge(Li) du NPL, du type à puits, étalonné en 1981 lors de la comparaison de mesures de fluence de 14 MeV à 15 MeV, est resté au NPL où il a été utilisé dans la section des mesures de radioactivité. L'étalon est encore disponible pour des mesures neutroniques mais il n'a pas été demandé à cet effet par d'autres laboratoires depuis plusieurs années.

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

Un échange d'informations très intéressant s'est déroulé, comportant un bref résumé des travaux en cours dans leur laboratoire respectif donné par K. Kudo, H. Klein, V.E. Lewis, S. Crespin, E. Wattecamps et D.M. Gilliam.

7. Visite de laboratoires du BIPM

Les participants ont visité les laboratoires du BIPM chargés de l'étalonnage des masses et des travaux de gravimétrie.

8. Questions diverses

Il est convenu que le président diffusera tous les neuf mois un rapport donnant l'état d'avancement des comparaisons internationales en cours et de la mise en oeuvre des décisions prises à la présente réunion. Il sera utile aussi de diffuser la liste des participants, avec leur adresse, leurs numéros de téléphone et de télécopie et, le cas échéant, leur adresse de courrier électronique.

Le président signale que E.J. Axton achèvera son service auprès de la Section III après la rédaction du rapport de la présente réunion. V.E. Lewis lui exprime la gratitude de la section pour les quelque trente années de service qu'il a assurées auprès du CCEMRI, dont près de vingt comme rapporteur des réunions de la Section III ; il le remercie aussi pour avoir achevé les travaux du Groupe de travail sur les méthodes de transfert de mesures de fluence disponibles en permanence et à long terme.

Le président remercie tous les participants et exprime sa gratitude au personnel du BIPM pour son hospitalité.

9. Grandeurs opérationnelles dans le domaine de la radioprotection

Suite à une demande du CIPM, les Sections I et III ont tenu une réunion conjointe, le 21 avril 1993, sur un sujet d'intérêt mutuel. Le sujet avait été choisi après discussion, en 1992, par les deux présidents. Ils avaient invité A. Allisy, président de l'ICRU, à présenter les grandeurs fondées sur l'équivalent de dose. Lors de la réunion, les différentes définitions ont été expliquées, y compris celles qui ont été introduites récemment par l'ICRP et les grandeurs opérationnelles introduites antérieurement. Les valeurs calculées pour les facteurs de conversion de la fluence en équivalent de dose, fondées sur la recommandation pour le calcul du facteur de qualité à partir du transfert d'énergie linéique, ont été présentées aussi bien pour les champs de neutrons que pour ceux des photons et pour un grand domaine d'énergies. Les difficultés rencontrées dans la mise en oeuvre des propositions de l'ICRP ont fait l'objet d'une discussion. L'ICRU n'accepte pas le concept de w_R , facteur de pondération du rayonnement, qui est déterminé seulement d'après le type et l'énergie du rayonnement incident. L'ICRU et l'ICRP créeront un comité commun pour résoudre le problème.

À la suite de cet exposé aux perspectives étendues, V.E. Lewis, K. Kudo et H. Klein ont chacun fait une brève présentation des mesures et des services offerts en métrologie neutronique à l'ETL, au NPL et à la PTB dans le domaine de la protection contre les rayonnements. Un large échange de vues a terminé la réunion.

Juin 1993, révisé septembre 1993

ANNEXE R(III) 1

**Documents de travail
présentés à la 10^e réunion de la Section III du CCEMRI**

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

Document
CCEMRI (III)/

- 93-1 BIPM.— BIPM participation in an international comparison of neutron fluence measurements using two Bonner spheres as transfer instruments, by V.D. Huynh and L. Lafaye, 1992, 13 pages.
- 93-2 Report on the intercomparison of neutron fluence using two Bonner spheres as transfer instruments, by E.J. Axton, 6 pages.
- 93-3 A proposal for the re-evaluation of the existing thermal neutron capture cross section compilations, by E.J. Axton, 1 page.
- 93-4 ETL (Japon).— Recent Activities on Neutron Standardization at the Electrotechnical Laboratory, by K. Kudo, N. Takeda and A. Fukuda, 1 page.
- 93-5 ETL (Japon).— Determination of Neutron Energy using ³He Proportional Counter Calibrated by 2.413 MeV d+D Standard Neutron Field, by N. Takeda and K. Kudo, 6 pages.
- 93-6 ETL (Japon).— Lower Sift of ³He Recoil Edge in Pulse Height Distribution of ³He Proportional Counter, by N. Takeda and K. Kudo, 4 pages.
- 93-7 ETL (Japon).— Calculational Study of New Type of Neutron Spectrometer for Intermediate Neutron Energy Region, by K. Kudo, N. Takeda and A. Fukuda, 5 pages.

Document
CCEMRI (III)/

- 93-8 ETL (Japon).— A Measurement of Gas Multiplication Depending on the Position along the Cylindrical Axis of a ^3He Proportional Counter using a Collimated Thermal Neutron Beam, by N. Takeda and K. Kudo, 7 pages.
- 93-9 ETL (Japon).— Comparison of Experimental and Calculated Response Functions of ^3He Gas Proportional Counter at Neutron Energy of 2.413 MeV, by K. Kudo, N. Takeda and A. Fukuda, 5 pages.
- 93-10 ETL (Japon).— Neutron and γ -ray Energy Spectra in a Thermal Neutron Field, by K. Kudo, N. Takeda and A. Fukuda, 5 pages.
- 93-11 LPRI (France).— Progress report 1993, 1 page.
- 93-12 NIST (É.-U. d'Amérique).— Proposal for a New Comparison of Thermal Neutron Fluence Measurements, by D.M. Gilliam, 6 pages.
- 93-13 PTB (Allemagne).— Comparison of spectral neutron measurements, by H. Klein, 2 pages.
- 93-14 Lettre du 14 avril 1993 de I.A. Kharitonov, chef du laboratoire de mesure des rayonnements ionisants au VNIIM (Féd. de Russie) à D.M. Gilliam, NIST (É.-U. d'Amérique), 1 page.
-

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

MEETING OF 1994

Note on the use of the English text

To make its reports and those of its various Comités Consultatifs more widely accessible the Comité International des Poids et Mesures has decided to publish an English version of these reports. Readers should note that the official record is always that of the French text. This must be used when an authoritative reference is required or when there is doubt about the interpretation of the text.

Note sur l'utilisation du texte anglais

Afin de faciliter l'accès à ses rapports et à ceux des divers Comités consultatifs, le Comité international des poids et mesures a décidé de publier une version en anglais de ces rapports. Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.

THE BIPM AND 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 m²) 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 the BIPM is to ensure world-wide 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 the 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 of electricity (1927), photometry (1937), ionizing radiations (1960), to time scales (1988) and to amount of substance (1993). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929; new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories, in 1984 for the laser work and in 1988 a new building for a library and offices was opened.

Some forty physicists or technicians work in the BIPM laboratories. They mainly conduct metrological research, international comparisons of realizations of units and the

* As of 31 December 1994, forty-eight States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czech Republic, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep. of), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Russian Federation, Singapore, Slovak Republic, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela.

verification of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in the Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures gives the details of the work in progress.

In view of the extension of the work entrusted to the BIPM, the 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*, 1963, 31, 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 nine 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 (CCP) 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 γ rays, electrons), Section II (Measurement of radionuclides), Section III (Neutron measurements), Section IV (α -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II was 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.
9. The Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM), set up in 1993.

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 updated, 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 the CIPM.

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of the 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.

Comité International des Poids et Mesures

Secretary
J. KOVALEVSKY

President
D. KIND

MEMBERS
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

President : J. VANIER, Member of the Comité International des Poids et Mesures ; Director General, Institute of National Measurement Standards, National Research Council of Canada, Ottawa.

Members :

The Chairman of Section I.

The Chairman of Section II.

The Chairman of Section III.

A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements.

G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

A. DUTREIX, University Hospital St-Rafael, Leuven.

A.M. KELLERER, Institut für Strahlenbiologie, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Neuherberg.

G.F. KNOLL, University of Michigan, Ann Arbor.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM].

SECTION I. *X and γ rays, electrons*

Chairman : J.-P. SIMOËN, Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, Saclay.

Members :

AUSTRALIAN RADIATION LABORATORY [ARL], Yallambie.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay.

D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY [VNIIM], Saint-Petersburg.

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS [ICRU].

NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY [NIM], Beijing.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA [NRC], Ottawa.

NEDERLANDS MEETINSTITUUT [NMI/VSL], Bilthoven.

ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

POLSKI KOMITET NORMALIZACJI, MIAR I JAKOŚCI [PKNM], Warsaw.

SWEDISH RADIATION PROTECTION INSTITUTE [SRPI], Stockholm.

A. BROSED, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM].

SECTION II. *Measurement of radionuclides*

Chairman : K. DEBERTIN, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.*

Members :

AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION [ANSTO], Menai.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay.

* K. Debertin replaced D. Smith, National Physical Laboratory, Teddington, as Chairman of Section II in 1994.

D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY [VNIIM], Saint-Petersburg.
NATIONAL ACCELERATOR CENTRE [NAC], Faure.
NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY [NIM], Beijing.
NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST],
Gaithersburg.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.
NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA [NRC], Ottawa.
ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], Budapest.
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.
J.-J. GOSTELY, Institut de Radiophysique Appliquée [IRA-OFM],
Lausanne.
G. WINKLER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik [IRK], Vienna.
The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM].

SECTION III. *Neutron measurements*

Chairman : V.E. LEWIS, National Physical Laboratory, Teddington.

Members :

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris: Laboratoire Primaire des
Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay.
D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY [VNIIM], Saint-Petersburg.
ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.
NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY [NIM], Beijing.
NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST],
Gaithersburg.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.
E.J. AXTON, Chairman of the Working Group on fluence-measurement
transfer methods.
J.J. BROERSE, Institute of Applied Radiobiology and Immunology [ITRI-
TNO], Rijswijk.
The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM].

AGENDA
for the 13th Meeting

1. Reports of the three sections of the CCEMRI and related BIPM work.
 2. Programme for future work.
 3. Report to the Conférence Générale des Poids et Mesures.
 4. Meetings of the sections of the CCEMRI and membership of the CCEMRI.
 5. Other business.
-

REPORT
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

(13th Meeting — 1994)
TO THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by V.E. LEWIS, Rapporteur

Abstract. The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its thirteenth meeting in April 1994. Reports were presented from the three Sections: I (X and γ rays, electrons), II (Measurement of radionuclides) and III (Neutron measurements). Section I reported on comparisons of air kerma standards and absorbed dose to water standards, and discussed work on standards for radiation protection, brachytherapy and radiation processing. Section II described comparisons of radionuclides and the extension of the Système International de Référence to pure beta emitters. The activities of working groups were also described. Section III reviewed progress on comparisons of thermal neutron and spectral fluence measurements. Staff members of the BIPM reported on some of their recent work. Future work and membership of the committee were discussed, and dates for the next meetings of its sections were agreed.

Introduction

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)* held its thirteenth meeting at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres, on 12 and 13 April 1994.

* See the list of acronyms on page V.

Present:

- A. ALLISY, International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU].
- G. DIETZE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.
- J.-P. SIMOËN, Chairman of Section I; Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay.
- K. DEBERTIN, Chairman of Section II; Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.
- V.E. LEWIS, Chairman of Section III; National Physical Laboratory [NPL], Teddington.
- The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Also attending the meeting were: P. GIACOMO, Director Emeritus of the BIPM, M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, J. MONPROFIT, J.W. MÜLLER and G. RATEL [BIPM]; A.-M. PERROCHE (guest worker at the BIPM).

In the absence of Dr Vanier, President of the CCEMRI, who could not attend for health reasons, Dr Quinn chaired the meeting.

Regrets were received from Prof. A. Dutreix, Prof. A.M. Kellerer and Prof. G.F. Knoll who were unable to attend.

Dr Quinn, as chairman, opened the meeting by welcoming the committee members and the BIPM staff.

The draft agenda was approved. Dr Lewis was appointed rapporteur.

1. Reports of the three sections of the CCEMRI and related BIPM work

Each Chairman summarized his section's activities and the BIPM staff presented selected topics from the work performed in the ionizing-radiations laboratory.

Section I — X and γ rays, electrons (Chairman: J.-P. Simoën)

Dr Simoën presented the report on the activities of Section I (X and γ rays, electrons) which had held its eleventh meeting in April 1993. That meeting started with a half-day session held jointly with Section III during which Prof. Allisy gave a lecture on operational quantities for radiation protection dosimetry. This included a comprehensive review of the quantities considered for monitoring and estimating radiological risk,

and a discussion of problems relating to their measurement. Prof. Allisy pointed out that much had been done in recent years to establish suitable means of calibration in terms of these quantities, but that problems remained, particularly in neutron metrology.

During the Section I meeting, work relating to the comparison of standards was reported by the BIPM. Four comparisons of air kerma standards had been carried out, one for medium-energy x rays and three for ^{60}Co γ rays. Secondary standards from five countries and the IAEA had been calibrated in terms of air kerma for x rays of low and medium energy, and for ^{60}Co γ rays. Transfer chambers and thermoluminescent dosimeters had been calibrated in terms of absorbed dose to water for ^{60}Co γ rays.

Comparisons of standards of air kerma, absorbed dose to graphite and absorbed dose to water between national laboratories were also reported for ^{60}Co γ rays. A comparison of primary standards of absorbed dose to water involving five laboratories and four different techniques gave good agreement for ^{60}Co radiation, but wider deviations for high-energy photons. The report of an Asia/Pacific x-ray comparison was presented.

The determination of the correction factors necessary for the measurement of air kerma using ionization chambers was discussed and further investigations were considered necessary. The working group concerned had been asked to report back on the uncertainties associated with some of the quantities required for the measurement of absorbed dose to graphite, exposure and air kerma.

Values of C_{λ}^k , converting air kerma to absorbed dose in water, determined experimentally at the BIPM, were considered to be in acceptable agreement (within 1 %) with values calculated using the IAEA code of practice. Similar comparisons by others support the general conclusion that the IAEA code gives good agreement with measurements based on standards of absorbed dose to water.

The important issue of primary standards of absorbed dose to water was discussed. The NIST reported on studies of heat defect using a sealed water calorimeter that is used for the direct measurement of absorbed dose.

Beam quality specification is a problem for the measurement of high-energy photon radiation as beam filtration has a significant effect on ionization chamber response. The NPL reported measurements and the NRC made reference to a relevant paper. The use and comparison of Monte-Carlo codes employed for the calculation of instrument responses and correction factors was discussed.

The use of ^{137}Cs calibration sources for the realization of standards for radiation protection is widespread in the national standards laboratories and the IAEA SSDL network. A working party was set up to decide the optimum conditions for a ^{137}Cs beam at the BIPM and to organize a small-scale comparison. It was considered that experiments using the ^{137}Cs beam could be performed within one or two years.

Work at the NIST on standards for brachytherapy was reported. Work is due to begin at the PTB and the LPRI in 1995, and there is interest in EUROMET. Air-kerma measurements for brachytherapy-type sources at the BIPM will use the ^{137}Cs beam. Programmes on standards for radiation processing at the IAEA and the NIST were also reported.

Following Dr Simoën's presentation, Madame Perroche reported on participation in comparisons and development of the BIPM ^{60}Co and ^{137}Cs beam facilities. Madame Boutillon gave the results of the experimental determination of C_λ for various types of transfer chamber.

In the discussions that followed these presentations, Prof. Allisy expressed his satisfaction with the work at the BIPM. He noted a consensus that absorbed dose to water for ^{60}Co will gradually replace kerma in air and that standards for higher-energy x rays will become more important. He suggested that the BIPM should become involved in the high-energy x ray work and develop a simple, reliable system for use in comparisons between laboratories. A recommendation that this issue should be addressed at the next Section I meeting had the widespread support of the CCEMRI.

Prof. Dietze commented on the strong energy dependence of the conversion factor for air kerma on operational quantities at low energies and pointed out that it is not, therefore, a simple matter to compare the calibration factors of different laboratories as there are scattered components in the photon fields. It is important to standardize radiation conditions.

Section II — Measurement of radionuclides (Chairman: K. Debertin)

Dr Debertin reviewed the work of Section II (Radionuclide measurements), which had held its twelfth meeting in June 1993. He noted that the section provides a focus for the comparison of measurements covering a wide range of radionuclides with a variety of decay schemes.

The results of comparisons of ^{109}Cd and ^{125}I were scheduled for publication shortly after the meeting, and a report on the recent comparison of ^{75}Se was being prepared. The exercise on ^{75}Se , which involved 21 participating laboratories and employed several measurement techniques, produced results within a range of $\pm 3\%$. This large value was attributed to the metastable level in the decay scheme of ^{75}As which was the principal source of difficulty in the measurements. Some of the quoted uncertainties were much smaller than the scatter of the results. Preparations for a trial comparison of the beta emitter, ^{204}Tl , were reported to be in hand. This work requires the use of the tracer method.

The Système International de Référence (SIR), at present based on an ionization-chamber system, is considered to make a very important contribution to the international traceability of standards. Since 1976,

some 450 results have been obtained for about 50 radionuclides received from 25 laboratories; in the past years about 15 ampoules have been measured per year. Recently, the SIR was extended to include the gases ^{133}Xe and ^{85}Kr .

The extension of the SIR to beta emitters continues to be a major activity of Section II, and a working group is responsible for overseeing its progress. For that purpose, liquid-scintillation systems were considered useful and, in consequence, such a system had been installed at the BIPM. The results of a mini-comparison of the radionuclides ^3H , ^{14}C and ^{99}Tc , organized by the NIST, had been published. The future international comparison of the beta emitter ^{204}Tl will also be an opportunity to study problems related to the extended SIR.

The working group on Principles of the Coincidence Method acts as a forum for the exchange of information. The working group on High Count Rate Measurements was dissolved in 1993 because the problem is no longer of significance. A further working group is involved with the planning of future comparisons.

A questionnaire had been circulated to establish the needs of users of radionuclides with a view to encouraging joint procurement, coordinating efforts by laboratories to negotiate with suppliers. Further information on the supply of ^{94}Nb , used for stability checks on ionization chambers, was expected later in 1994. The survey on new source preparation techniques produced no new findings of relevance.

The draft of the BIPM Monograph on *Activity Measurements with Re-entrant Ionization Chambers* was completed by Dr Schrader (PTB) in November 1993. The review on *High-Efficiency Detectors for Activity Measurements* was being prepared by Dr Winkler (IRK). A new edition of the *Dead-time Bibliography* is being prepared by Dr Müller (BIPM).

In his presentation of work performed at the BIPM, Dr Ratel described the results of past comparisons of ^{133}Ba , ^{109}Cd and ^{125}I , and discussed those of the recent comparison of ^{75}Se . Dr Müller gave a talk on the problems of assigning weights to sets of results, including the treatment of correlated data.

In the discussions that followed the presentations, Dr Debertin suggested that comparisons should be held every five years for all radionuclides in the SIR, and that it should be possible for the BIPM to process the increased number of ampoules involved. This, he considered an issue of quality assurance, that should be discussed at the next Section II meeting. The results of comparisons had been published in *Nuclear Instruments and Methods* to achieve wider publicity for the Section's activities. Dr Quinn suggested that *Metrologia* should also be used as much as possible.

Dr Debertin drew attention to the role of EUROMET in encouraging collaboration between European laboratories in the area of ionizing radiation metrology. Dr Quinn said that the BIPM takes part in EUROMET comparisons of quantities in which it has an interest and that

he would be pleased to include ionizing radiation comparisons. He noted that it is important that the BIPM should also interact with the other groups of national standards laboratories in North America, Eastern Europe and Asia/Pacific which undertake such comparisons, and pointed out that such interactions could be direct or through members of consultative committees. Prof. Allisy noted that the IAEA takes part in comparisons via the SSDL network and has a link with the BIPM.

Section III — Neutron measurements (Chairman: V.E. Lewis)

Dr Lewis reported on the activities of Section III (Neutron measurements), which held its tenth meeting in April 1993, a meeting which included the joint session with Section I (*see* p. R 132).

The comparison of 2,5 MeV and 14,7 MeV neutron fluence measurements, using Bonner spheres as transfer instruments, had been analysed by Mr Axton. Taking into account the effects of the interaction of neutrons with the neutron-producing target had resulted in fairly close agreement. This work, however, would be extended by calculating these effects and comparing them with measurements. The BIPM had in the meantime checked and verified the stability of the instrumentation at 2,5 MeV and 14,7 MeV.

A set of Bonner spheres was being used to compare measurements of 24,5 keV neutron fluence. The work, still in progress, involved six laboratories and three different methods of producing neutrons with energies close to 25 keV. The BIPM was organizing the comparison and checking the stability of the detectors after each set of measurements using a specially-constructed test rig. It was intended that Dr Huynh would receive and analyse the results from the participants, but it was acknowledged that it would be necessary to make alternative arrangements for completion of the analysis and drafting of the report should, as seemed likely, Dr Huynh retire before the end of the comparison. It would be acceptable to ask someone from one of the participating laboratories to do this work provided that he/she was not involved in the measurements.

Analysis of the comparison of 14,8 MeV fluence measurements based on the use of the $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$ reaction as the transfer technique had been abandoned as not all of the participants had appreciated the amount of data required for the target-interaction corrections at the time of the work. Several participants had since retired. (A concurrent similar comparison indicated good consistency between the laboratories.)

The NIST had proposed a second comparison of thermal neutron fluence measurements. The last one had been carried out some twenty-five years previously, and it was felt that a further exercise was necessary for quality assurance purposes. The transfer instrumentation was being made at the NIST and the protocol was in course of preparation. The need for a new evaluation of thermal neutron cross section data was recognized by both Section III and the IAEA.

Of the standards laboratories, only the PTB and the NPL had expressed interest in a proposal for an international comparison of neutron spectrometry using transportable radionuclide sources. Two laboratories in the United States had also expressed interest. Since both the PTB and the NPL were involved in the EURADOS Working Group 7, which has an active interest in spectral measurements, the preferred option would be to invite non-EURADOS groups to participate in the future activities of Working Group 7.

The decision by the CIPM to end neutron work at the BIPM when Dr Huynh retires and the effect this will have on the activities of Section III were discussed, as was the future of the BIPM equipment. It was agreed that the SAMES accelerator and manganese bath would remain in operation until 1995. The instrumentation for mixed field dosimetry would be kept and maintained at the BIPM and would be made available to members for calibration of their fields. Other detectors that had been used and calibrated in comparisons of neutron measurements would be returned to the laboratories that constructed them in the first place.

In the discussion following the Section III report, Dr Quinn expressed his concern over possible overlap between CCEMRI and EURADOS activities. Dr Lewis thought that Section III would not be involved in the proposed comparison of spectral fluence measurements. Dr Dietze, Chairman of EURADOS, explained that its objectives were to increase collaboration and he described its activities, including those of some ten working groups, on different aspects of radiation dosimetry.

Dr Huynh described work on the long-term stability of the BIPM reference radionuclide neutron sources. He noted that there had been a small increase in emission rate of the Ra-Be source over the past thirty years, due to build-up of ^{210}Po , by an amount in good agreement with calculations. It was expected that these sources would be sent to the NIST when neutron work ceased at the BIPM.

On behalf of the CCEMRI, Dr Quinn thanked Dr Huynh for all his efforts and for his excellent work over the past twenty-five years.

2. Programme for future work

Much of the programme for future work was addressed by the section Chairmen in their reports. Dr Simoën noted that the national laboratories wish the BIPM to be more involved in the dosimetry of high-energy photons and beta radiation. He emphasized Prof. Allisy's proposal that the BIPM should set up a dosimetry system for comparisons between laboratories which would be maintained at the BIPM. Although the BIPM cannot install an accelerator for this purpose, the Director is in favour of close involvement with laboratories which have such facilities, in particular with the LPRI where a linear accelerator is being installed. The planned increase in staff of the BIPM group working on x and γ rays should make this possible.

Dr Debertin said that the work of Section II would centre around comparisons of radionuclide measurements and the extended SIR system; the role of the latter in quality assurance would be emphasized. Dr Quinn guaranteed that, as far as was possible, staff levels at the BIPM would be maintained, and said that this decision would have the full support of the CIPM. Dr Lewis stated that the work of Section III in holding comparisons of neutron measurements would continue, although without the participation of the BIPM. This would make possible the recruitment of the replacements for Dr Huynh and Mr Lafaye to the x- and γ -ray group of the BIPM.

Dr Quinn said that traceability was not an end in itself but should be founded on accurate metrology. The work of the BIPM must be at the same level as the work at the national laboratories. The BIPM would therefore continue to rely on advice given by people such as the members of the CCEMRI.

3. Report to the Conférence Générale des Poids et Mesures

The Chairmen of the three sections were asked to prepare summaries of the work of their sections since the last meeting of the Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) in good time for the next meeting in October 1995.

4. Meetings of the sections of the CCEMRI and membership of the CCEMRI

It was agreed that Sections I and III would hold their next meetings in the same week in April 1995 but that these would not overlap. Section I would meet on 24, 25 and 26 April and Section III on 27 and 28 April 1995. Section II would hold its next meeting on 9, 10 and 11 May 1995, which was in the week preceding the ICRM meeting.

It was expected that the CCEMRI would meet in 1996, but no date was decided.

Dr Quinn called for suggestions for new members of the CCEMRI, preferably from establishments other than national laboratories, which are already well represented. The problems of ionizing radiations are complex and extend beyond metrological circles, and it is important also to encourage participation from regions other than those represented at the present meeting, from outside Europe in particular. However, funding such participation would be a problem, particularly for people who are from universities and medical institutions as opposed to standards laboratories. It is important that members of the CCEMRI have a good knowledge of the metrology of ionizing radiations.

5. Other business

Dr Quinn drew the attention of the committee to the ISO/TC 12 document on units temporarily in use with the SI. This proposes that the units barn, curie, röntgen, rad and rem, among others, be transferred from Table 10 (*Units in use temporarily with the International System*) to Table 12 (*Other units generally deprecated*) of the BIPM publication on the SI. Replies had already been received by the BIPM from the NIST and the NPL; the latter had suggested that the title of Table 12 be changed to "Units to be preferably avoided". Although the ICRU had no comments as yet, Prof. Allisy expressed his personal view that the title of Table 12 should be changed: it had been translated too severely from French into English. Dr Quinn agreed with this suggestion.

Dr Quinn drew the attention of the committee to Recommendation 1 (CI-1992) of the CIPM that national laboratories ensure that the BIPM be kept informed of the progress and results of comparisons, but not of calibrations. Comparisons are important for traceability and, increasingly, for purposes of quality assurance, and there is a need to recognize measurement comparisons carried out by regional groups of cooperating national standards laboratories. Such work should be published, preferably in *Metrologia*.

Dr Simoën raised the subject of the recognition of the traceability of standards in one country by the standards laboratory of another country. Dr Quinn stated that this is a serious matter of general concern which will be discussed at the next meeting of the CIPM. Although comparisons between laboratories could be carried out under the auspices of the CIPM, it is up to others to make use of the results; this is essentially a commercial matter.

Before the meeting adjourned, Dr Quinn thanked the CCEMRI members and the staff of the BIPM for their contributions. The committee expressed its gratitude to the BIPM for its hospitality.

April 1994

Section I — X and γ rays, electrons

11th Meeting (April 1993)

AGENDA
for the 11th Meeting

1. Work relating to comparisons of standards.
 2. Correction factors and uncertainties applied to graphite cavity chambers used as standards of air kerma for ^{60}Co gamma rays.
 3. Calibration of plane-parallel chambers for use in electron dosimetry.
 4. Experimental determination of C_{λ}^k , at the BIPM.
 5. Work and comparisons in the high-energy x-ray field.
 6. Beam quality specification.
 7. Use and comparison of Monte-Carlo codes.
 8. Future work at the BIPM.
 9. Standards for brachytherapy.
 10. Standards for radiation protection.
 11. Non-invasive measurement of x-ray tube potential.
 12. Standards for radiation processing.
 13. Reports from member laboratories.
 14. Report from the IAEA.
 15. Publicity.
 16. Other items.
 17. Next meeting.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION I. — X and γ rays, electrons

11th Meeting (April 1993)

REPORT

by N.J. HARGRAVE, Rapporteur

Abstract. Section I (X and γ rays, electrons) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its eleventh meeting at the Pavillon de Breteuil, Sèvres, in April 1993. The recent work of the BIPM was reviewed and it was noted that the work in progress and planned for the immediate future followed the recommendations made at previous meetings. No new directions were recommended at this stage. The results of several comparisons and calibrations performed at BIPM were presented. Comparisons between member and other standards laboratories were also presented. Progress on water calorimetry as a method for measuring absorbed dose to water from high-energy x rays was reported. Standards for radiation protection, for β -ray applicators and for brachytherapy sources were discussed.

Introduction

Section I (X and γ rays, electrons)* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)** held its eleventh meeting at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres, on 21, 22 and 23 April 1993.

Present:

J.-P. SIMOËN, Chairman of Section I, Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay.

* For the list of the members, *see* page R 74.

** Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page R V.

Delegates of the member laboratories and organizations:

- Australian Radiation Laboratory [ARL], Yallambie (N.J. HARGRAVE).
Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay (J.-P. SIMOËN).
Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (K. KUDO).
International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (W.A. JENNINGS).
National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (B.M. COURSEY).
National Physical Laboratory [NPL], Teddington (B. OWEN).
National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (D.W.O. ROGERS).
Nederlands Meetinstituut [NMI/VSL], Bilthoven (A.H.L. AALBERS).
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (A. JAKAB).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (K. HOHLFELD).
Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości [PKNM], Warsaw (Z. REFEROWSKI).
Swedish Radiation Protection Institute [SRPI], Stockholm (J.E. GRINDBORG).
The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Member:

- A. BROSED, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

Observers:

- Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente [ENEA], Rome (R.F. LAITANO).
International Atomic Energy Agency [IAEA], Vienna (H. SVENSSON).
Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes [LNMRI], Instituto de Radioproteção e Dosimetria [IRD], Rio de Janeiro (L. CONTIER DE FREITAS).
Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf GmbH [ÖFS], Seibersdorf (K.E. DUFTSCHMID).

Attended all or part of the meeting: P. GIACOMO, Director Emeritus of the BIPM; A. ALLISY, member of the CCEMRI; M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, J.W. MÜLLER and G. RATEL [BIPM]; A.-M. PERROCHE (guest worker at the BIPM).

Apologies were received from:

D.I. Mendelejev Institute for Metrology [VNIIM], Saint-Petersburg.
National Institute of Metrology [NIM], Beijing.

The Director of the BIPM opened the meeting which commenced as a joint meeting with Section III, already in session since 19 April 1993. He welcomed the members and observers of Sections I and III and briefly reiterated the relationship between the Convention du Mètre, the CIPM, its various consultative bodies, the BIPM and the various national standards laboratories. He emphasized the purpose of the meeting as a place to review the work of the BIPM and to advise the CIPM regarding the work of the BIPM.

The Chairman of Section I then officiated at a joint session of Sections I and III in which the Chairman of the ICRU presented a lecture (93-34)*** on the ICRU operational quantities. As part of a review of these quantities and their relationships he indicated a number of problems, particularly relating to measurement difficulties with quantities such as weighting factors.

Three members of Section III, the Chairman V.E. Lewis (NPL), K. Kudo (ETL) and H. Klein (PTB), outlined some of the work in progress at their laboratories for the information of the members of Section I.

The members of Section III then adjourned to a separate room to continue their meeting.

The Chairman of Section I, J.-P. Simoën, welcomed L. Contier de Freitas (LNMRI), J.E. Grindborg (SRPI), K. Kudo (ETL) and R.F. Laitano (ENEA) who had not previously attended a meeting of the section, and invited discussion on or addition to the draft agenda which had been circulated earlier. The agenda, with the addition of some items relating to uncertainties, calibration of plane parallel chambers, beam quality specification and the future work of the BIPM was agreed. N.J. Hargrave was appointed Rapporteur.

1. Work relating to comparisons of standards

Current work at the BIPM relating to the comparison of measurement standards of exposure (air kerma) and absorbed dose to water (x rays and ⁶⁰Co gamma rays) was reported (93-5). Seven calibrations and three comparisons had been performed since the 1991 meeting. Calibrations of thermoluminescent dosimeter (TLD) material for the IAEA and one calibration in terms of ambient dose equivalent were also reported. The

*** Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(I) 1, and are referred to in the text in the form 93-1, 93-2, etc.

cobalt source, which has been in use at BIPM since 1969 for the measurement of air kerma, is too weak for reliable calibration work. Measurements are performed in the ^{60}Co beam used for absorbed dose measurements. The energy fluence of scattered photons in the beam is 14 %, compared with 8 % previously. This has resulted in small changes to some of the correction factors used with the air kerma standard and to the stopping power of graphite to air. The overall change in the standard is only 0,03 %. The half life of ^{60}Co has been determined from the measurements made using the standard of air kerma with the old source and found to be 1 924,6 days, in good agreement with the accepted value.

An indirect comparison with the NMi covering the medium energy range was reported. This used a NE 2561 chamber (93-24). Data shows that the ratio of air kerma has the same dependence on energy as previously, but there is an unexplained constant difference of 0,5 %.

Comparisons in the ^{60}Co gamma-ray beam were also reported. These involved the NMi, the SZMDM, the UDZ and the BIPM. The NMi result agrees to within 0,2 % with the BIPM and is within 0,1 % of the value obtained in 1972. The comparisons between the BIPM and the SZMDM and the UDZ were both direct comparisons using chambers designed by the ARCS and built by the OMH. They gave values 0,18 % and 0,08 % lower than the BIPM, respectively.

Work relating to absorbed dose to water was reported. A drift of nearly 0,1 % was observed over the period from 1989 to 1992. In September 1992, the Perspex envelope in which the chamber was formerly inserted was exchanged for a polythene one, in case the drift was due to the absorption of water by Perspex.

A review of the results of the NPL-BIPM comparison, which took place in 1987-88, was also presented (93-2). Reassessment of corrections in the NPL graphite calorimeter together with changes in the method of calibrating the transfer chambers has resulted in an overall change of 0,26 %, while changes in the method of determining the BIPM absorbed dose to graphite standard, made in 1990, have introduced a change of 0,08 %. The overall effect of these changes is that the revised ratio of NPL/BIPM absorbed dose to graphite standards is now 1,004 1 and so lies within the stated uncertainty. Revisions of the data and methods of calculation have similarly resulted in a change in the absorbed dose to water standards between the two laboratories, so that the NPL/BIPM ratio is now 0,999 0.

Comparisons between national laboratories were also reported or commented on (93-23, 29, 32 and 33). A comparison between the NMi and the NPL using ^{60}Co gamma rays and ionization chambers in graphite phantoms was reported. Whereas measurements made in the same phantoms as those used to calibrate the transfer chambers indicate ratios of absorbed dose to graphite NMi/NPL of 0,999 5, the ratio of the absorbed doses, when different phantoms were used, was found to be

1,007 1 (NMI/NPL) at a depth of 5 g·cm⁻². This is unexpected and has not yet been explained. This emphasizes the need to perform comparisons using the phantoms in which instruments have been calibrated.

The results of a recent comparison between the NIST and the NRC at ⁶⁰Co energy (93-29) were found to give ratios of 0,993 6 for air kerma and 1,010 5 for absorbed dose to water. It was stated that the NIST and the NRC determine the correction factors for their chambers in different ways. The NIST plans to conduct additional experiments to see if they should change their method of factor determination. If changes to the NIST data were made in the same way as is done at the NRC, the difference between the two laboratories would fall to 0,3 %.

Document 93-33 outlines the different types of primary standards of absorbed dose to water used at the BIPM, the NIST, the NRC, the NPL and the PTB and discusses the agreement between these laboratories, referenced to the BIPM, in the high-energy x-ray field.

The report of an Asia/Pacific x-ray dosimetry standards comparison conducted by the KRISS was tabled (*Report APMP TR-1-92*). Some comments on this comparison (93-32) drew attention to the likely relationship of these results to the BIPM by referencing them via the BIPM/ARL comparison conducted in 1989. It was seen that the results fall within a range of $\pm 0,5$ % from the BIPM. The participating laboratories were from Japan, the People's Republic of China, Malaysia, India, the Republic of Korea and Australia.

2. Correction factors and uncertainties applied to graphite cavity chambers used as standards of air kerma for ⁶⁰Co gamma rays

The choice of method for determining the various wall-material related correction factors for graphite cavity chambers was raised by the NRC. Information based on Monte-Carlo calculations was presented. This suggests that the extrapolation methods currently used by most primary standards laboratories to obtain corrections for scattering and attenuation in the walls of graphite cavity chambers are only approximate. The differences between the NRC calculated values and those in use depend on the particular chamber design. If the NRC values were to be adopted, the relationships between the standards of the laboratories would change. However, the scatter of the results from comparisons of air kerma standards would not change appreciably. Figure 1 shows the present situation of several standards laboratories relative to the BIPM, and their position if the NRC calculated values are used.

Several standards laboratories expressed doubts about changing their standards by amounts as large as 0,5 % and further work is planned. The PTB is constructing new experimental chambers. The NIST plans to

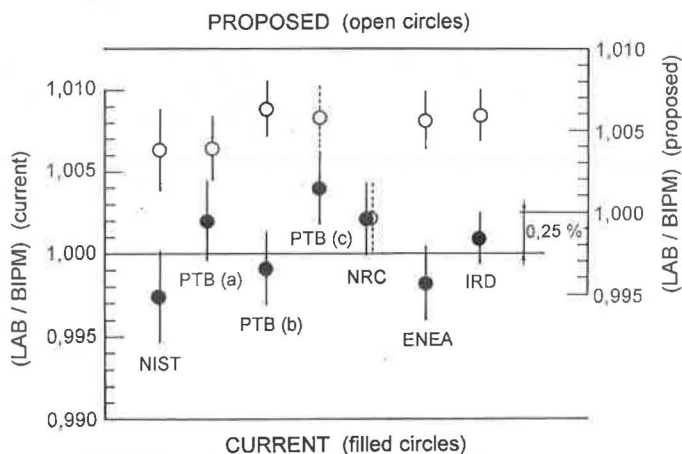


Fig. 1. — Comparison of measurements of air kerma (Bielajew and Rogers, *Phys. Med. Biol.*, 1992, **37**, 1283-1291).

do work at lower energy using x rays to see if the chamber behaviour is consistent with that predicted. It was noted that care should be exercised in machining such chambers to avoid the presence of high atomic number contaminants. The ENEA representative remarked that the wall corrections adopted for many clinical chambers are based on similar Monte-Carlo calculations. The agreement of the theoretical data with some experiments is within about 0,5 %, but this value is comparable with the proposed change of the correction. Further investigation is needed before changing the present correction factors.

The NPL uses calculated wall corrections; however, the agreement between the calculations at the NRC and the values calculated by the NPL for their chamber have not been tested.

At the previous meeting, a working party chaired by the NRC was established to recommend suitable values for the uncertainties to be associated with the values of the energy required to produce an ion pair in air, W/e , the stopping power ratio graphite to air, $\bar{s}_{c,a}$, and their product $(W/e)_{air} \cdot \bar{s}_{c,a}$ to be used by member laboratories. A paper from the NRC (93-28) notes that, while the uncertainty associated with the product $(W/e)_{air} \cdot \bar{s}_{c,a}$ is quite small, that associated with the components is much larger. Reference was made to the uncertainty associated with the mean excitation energy, I , value for graphite recommended by the ICRU. This uncertainty is very high and implies an uncertainty of about 0,7 % in the value of $\bar{s}_{c,a}$. In addition, a recent paper (Bichsel and Hiraoka, *Nucl. Instrum. and Meth.*, 1992, **B66**, 345-351) recommends a different value for I for graphite from that recommended by the ICRU. If this value were to be adopted, both $\bar{s}_{c,a}$ and W/e would change significantly, although their product would not. The implications are most significant for air

kerma values determined using free-air ionization chambers. At the time of the meeting, the working party had not yet agreed on suitable values to recommend to the member laboratories.

It was emphasized that the statistical approaches used by the NRC and the BIPM are different. In addition, although the re-evaluation of some of the data by the NRC includes several significant changes, it does not include all the corrections now believed to be necessary by some laboratories.

As a conclusion of the discussion, the working group established at the tenth meeting of the section (1991) was requested to pursue its investigations. In particular, it was asked to report to the next meeting, or earlier, on the uncertainties to be associated with the values of the following three physical quantities:

$(W/e)_{\text{air}} \cdot \bar{s}_{\text{c,a}}$, for use in the measurement of air kerma and absorbed dose with graphite cavity chambers;

$\bar{s}_{\text{c,a}}$, for the measurement of exposure with graphite cavity chambers;

$(W/e)_{\text{air}}$, for the measurement of air kerma with free-air chambers.

3. Calibration of plane-parallel chambers for use in electron dosimetry

The committee noted that three methods are in common use for the calibration of plane-parallel chambers for use in electron dosimetry. They are:

comparison of the plane-parallel chamber with a calibrated cylindrical chamber in the required radiation beam;

calibration using ^{60}Co by comparison with a calibrated cylindrical chamber after matching the phantom wall material so that $p_{\text{wall}} = 1,0$;

comparison of the plane-parallel chamber with a calibrated cylindrical chamber, both with build-up caps in air using ^{60}Co gamma rays.

The IAEA will shortly publish a technical document and the AAPM protocol on the calibration of plane-parallel chambers. The IAEA observer noted that the actual construction of such a chamber is very critical. Changes to the thickness of the collecting electrode were stated to alter the response by as much as 1 %. The effects of variations in the insulator material and thickness behind the collecting electrode are described in a paper by Rogers (*Med. Phys.*, 1992, **19**, 889-899), where the backscattering of electrons into the chamber from the insulator is shown to cause calculated changes of 5 % and 3 % for Capintec and the NACP chambers, respectively.

The Chairman noted that while the behaviour of such chambers is of interest, they would be of direct relevance to the section only if a standards laboratory intended to construct a primary standard of this type. The relevance relates mainly to the correct calibration procedures to follow in using the standards.

4. Experimental determination of C_{λ}^k at the BIPM

The values of C_{λ}^k the ratio of calibration factors in water and in air, at 1 m from the source in the reference beam, as derived experimentally at the BIPM for several ionization chambers, have been compared with calculated values published by the IAEA (*IAEA Technical Report Number 277*) (93-6). The experimental and calculated values of C_{λ}^k differ by less than 1 %. Measurements made at two depths in a water phantom ($5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ and $17 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) also indicate that the variation of C_{λ}^k with depth is quite small ($-0,1 \%$) and does not depend strongly on the photon spectrum.

The results of a test of the IAEA code performed at the PTB by using the ratio of absorbed dose to water derived from calibration factors in water and in air were presented (93-14). Difficulties were experienced because the published dimensions and materials for some older common commercial ionization chambers may not be accurate. Similar results were found by the BEV, the NRC and the PTB where common chambers have been evaluated. The conclusion is that, in general, the IAEA code gives good agreement for ^{60}Co beams with the measurements using absorbed dose standards. The average ratios are close to unity with a standard deviation of 0,5 %.

5. Work and comparisons in the high-energy x-ray field

A summary of absorbed dose to water comparisons between the BIPM, the NPL, the NRC and the PTB was presented (93-4). The various standards have undergone some revision since 1991. The NPL has made changes to its calibration factors, has introduced the use of a monitor chamber to eliminate transit dose corrections for ^{60}Co and takes account of beam filtration in quality specification. The BIPM now references its absorbed dose to water by an ionometric method using a graphite cavity chamber in a water phantom.

A comprehensive report (93-13) on a sealed water calorimeter was presented by B.M. Coursey. The report concludes that a 2,4 % effect on the heat defect depends on the presence of oxygen. The solution to this problem is to purge the sealed water calorimeter with hydrogen: this saturates the cell with hydrogen and eliminates the effect. The wall of the sealed water cell is very thin (0,25 mm) which causes a relative excess in the temperature change of 0,09 %, when measured sixty seconds after a sixty second radiation run, using a 400 TBq ^{60}Co source (dose rate around 1,85 Gy/min). The instrument gave a standard deviation of about 0,1 % for 500 measurements. Measurements made with other hydrogen/oxygen systems varied with the accumulated absorbed dose, as predicted for a closed system.

A summary of the present relationship between standards of absorbed dose to water of high-energy x rays was discussed (93-33). The paper relates to the standards at the NIST, the NPL, the NRC and the PTB and, as recommended by the section, references them to the BIPM standards. It was noted that the laboratories use different methods: the PTB uses a Fricke system calculated from the specific energy imparted from an electron beam of known energy (5,6 MeV); the NRC uses a Fricke solution calibrated with reference to a water calorimeter in a 20 MV photon beam; the NPL uses a Domen-type graphite calorimeter and the photon fluence scaling theorem to obtain D_w , and then uses calibrated ionization chambers as working standards; the NIST standard is based on water calorimetry as outlined above.

As the standards are not portable, comparisons employ indirect methods using both Fricke dosimeters and ionization chambers. The comparisons were bilateral (NRC/PTB, NPL/PTB, NRC/NIST), and for the high-energy x rays used similar radiation qualities. For the ^{60}Co beams, if the laboratories are referenced to the BIPM, values from the NPL and the BIPM are close (within 0,11 %) while those from the NRC and the PTB are close together, but about 0,7 % away from the BIPM. Values from the NIST are about 1 % higher than those from the NRC and are close to those from the BIPM. For higher energies, the comparisons between the NPL and the PTB give agreement to about 1,5 %, using Fricke chambers, and those between the NRC and the PTB give agreement to about 0,4 %, using ionometry.

6. Beam quality specification

The meeting was reminded of problems reported by the NPL at the previous meeting on the derivation of the response of NE 2561 chambers as a function of radiation quality from linear accelerators and the apparent inconsistency of reported data at ^{60}Co and x-ray energies. The NPL report appears to show two different calibration curves which depend on the filtration used for the x-ray beams (93-3). Subsequent measurements were rendered difficult by problems (later removed by the use of a monitor chamber) caused by the movement of some components in the newly installed ^{60}Co source at the NPL. There now appears to be a limiting curve which applies for heavily filtered radiation, typical of that from therapy machines, and a family of curves for each energy. The curves tend to the limiting curve as the filtration is increased.

It was suggested that clients requesting high-energy x-ray calibrations at the NPL should request them in terms of both energy and quality index. Exactly how the beam energy should be specified by the client was not made clear.

Reference was made to a paper (Rogers, *Med. Phys.*, 1993, **20**, 1181-1188) which suggests that the percentage depth dose at a depth of 10 cm in a water phantom is a good unique identifier which gives a linear relationship with $\bar{x}_{w,a}$. It was suggested that primary standards laboratories could request hospitals to estimate the percentage depth dose at a depth of 10 cm in a water phantom and that the primary standards laboratory use this to match the beam quality.

7. Use and comparison of Monte-Carlo codes

At the previous meeting, a working group chaired by the NRC presented a preliminary report on the use and comparison of Monte-Carlo codes. Since then two letters on this topic had been circulated, but only two responses were received. The standards laboratories had provided no new information on the comparison of their codes. Comparisons using different codes such as those in use at the BIPM, the NMI and the PTB were considered still to be desirable. It was stated that while calculations can give excellent results for the relative chamber response of homogeneous chambers, the accuracy is probably only about 1 %. A comparison of the performance of different codes in calculating responses for a simple pancake chamber was considered to be a desirable way of testing the different codes, since calculations around 200 keV are a more stringent test than those at ^{60}Co energy. It was reported that both the ITS and EGS4 codes, as a result of the approximation used, require correction if they are to give reliable results for bremsstrahlung beams.

Reference was also made to a recent paper (Ma et al., *Med. Phys.*, 1993, **20**, 283-292), on the use of Monte-Carlo and experimental methods to study wall effects in the vials used to contain Fricke solutions in photon beams. It was found that effects in glass vials are mostly due to differences in electron scattering in the walls and water. The net effects at ^{60}Co energies are very small, but can be significant (up to 2 %) in high-energy photon beams.

8. Future work at the BIPM

The ongoing activity in comparison and calibration against the BIPM standards was seen to be a priority work area. Three comparisons are planned for 1993. A figure showing the results of comparisons in the medium energy and soft x-ray region was displayed. It was noted that fewer comparisons had been made in the soft x-ray region, but that the scatter of results was smaller than in the medium x-ray region. This was attributed to the use of the actual standard rather than a transfer standard for these comparisons. It was considered that the difficulty of matching radiation qualities at the BIPM and the comparison laboratory for the calibration of the transfer standards probably led to this increased scatter.

Following the recommendations of the section regarding the need for air kerma standards for ^{137}Cs , the BIPM has obtained a source, a housing and equipment. It is anticipated that the ^{137}Cs beam will be available for comparison purposes in terms of air kerma and ambient dose equivalent within one or two years. The measurement of brachytherapy sources will then begin.

The BIPM staff were asked what progress had been made on the water calorimeter planned at the last meeting. It was reported that a guest worker had spent some time on the development of a portable transfer instrument. This was designed to work at 20 °C with convection barriers, and was intended for use in the BIPM ^{60}Co beam and for transportation to other laboratories for use in higher energy x-ray beams from linacs. It did not prove possible to explain the behaviour of the instrument, particularly the non-linearity of the relation between temperature and time. The instrument gave results within about 3 % of those expected (with a standard deviation of around 1 % for 5 measurements). The work was discontinued following the departure of the guest worker, as the BIPM does not have sufficient staff to develop the work.

The section agreed with the planned work programme, which essentially follows recommendations made at earlier meetings.

9. Standards for brachytherapy

It was reported that the NIST had hosted a workshop on the calibration of high dose-rate ^{192}Ir brachytherapy sources. This workshop was attended by thirty participants including three national laboratories (NIST, NRC and NMI). To obtain calibration factors for these sources, the LPRI and the OMH use Bragg-Gray cavity theory while other laboratories use protection chambers, calibrated with x rays and ^{137}Cs and spectrum averaged for ^{192}Ir . The NMI uses an interpolation technique based on the proposal by Goetsch et al. (*Med. Phys.*, 1991, **18**, 462-467). It was reported that the NIST plans to develop a primary standard for these sources using a set of spherical graphite chambers with wall corrections calculated by Monte-Carlo methods.

A discussion followed on the need to standardize the reference air kerma rate at 1 m, currently recommended by the ICRU as the preferred method of standardizing brachytherapy sources, when many dose-planning systems require as an input the activity of the source. The committee agreed, however, that there is no reason to suggest a method other than that recommended by the ICRU.

The NIST was reported to be developing a wide angle free-air chamber intended for the calibration of ^{125}I sources. It would be willing to participate in comparisons with any other standards laboratory which is also developing standards for these sources.

10. Standards for radiation protection

a) At the BIPM

It was reported that the BIPM is able to calibrate in terms of ambient dose equivalent and directional dose equivalent using ^{60}Co gamma rays.

b) At the national standards laboratories

Several discussion papers (93-12, 19 and 20) refer to standards for radiation protection. A survey of the facilities at member laboratories had been made by the NIST. Replies were received from fifteen laboratories. Only two did not offer protection calibration services using ^{137}Cs , and both had since taken steps to do so. Not all available sources were listed, only those available for use as primary standards. It was noted that ^{137}Cs calibration sources are available in at least fifty SSDLs in the IAEA network.

Discussion ensued on the preferred procedures for ^{137}Cs comparisons. Ionization chambers ranging in volume from 30 cm^3 to $3\ 000\text{ cm}^3$ from a number of manufacturers were suggested as suitable for use in indirect comparisons, although some laboratories routinely use chambers even larger than this. Questions about the field uniformity from the sources in use were also raised. The point was made that the optimum conditions should be developed and maintained by the BIPM. The need for ambient dose equivalent comparisons was questioned, since comparisons of air kerma could be made and agreed conversion factors could be used. The BIPM plans to determine the experimental relationship between air kerma and ambient dose equivalent for ^{137}Cs . It was agreed that this is an important activity for the BIPM.

It was agreed that a working party should be set up to decide the optimum conditions for a ^{137}Cs beam at the BIPM and to organize a small-scale comparison using ^{137}Cs at protection levels, initially in terms of air kerma. The working party will be chaired by a representative from the NIST. Several laboratories expressed interest in the proposed comparison and working party; they include the ARL, the ENEA, the ETL, the LPRI, the NIRP, the NIST, the NMi, the NPL, the ÖFS, the OMH and the PKNM.

Two papers from the ETL (93-19 and 20) were discussed. They deal with the use of extrapolation chambers and β -ray sources at protection levels. In response to a query regarding the involvement of members in beta dosimetry programmes it was noted that eleven members have active programmes in this area.

11. Non-invasive measurement of x-ray tube potential

A novel method of precisely measuring the potential applied to an x-ray tube is the subject of a paper (93-11) from the NIST. The attention of the committee was drawn to the usual non-invasive method of measuring the high voltage in mammography using two filters. This method was described as being capable of providing voltage determinations to within about 2 kV, whereas radiologists often claim that they can see differences due to 1 kV on radiographs. It was reported that the NIST has developed a method, due to Rutherford, which employs crystal diffraction spectrometry and relies only on information on the lattice constant of silicon and a precise distance measurement. Using this method the high voltage could, in principle, be measured to within 10 V (or even 1 V) by scaling the apparatus. Also, the range of spectral coverage could readily be extended to 300 kV. It was pointed out that the film image from the device provides both spectral and radiation-intensity information. It was suggested that the use of the method in conjunction with the BIPM ultra-stable x-ray generator was likely to prove interesting. The Director of the BIPM noted that it was gratifying to see the results of precise measurements in one field of science, lattice constant measurement, finding a practical use in another field.

12. Standards for radiation processing

The IAEA representative reported that all IAEA dosimeters used to check dosimetry in radiation processing are referenced to absorbed dose to water at the BIPM. He drew attention to the importance of irradiation conditions. The use of a plastic phantom for the irradiation could result in depth dose distortion due to charge storage in the plastic.

The NIST representative reported a programme of work using EPR and radiochromic film to study samples of bone with a view to the measurement of dose at levels ranging from 1 gray to 10^4 grays both for accident victims and for radiation processing. He also noted that consideration was being given to the use of alanine dosimetry as a transfer standard for therapy. This involves a systematic study of the uncertainties associated with alanine pellet design. It was hoped that the uncertainties could be reduced to less than 1 %.

The IAEA representative reported that, in their service, a standard deviation of 1 % was attainable at dose levels of 2 grays.

13. Reports from member laboratories

Several reports were presented by member laboratories outlining work in progress, changes to facilities, or to standards and services offered since the last meeting. Those containing material not discussed elsewhere

in this report include numbers 93-1, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 25, 27, 30, 31 and 35. Those attending expressed their thanks for this information. It was noted that the BIPM staff are interested in these matters and appreciate being kept informed of them.

14. Report from the IAEA

An outline of the work performed by the IAEA's SSDL network of 72 laboratories was presented. This includes the evaluation of two million personal dosimeters per year, the calibration of around 1 000 ionization chambers and 2 000 therapy beams per year as well as activity in high-dose measurements. A brief description was given of the representation on the Technical Committee which oversees the SSDL network and of the work which it does. A summary was given of some IAEA programmes including technical co-operation, quality, quality assurance by means of both dosimeters and TLD methods, as well as high dose work involving alanine/EPR.

Mention was made of the ongoing training programme for SSDL staff which includes three courses each of three weeks, scheduled for 1993, and the biannual seminar programme. The co-ordinated research programme was described. This includes the testing of the IAEA code of practice, published as *Technical Report 277*, the setting up of a quality assurance programme for radiotherapy, and some items which call for careful consideration in the calibration of accelerator dose monitors. A list of recent, or recently revised, relevant IAEA publications was presented.

15. Publicity

The Chairman undertook to publicize the work of the section in the scientific literature and to prepare a report for the IAEA SSDL Newsletter.

16. Other items

It was noted that several matters were under consideration by working groups, and that these should be finalized by the next meeting. In this context, the NIST representative suggested that primary standards for proton beam therapy should be added to the agenda for the next meeting.

17. Next meeting

The committee agreed that the next meeting should take place in about two years time.

November 1993, revised March 1994

APPENDIX R(I) 1

**Working documents submitted to
Section I of the CCEMRI at its 11th Meeting**

(see the list of documents on page R 29)

Section II — Measurement of radionuclides

12th Meeting (June 1993)

AGENDA
for the 12th Meeting

1. Results of recent comparisons of activity measurements.
 2. International Reference System for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR).
 3. Reports of the working groups.
 4. Work at the BIPM.
 5. Reports from member laboratories.
 6. Other business.
 7. Visit to the BIPM laboratories.
 8. Other business.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION II. — **Measurement of radionuclides**

12th Meeting (June 1993)

REPORT

by B.R.S. SIMPSON, Rapporteur

Abstract. Section II (Measurement of radionuclides) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its twelfth meeting in June 1993. The preliminary report on the 1992 full-scale comparison of ^{75}Se was presented and discussed. The total range of values was greater than in other recent comparisons, in part due to the need for a correction factor to account for a metastable state. A paper summarizing the previous ^{133}Ba activity comparison has been published in the open scientific literature, and condensed versions of the reports of the ^{109}Cd and ^{125}I comparisons will be submitted for journal publication during 1993. A full report of the ^{75}Se comparison, and a shortened version thereof suitable for publication, will be prepared. The results of an international comparison of activity measurements of pure beta emitters, which formed part of an investigation into the extension of the SIR, were presented. The next full-scale international comparison will concern ^{204}Tl , and it will, together with the related trial comparison, also serve as a test of the system adopted for the extended SIR. Progress with the "parity method" has continued at the BIPM with the derivation of an expression to correct for dead-time losses. Other recent BIPM activities were described and reports from the working groups were presented.

Introduction

Section II (Measurement of radionuclides)* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)** held its twelfth meeting at the Pavillon de Breteuil, at Sèvres, on 1, 2 and 3 June 1993.

* For the list of members, see page R 74.

** For the list of abbreviations used in the report, see page V.

Present:

D. SMITH, Chairman of Section II, National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

Delegates from the member laboratories and organizations:

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay (N. COURSOL).

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

National Institute of Metrology [NIM], Beijing (LI FEN).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (J.M.R. HUTCHINSON).

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

National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (D.C. SANTRY).

Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (Á. SZÖRÉNYI).

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

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Members:

J.-J. GOSTELY, Institut de Radiophysique Appliquée [IRA-OFM], Lausanne.

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

Guests:

R. BRODA, Instytut Energii Atomowej, Radioisotope Research Centre [IEA-OBRI], Swierk.

P. DE FELICE, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti [ENEA], Rome.

A. GRAU MALONDA, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], Madrid.

D.F.G. REHER, Institute for Reference Materials and Measurements [IRMM], Geel.

SUN-TAE HWANG, Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejon.

Also attending the meeting: P. GIACOMO, Director Emeritus of the BIPM ; A. ALLISY, member of the CCEMRI ; M. BOUTILLON, P. BRÉONCE, V.D. HUYNH, J.W. MÜLLER, G. RATEL (BIPM) ; A.-M. PERROCHE (guest worker at the BIPM).

Apologies were received from:

Australian Nuclear Science and Technology Organisation
[ANSTO], Menai.

Absent:

D.I. Mendeleev Institute for Metrology [VNIIM], Saint-Petersburg.
International Atomic Energy Agency [IAEA], Vienna.

The Director of the BIPM opened the meeting. He welcomed the members of Section II of the CCEMRI, and reminded them of their charge.

The Chairman of Section II proposed B.R.S. Simpson as rapporteur, and welcomed the new delegates and guests.

The tentative agenda was accepted.

1. Results of recent comparisons of activity measurements

a) Results of the ^{75}Se full-scale international comparison

G. Ratel (BIPM) summarized a preliminary report (93-14)*** on the results of the international comparison of activity measurements of a ^{75}Se solution. For the first time the preparation of the solutions was undertaken by the BIPM. Two solutions, referred to as A and B, were purchased and diluted to give two sets of about 30 ampoules each, the dilution being chosen so that a further dilution by the participants would not be obligatory.

Measurements were made on each ampoule using the SIR ionization chambers and on this basis solution B was selected for distribution to the 21 participating laboratories, their dispatch being undertaken by the LPRI. It was pointed out that the main difficulty in determining the activity was caused by the presence of a metastable state, necessitating the application of a correction to the measured count rate. Most laboratories used the $4\pi(e,x) - \gamma$ coincidence method with an almost equal division between the use of pressurized and of atmospheric pressure proportional counters to count the electrons, while two laboratories used liquid-scintillation counting. One laboratory also applied the anti-coincidence technique and four laboratories used an alternative technique. Figure 1 shows the distribution of the results both before and after a correction to account for the delayed events. The total range of values, excluding one outlier, spans about $\pm 3\%$. A plot of the ionization chamber measurements together with the final results shows no correlation, indicating that the large spread was not caused by the solution preparation. The unweighted mean of the activity concentration, with one outlying value omitted, is $(1,253 \pm 0,004) \text{ MBq} \cdot \text{g}^{-1}$, where the uncertainty is the estimated standard deviation of the mean of 23 values.

*** Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(II) 1, and are referred to in the text in the form 93-1, 93-2, etc.

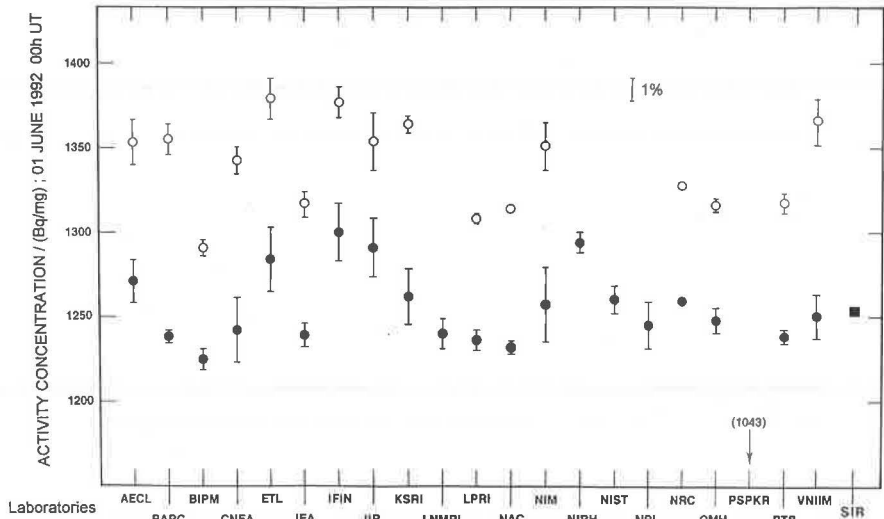


Fig. 1. — Results of the ^{75}Se international comparison obtained before ○ and after ● correction for the delayed events. The value based on SIR measurements is also indicated.

A general discussion followed the presentation. It was noted that the mean value from the SIR for ^{75}Se is very similar to the mean value of the international comparison. It was suggested that the individual values of the international comparison should be placed in the SIR tables to provide useful additional information. Members added some extra details on their measurements. D.C. Santry explained the low assignment of uncertainty for the NRC value as arising from two factors. First, no attempt was made to estimate the uncertainty appropriate to the fitting of a non-linear curve to the data and second, the uncertainty resulting from the decay scheme derived correction factor was omitted. D. Smith briefly explained the derivation of the NPL correction factor based on the application of correlation counting to each efficiency datum point. K. Debertin pointed out that the $4\pi\gamma$ method is particularly appropriate for measuring the activity of ^{75}Se since no correction factor is required. He noted that two PTB values should be plotted, since two distinct methods were used. N. Coursol pointed out that the LPRI had both calculated and measured (by the double dead-time method) the correction factor for delayed events. A full BIPM report will be prepared by G. Ratel on the ^{75}Se comparison. In addition, and in parallel, a shortened version, more suitable for publication in the open literature, will be prepared.

b) Status of publication of recent comparisons

A condensed version of the report of the ^{133}Ba activity comparison has been published in the open literature (*Nucl. Instrum. and Meth.*, 1992, **A316**, 318-323). The condensed version of the report of the ^{109}Cd comparison will be completed by the end of June 1993 in a form suitable for submission for publication in *Nuclear Instruments and Methods*****. A draft of the shortened version of the report of the ^{125}I comparison will be ready for circulation during July 1993, and comments will be requested.

**2. International Reference System
for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR)**

a) Present ion-chamber system

Since the last meeting, a total of 36 ampoules had been received containing 14 different radionuclides. More laboratories made use of the SIR in 1992 than in the two previous years. Two new radionuclides were submitted, including ^{133}Xe in gaseous form. This required the use of a new type of ampoule designed and constructed at the NIST. The result fits in well with the efficiency versus gamma-ray energy curve established over the years. Less successful was a measurement made on a ^{85}Kr gas standard submitted by the NIST, the result being withdrawn. An order has been placed with the NIST for 500 gas ampoules, to be distributed by the BIPM on request.

b) Extension to beta emitters with the liquid-scintillation system

The extension of the SIR is overseen primarily by a working group of Section II. As D.D. Hoppes has retired, A. Grau Malonda accepted the position of coordinator of this working group. It was reaffirmed that the other members of the working group are P. Cassette (LPRI), J.-J. Gostely, G. Ratel and B.R.S. Simpson. The proposed method for extending the SIR, namely the adoption of the CIEMAT/NIST method of efficiency tracing with tritium, has been accepted in principle. It was pointed out that the alternative scheme, namely the triple-to-double coincidence ratio (TDCR) method, although more convenient in that no quench curves are required, may be subject to greater systematic effects if radioactive impurities or afterpulsing are present and unaccounted for.

A brief description of the CIEMAT/NIST procedure was given by A. Grau Malonda. A quench curve for ^3H needs to be derived only once from a series of ^3H sources, initially identical but intentionally weakened by the addition of small standardized quantity of an appropriate chemical

**** *Nucl. Instrum. and Meth.*, 1994, **A345**, 289-295.

agent. An external reference gamma source (e.g. ^{137}Cs) is used to determine the quench condition of the source to be measured, thus establishing the required figure-of-merit from which the source activity can be extracted.

To assess the feasibility of using the above liquid-scintillation counting technique, the NIST organized a mini international comparison involving six laboratories (BIPM, CIEMAT, IAE, NAC, NIST and PTB). The pure beta-emitting radionuclides to be measured were ^{14}C and ^{99}Tc . A set of scintillation vials containing tritium was distributed together with sets of ^{14}C and ^{99}Tc . The preliminary results presented for all six laboratories are very encouraging. For ^{14}C , the values range from 53,9 kBq·g⁻¹ to 54,3 kBq·g⁻¹. For ^{99}Tc , one laboratory is 1,6 % lower than the mean value of the others. The range for the remaining five laboratories is about 1,1 %. The discrepancies encountered with ^{99}Tc may be due to the differing beta spectra chosen for the efficiency calculation performed by each laboratory.

It now remains to finalize the technicalities with regard to the selection of a suitable counting vial and the choice of the liquid scintillator.

It was confirmed that ^{204}Tl is a suitable candidate for the next full-scale international comparison because of its immediate relevance to the extended SIR. Consequently, a trial measurement among five or six laboratories will be organized, scheduled to take place in early 1994. D. Smith, the Chairman, will correspond with the BIPM and the NIST with regard to the preparation of the ^{204}Tl ampoules. In addition, the working group coordinator (A. Grau Malonda) will keep the Chairman informed over the next few months on the progress made in the working group concerning recommendations for the particular scintillator, the chemical conditions, etc., suitable for the application of the CIEMAT/NIST method to ^{204}Tl .

3. Reports of the working groups

a) Principles of the coincidence method (Coordinator: J.W. Müller)

A list of recent reports distributed within the working group on principles of the coincidence method was made available (93-15).

The consensus was that this group should continue at a modest level, since it acts as a stimulus to others and as a useful forum for the distribution and exchange of information.

b) Dead-time bibliography (Coordinator: J.W. Müller)

A partial list of references for the dead-time bibliography was distributed at the meeting. It was pointed out that at this stage the list is far from complete and it was requested that suggestions for additional references be provided by the end of November 1993.

c) *Source preparation* (Coordinator: D.C. Santry)

It was reported that nothing of relevance to source preparation has been found in the literature recently.

d) *Ionization chamber monograph* (Coordinator: H. Schrader)

The idea of preparing an ionization chamber monograph dates back to 1985. Finally, in 1990, H. Schrader of the PTB kindly took over this task and has now completed a first draft. The work mainly covers re-entrant chambers for activity measurements, although nearly all aspects have been covered, including related topics. It comprises over 100 pages of text, 100 figures and 500 references. Copies will now be distributed to a number of people with experience in the field for comments and suggestions for improvements. It is intended that the final version will be sent to the BIPM by January 1994. The BIPM will handle the production details before printing the document as a BIPM monograph. About 100 copies will be made and distributed freely on demand.

e) *Experiments with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements* (Coordinator: G. Winkler)

The information necessary for the production of a review paper on high-efficiency detection systems has been assembled, thanks principally to the efforts of the coordinator. It is intended that on completion it will be submitted for publication in an open journal. It was agreed that this working group will then be terminated.

f) *High-count rate measurements* (Coordinator: J.-J. Gostely)

The problem of measuring at high-count rates is no longer considered to be of major importance and other priorities have superseded this topic. A previously suggested high-count rate international comparison has not come to fruition for a number of reasons. It was therefore agreed to close this working group and J.-J. Gostely was thanked by the Chairman for his efforts as coordinator.

g) *Future comparisons of activity measurements* (Coordinator: Á. Szörényi)

The working group dealing with future comparisons of activity measurements looks to the longer term in organizing international comparisons. It was agreed that the coordinator would canvas for ideas for the next international comparisons until September 1993, since recommendations and suggestions must be available in time for the next Chairman's report in March 1994. It was also suggested that international comparisons should be undertaken more frequently than in the recent past, as primary comparisons are important for international traceability. However, the importance of undertaking a trial comparison, prior to any full-scale comparison, was re-emphasized and generally agreed.

h) Joint procurement of radionuclides (Coordinator: K. Debertin)

In recent years there has been difficulty in obtaining ^{139}Ce and other electron-capture radionuclides. The situation is now easier as there are several suppliers. To aid in keeping costs as low as possible, D.F.G. Reher volunteered to establish, via a questionnaire, the nuclide requirements of each national laboratory. This list will then be distributed to the laboratories and will form the basis of an informal pool for the joint procurement of radionuclides.

4. Work at the BIPM

a) Poisson statistics after a division (J.W. Müller)

The study of the way in which Poisson statistics are modified by a division is applicable to the experimental situation in which random pulses from a source are fed to a scaler, the output of which is analyzed. The original statistical study was carried out by J. Freycenon and reported in 1964 and 1966. His theoretical expressions have been checked and fully verified. The oscillatory effects predicted by the theory have been confirmed by careful experimental measurement. However, the oscillatory effects can often be strongly reduced or even avoided by a suitable choice of counting interval and/or divisor.

b) Poisson crossing points (J.W. Müller)

Dead-time effects reduce the relative scatter of real counting distributions, compared with the original Poissonian ones. The two points at which the observed distribution crosses the expected Poisson distribution are given by a simple analytic expression which involves only the experimental mean. A similar effect, which increases the relative scatter, is evident for a decaying source, particularly as the measuring time becomes comparable with the half life. The crossing points are still given by the original expression. They can be shown to be a feature of the Poisson distribution, and not of the perturbation applied.

c) Progress with the parity method (J.W. Müller)

During a time interval t , beta and gamma pulses are counted separately, there being no coincidence channel. The parity Π is defined as the probability of observing an odd number of events in t . A special type of counter, the modulo 2 counter, is used to record events in multiple repeats of very short time intervals, of the order of microseconds. A plot of Π_{exp} against the dead time shows a deviation from linearity. The dead-time corrections for Π have been calculated up to fourth order in $x = \rho\tau$, where ρ is the count rate and τ the dead time, with explicit

expressions for each term. Inclusion up to the fourth-order of terms fits the measured data almost exactly for the case of extended dead times. The method is advantageous in that no coincidence resolving-time corrections are required.

d) Galushka method (J.W. Müller)

A.N. Galushka, a Russian physicist, has recently devised an electronic device that apparently compensates for dead-time losses in real time. He claims that it can be applied to all situations and that traditional dead-time corrections are thus unnecessary. Galushka's paper was reviewed at the BIPM and the underlying basis of the method was analysed. Although not suitable for coincidences, an electronic device to implement the method appears to be feasible for single-channel events which are subject to a non-extendable dead time. However, the corrections applied are strongly correlated and at higher count rates would be subject to distortion.

e) Uncertainty in the measurement of τ (J.W. Müller)

An investigation of the uncertainty in the measurement of τ followed a query by E. Funck (PTB) as to how the uncertainty could be calculated for the two-oscillator method for determining dead time. Expressions have been derived which take due account of the frequencies involved and of their non-random nature. They show an interesting analogy with nearly periodic phenomena, as exemplified by the Saros cycle for eclipses.

f) ^{75}Se measurement performed at the BIPM (G. Ratel)

The $4\pi(e,x)\text{-}\gamma$ coincidence counting method was used for measurements of the activity of a solution of ^{75}Se . A window was set to select gamma rays corresponding to the 401 keV photon peak. The efficiency formulae were studied to aid in the selection of the pressurized proportional counter (PPC) threshold, cognizance being taken of the position of delayed events in the electron spectrum. An electronic discriminator was used to vary the efficiency and an extrapolation was made to 100 % efficiency. The emission probabilities of the conversion electrons ce_{IL} and ce_{IM} were deduced by shifting the position of the lower threshold, and the value obtained agrees closely with that given in the literature.

5. Reports from member laboratories

Written reports from the laboratories represented at the meeting (93-1 to 9, 93-11 to 13 and 93-16 to 19) were distributed to those present. Summaries of the reports were presented by each attendee in turn, some in more detail than others. Some points of interest were selected and

discussed at the end of each presentation. As usual, this session of the agenda provided an opportunity for a valuable exchange of ideas and information.

6. Other business

a) Comparison of short-lived nuclides

The SIR is limited to nuclides with half lives in excess of a few days, and is therefore unsuitable for comparison of the relative activities of many of the short-lived nuclides of importance in nuclear medicine. One solution to this problem would be to adopt a particular type of instrument to calibrate the measurements of different member laboratories.

b) Possible bias in the results of the ^{125}I international comparison

With reference to the results of the ^{125}I international comparison, it was suggested that in the proposed publication it should be indicated that the weighting attributed to the AECL value may bias the weighted mean value.

c) Next meeting

It was agreed that the next meeting will take place in 1995, phased to fit in with other European meetings concerned with radionuclide metrology. Specific details will be communicated to all representatives as they become available.

7. Visit to the BIPM laboratories

Most of the attendees took advantage of the invitation by the Director of the BIPM to go on a conducted tour of the laboratory concerned with maintaining mass standards.

8. Other business

There was no other business. Before adjourning the meeting, the Chairman thanked the participants for all their contributions and the staff of the BIPM for their hospitality. On behalf of the BIPM, J.W. Müller thanked the Chairman and the participants.

There being no other topics on the agenda, D. Smith closed the twelfth meeting of Section II of the CCEMRI.

June 1993, revised July 1994

APPENDIX R(II) 1

**Working documents submitted to
Section II of the CCEMRI at its 12th Meeting**

(see the list of documents on page R 47)



Section III — Neutron measurements

10th Meeting (April 1993)

AGENDA
for the 10th Meeting

1. Report on the neutron work in progress at the BIPM.
 2. Fast neutron fluence comparisons.
 3. Thermal neutron fluence measurement comparison.
 4. Comparison of spectral fluence measurements.
 5. Future activity of Section III.
 6. Exchange of information on work in progress at participants' laboratories.
 7. Visit to the BIPM laboratories.
 8. Other business.
 9. Operational quantities for radiation protection.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

SECTION III. — Neutron measurements

10th Meeting (April 1993)

REPORT

by E.J. AXTON and D.M. GILLIAM, Rapporteurs

Abstract. Section III (Neutron measurements) of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants held its tenth meeting in April 1993. Recent work carried out at the BIPM in the field of neutron measurements was reported. The results of a fluence comparison involving a Bonner sphere set, which take into account the additional measurements performed at the BIPM, were reported. Information concerning a comparison of 24,5 keV neutron fluence measurements, which is in progress, was given. Plans were discussed for a future comparison of thermal neutron fluence and also of neutron spectral fluence. The future concerns of Section III and the future of the equipment at the BIPM were discussed. Finally, there was an exchange of information on work in progress at the participants' laboratories.

Introduction

Section III (Neutron measurements)* of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)** held its tenth meeting at the Pavillon de Breteuil, Sèvres, on 19, 20 and 21 April 1993.

Present:

V.E. LEWIS, Chairman of Section III, National Physical Laboratory [NPL], Teddington.

* For the list of the members, *see* page R 75.

** Laboratories and organizations mentioned in this report are listed on page V.

Delegates of the member laboratories and organizations:

Bureau National de Métrologie, Paris: Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants [LPRI], Saclay (N. COURSOL).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (K. KUDO).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (D.M. GILLIAM).

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

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

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM] (T.J. QUINN).

Member:

E.J. AXTON, Chairman, Working Group on fluence-measurement transfer methods.

Observers:

Commissariat à l'Énergie Atomique, Service de Physique et Technique Nucléaires [CEA], Bruyères-le-Châtel (S. CRESPIN).

Institute for Reference Materials and Measurements [IRMM], Geel (E. WATTECAMPS).

Attended all or part of the meeting: P. GIACOMO, Director Emeritus of the BIPM; A. ALLISY, member of the CCEMRI; M. BOUTILLON, V.D. HUYNH, J.W. MÜLLER, G. RATEL (BIPM) ; A.-M. PERROCHE (guest worker at the BIPM).

Apologies were received from:

D. I. Mendelejev Institute for Metrology [VNIIM], Saint-Petersburg.

National Institute of Metrology [NIM], Beijing.

J.J. BROERSE, TNO Medical Biological Laboratory [TNO-MBL], Rijswijk.

The Director of the BIPM welcomed the participants of Section III. He explained that for this year the three sections would not meet simultaneously, thus enabling some participants to attend the meetings of more than one section. Consequently, the CCEMRI would not hold its next meeting until 1994, after receiving the reports of the meetings of the three sections.

The Chairman of Section III welcomed its members and observers, especially those attending for the first time: K. Kudo from the ETL and H. Klein from the PTB.

E.J. Axton and D.M. Gilliam accepted the task of Rapporteurs.

1. Report on the neutron work in progress at the BIPM

V.D. Huynh summarized the main activities of the BIPM neutron measurement group since 1991.

a) *International comparison of neutron fluence measurements at 2,5 MeV and 14,7 MeV using two Bonner spheres as transfer instruments*

The measurements reported at the meeting in 1991 have been repeated in order to check the stability of the instruments. Additional measurements were made with thicker targets so as to investigate the influence of neutron scattering in the target layer and backing. Details are given in Section 2a) below.

b) *Preparation and organization of the international comparison of neutron fluence at 24,5 keV*

See Section 2b) below.

c) *Long term stability checks on reference standards available at the BIPM*

Manganese bath measurements of the BIPM Ra-Be (α,n) source show that the neutron emission rate increased between 1969 and 1986 at the rate expected from the build-up of radium decay-products. Measurements of neutron absorbed dose since 1991 with the cavity ionization chambers show good stability, as do the associated particle counter arrangements used to measure neutron fluence at energies of 2,5 MeV and 14,7 MeV.

d) *Monte-Carlo calculations of neutron response functions and detection efficiencies of the BIPM NE-213 liquid scintillator*

Neutron spectrum measurements obtained with the liquid scintillator for 2,5 MeV and 14,7 MeV were compared with Monte-Carlo calculations and revealed discrepancies at higher energies which were believed to be due to a saturation effect in the measured spectra. In the ensuing discussion, H. Klein reported recent work at the PTB showing the need to use distinct non-linear light-output functions for electrons and various heavy charged particles. He found that excellent agreement was then obtained between calculated and observed detector responses for neutron energies up to 20 MeV. Although V.D. Huynh found good agreement between calculated and observed detector response for 2,5 MeV neutrons, there were very significant differences for 14,7 MeV neutrons in the work at the BIPM. V.D. Huynh reported good agreement at both energies between fluence rate measurements obtained by the associated particle method and NE-213 integrated spectral fluence results. After some discussion and a laboratory visit by H. Klein, V.D. Huynh agreed that the spectral discrepancy in the 14,7 MeV work at the BIPM must be due to an experimental artefact in the BIPM system.

2. Fast neutron fluence comparisons

a) *Bonner sphere comparison at 2,5 MeV and 14,7 MeV* (Coordinator: E.J. Axton)

E.J. Axton reviewed the history of the Bonner sphere comparison since it was first proposed in 1985 as a mini-comparison between four laboratories to test a suggestion by J.B. Hunt (NPL) that the calibration of Bonner spheres could be completed more rapidly by least squares fitting of experimental data taken over a range of short target-detector distances without the need for shadow-cone measurements. The proposal was that this procedure would reduce the measurement time needed by each participant, and hence the overall time-scale of the comparison.

The objectives of the comparison were:

- 1) to compare fluence measurements made in laboratories of different shapes and sizes, and therefore with different scattered neutron fields, by comparing the derived sphere-detection efficiencies,
- 2) to determine whether it is possible to obtain consistent values for the efficiency from a small number of measurements made close to the neutron source, where the count rates are high, without using shadow cones.

E.J. Axton had undertaken to perform a simultaneous non-linear least squares analysis of all four sets of data in order to ensure that all correlations were properly taken into account. At the ninth meeting in 1991 all four sets of results had been submitted, but not in time or in sufficient detail, to permit simultaneous evaluation. A report was presented which summarized 1) the measurements made by each participant, 2) the different techniques used to determine the neutron fluence, 3) the uncertainties considered and differences in their expression and 4) the differences in the mathematical treatment of the data used to determine the efficiencies of the detectors for each of the four sphere/energy combinations and for the two different methods (i.e. use of shadow cones and least-squares polynomial fitting, called method 1 and method 2, respectively).

Since 1991, the BIPM has submitted a new set of results which now include corrections for target-scattered neutrons (93-1)^{***}. The detection equipment has been shown to be stable within the experimental uncertainties over the period of the comparison. Corrections for target scattering were derived experimentally. At 2,5 MeV, agreement between the two methods is good. At 14,6 MeV, the polynomial model is believed to break down in analysis of the small sphere due to factors which include

^{***} Documents submitted by the participants are listed in Annexe R(III) 1, and are referred to in the text in the form 93-1, 93-2, etc.

1) secondary neutron sources such as the analysing magnet and various diaphragms, 2) the small size of the laboratory and 3) the fact that the small sphere has a higher response to unwanted neutrons than to direct beam neutrons. Similar problems occur to a lesser extent with the large sphere, but in this case there is reasonable agreement between the two methods.

No other changes were reported from the data available at the last meeting. The calculation of the inverse-covariance weighted mean efficiency for each of the four sphere/energy combinations has been repeated with the new data (93-2). The residuals as a percentage of the measured values are shown graphically in Figure 1, relative to the inverse-covariance weighted mean for each sphere/energy combination.

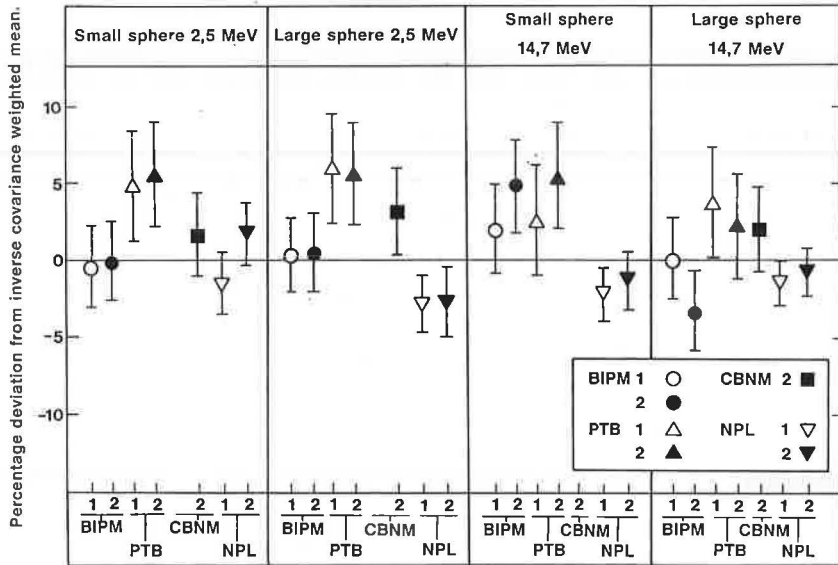


Fig. 1. — Results of the fluence measurement comparison at 2,5 MeV and 14,7 MeV. Method 1: with shadow cones, Method 2: by least-squares fitting.

The dominant sources of correlation are the uncertainties in the fluence measurements. Consequently, groups of four measurements (two spheres and two methods) derived from the same fluence are very strongly correlated and the picture conveys the impression that agreement is better than it actually is, because total error bars are displayed (68 % confidence limits).

General agreement between the participants has improved as a result of the new BIPM measurements. It is encouraging to know that the equipment remained stable throughout the four year period of the comparison. Fair agreement is achieved between the NPL and the

BIPM. The measurements of the IRMM (formerly the CBNM) and the PTB are somewhat higher. These differences are probably attributable to the problem of target-scattered neutrons. The corrections of the NPL and the BIPM are determined experimentally, and basically depend on fitting a straight line to an effect that may be non-linear, with only two points and a 100 % extrapolation. The PTB corrections are derived from Monte-Carlo calculations only. A comparison of the calculated spectral fluence of target-scattered neutrons with experimental data obtained by the time-of-flight technique is in progress. The PTB will take advantage of the 24 keV fluence comparison to repeat the measurements at 2,5 MeV and 14,7 MeV and so clarify the existing discrepancies. H. Klein agreed to calculate the corrections for the NPL and the BIPM with the Monte-Carlo programme. V.D. Huynh and V.E. Lewis agreed to send details of their target configurations to the PTB for this purpose.

It is clear that the polynomial model without shadow cone measurements is not valid for the BIPM, although this is probably attributable more to the presence of secondary neutron sources than to the small size of the laboratory. The situation may possibly be improved by erecting some additional shielding. Some participants mentioned that they prefer the shadow cone method, and one believes it to be quicker.

b) Bonner sphere comparison at 24,5 keV (Coordinator: V.D. Huynh)

Prior to the meeting a protocol was prepared by the working group (V.E. Lewis, R. Jahr and V.D. Huynh) and distributed to all interested parties. The protocol describes the neutron fields and energies available, arrangements for monitoring the stability of the proposed transfer instrument, and the experimental details and data required by the evaluator.

V.D. Huynh reported on the progress so far in the organization and preparations for the comparison, which will use the same sphere set as the previous comparison a). The BIPM has designed and constructed a polyethylene sphere, 200 mm in diameter, in which a 0,1 Ci (3,7 GBq) Am-Be neutron source may be inserted to produce a stable neutron field for use in a test jig. This makes it possible to check the stability of the Bonner sphere system throughout the duration of the comparison.

It had been hoped to start the comparison in late 1992 with measurements at the VNIIM using a Sb-Be neutron field. Unfortunately, despite repeated efforts by the BIPM, no word had been received from the VNIIM since September 1992. Consequently, the set of spheres was sent instead to the NIST for measurements to be made in the filtered reactor beam during the period from April to June 1993. A tentative timetable is shown in Table 1. It is hoped that the VNIIM will be able to participate in the comparison in 1995.

TABLE 1

*Timetable for an international comparison
of 24,5 keV neutron fluence measurements*

Laboratory	Measurement period	Neutron field
NIST	April-June 1993	Filtered reactor beam
IAE	Autumn 1993	Filtered beam Sb-Be
PTB	Spring 1994	Filtered beam $^{45}\text{Sc}(p,n)$ $^7\text{Li}(p,n)$
NPL	Autumn 1994	$^{45}\text{Sc}(p,n)$ Sb-Be
ETL	1994 or 1995	$^{45}\text{Sc}(p,n)$

H. Klein recommended the use of calculated response functions to facilitate spectral corrections. For this purpose the recent calculations of the GSF (M. Mares et al.) may be applied, although these calculations are based on a very simple model of the detector system. H. Klein suggested recalculating the response functions for the three spheres used in the 24 keV comparison, employing the refined detector model in use at the PTB. V.E. Lewis agreed to send details of the sphere design and the density of the polyethylene to the PTB. The IRMM is, in principle, interested in participating, using a neutron field produced by the $^7\text{Li}(p,n)$ reaction. A lithium layer coated with a thin layer of gold for stability is being investigated. The PTB is considering the use of the same neutron-producing reaction, but with a LiH target. V.D. Huynh will continue to coordinate the comparison until his retirement in summer 1995; it is unlikely that he will be available for the evaluation of the results. It is possible that a competent evaluator may be found among the staff of one of the participating laboratories, someone not directly associated with the measurements, yet aware of the need to preserve the essential 'blindness' of the comparison. It was decided that the situation should be reviewed at the next meeting, hopefully before the retirement of the present coordinator.

c) Analysis of the $^{115}\text{In}(n,n')$ comparison at 14,8 MeV (Coordinator : H. Liskien)

The preliminary analysis of the results of the $^{115}\text{In}(n,n')$ comparison at 14,8 MeV shows large differences between the results of the participating laboratories. The differences are known to originate in the effects of target interactions, to which the use of this reaction is very

sensitive, rather than in errors in the primary measurements of fluence. The concurrent comparison based on the activation of niobium shows no such differences. H. Klein reported that, although the PTB programme is available for calculation of the appropriate corrections, vital information regarding some of the target configurations is not available. In some cases the corrections would be very large, and could not be calculated with sufficient accuracy. As the measurements were made twelve years ago, it was decided that this comparison merits no further effort.

3. Thermal neutron fluence measurement comparison

D.M. Gilliam of the NIST discussed his proposal for a new comparison of thermal neutron fluence measurements, which would emphasize beam geometry and higher fluence rates than were typical in the 1966-1968 comparison. A copy of this proposal and a cover letter, which were mailed to Section III participants on 31 March 1993, are included in 93-12. The NIST proposes to provide a set of ^{10}B ionization chambers to serve as transfer instruments for the comparison. Tentative indications of interest in participation have already been received from the ETL, the NPL, the PTB and the VNIIM pending agreement on the protocol. Other expressions of interest may yet be forthcoming after there has been more time for consultation between participating national standards laboratories and other laboratories within their countries.

In a message (93-14) received just prior to the meeting, I.A. Kharitonov (VNIIM) suggested that more of the national standards laboratories would be able to participate directly in the comparison if it were to include a geometry intermediate between the nearly isotropic diffusion fields which were typical of the 1966-1968 comparison and the beam geometry favoured by D.M. Gilliam. The proposed intermediate-geometry field would be the thermal neutron field at 300 mm from a 192 mm diameter polyethylene sphere driven by a ^{252}Cf source at the centre. The paths of neutrons in this field would be contained within a cone of 18° half-angle. This degree of collimation would work very well with the proposed transfer chambers and the 40 mm aperture geometry proposed by the NIST. D.M. Gilliam welcomed this suggestion and will discuss it with other potential participants when he draws up the protocol for the comparison.

H. Klein presented suggestions of M. Matzke of the PTB that the quantity reported in the comparison should be the $2\ 200\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ fluence rate, together with as much information as possible about the neutron spectrum employed. He also suggested that participants should, if possible, report the integral neutron fluence below the cadmium cutoff. D.M. Gilliam agreed to follow these suggestions in the preparation of the protocol.

It is expected that this new comparison will begin within the next two to four years.

E.J. Axton proposed that a new simultaneous evaluation of all the cross section data employed in thermal flux determinations would be an appropriate adjunct to the experimental comparison (93-3). D.M. Gilliam will discuss this suggestion with A. Carlson of the Cross Section Evaluation Working Group and report his views to V.E. Lewis and E.J. Axton.

4. Comparison of spectral fluence measurements

H. Klein set out a preliminary proposal for a CCEMRI comparison of spectral fluence measurements employing a set of transportable sources.

The transportable sources might include bare ^{252}Cf , D_2O -moderated Cf, Am-Be, Am-B, and an "unknown" source-shield-moderator combination. The absolute emission rates of the radioactive sources could be determined by the Mn-bath method at the NPL. Participating laboratories would determine absolute spectral fluence rates.

H. Klein reviewed recent European activities with Bonner spheres, proton recoil proportional counters and NE-213 liquid scintillators. He also described the interests of the EURADOS Working Group 7 in "realistic" calibration fields. Copies of the transparencies he used for this discussion are available in 93-13.

H. Klein volunteered to circulate**** a questionnaire for the purpose of compiling the opinions of possible participants regarding interest, required fluence rates, preferences, shipping and handling problems, and alternative options. Interested participants are asked to reply by September 1993. D.M. Gilliam agreed to consult possible US participants, including Battelle PNL (L.W. Brackenbush) and the Aberdeen Proving Grounds (C. Heinbach).

5. Future activity of Section III

V.E. Lewis stated that he and R. Jahr had reported to the CCEMRI on the last meeting of Section III. The CCEMRI put forward a recommendation to the CIPM that "the BIPM should develop the necessary instrumentation and facilities for neutron spectrometry over a wide range of energy". This was subsequently rejected at the 1991 meeting of the CIPM, which requested a discussion paper on the future orientation of ionizing radiation work at the BIPM. T.J. Quinn explained that he had prepared a note which he had first circulated for comment to the CIPM members from national standards laboratories active in neutron metrology and to the Chairman of Section III.

**** It was subsequently decided to delay the circulation of the questionnaire until after the meeting of the EURADOS Working Group 7 in September 1993.

The note reviews the work at the BIPM in neutron metrology and the anticipated staff situation following retirements in the coming few years. It concludes that it would be in the best long term interest of the ionizing radiations programme at the BIPM to implement the 1985 decision of the CIPM to transfer resources from the neutron work to the x- and γ -ray work. This view was supported, albeit reluctantly, by the CIPM and it was decided to cease neutron work at the BIPM following the retirement in 1995 of V.D. Huynh and his technician L. Lafaye. Their replacements will be recruited to the x- and γ -ray group so as to ensure its viability following the retirement of Mme Perroche, the long-term SCPRI guest worker.

T.J. Quinn explained that the decision was taken for the following reasons: lack of comparison exercises in the foreseeable future at the energies available at the BIPM, lack of use of the BIPM facilities and standards by countries other than those represented in Section III, and the choice between having two groups of one scientist and one technician in the neutron and photon fields or having a single, larger and more viable group in only the photon work. He expressed his satisfaction and that of the CIPM with the work and achievements, over many years, of V.D. Huynh and L. Lafaye.

On behalf of Section III, V.E. Lewis paid tribute to their work which was a major contribution to the improvement in the accuracy of neutron metrology. He noted that the BIPM had invariably produced results of the highest quality and consistency in the many comparisons in which it had participated. The loss of the work at the BIPM would be a serious blow to the activities of Section III. One problem would be the organization and analysis of future comparisons in addition to that just started. It was acknowledged however that in some past comparisons the evaluators had come from participating laboratories, and it was felt that this problem could be dealt with in a manner that preserved the essential impartial nature of the work.

T.J. Quinn emphasized that neither the continuation of Section III nor the work in the other fields of ionizing radiations at the BIPM were in question. The section noted that there was very little overlap between the fields covered by the three sections of the CCEMRI, although all deal with the metrology of ionizing radiations. Some applications of neutron metrology do employ the measurement of radioactivity and that of the photon dose in mixed fields, but the problems and instrumentation of the three fields are entirely different.

The future of the equipment at BIPM was discussed. The 150 kV accelerator and manganese bath would remain in operation until 1995, and no decision was required at present. The disposal of the radionuclide reference sources, as required by European legislation, is expensive. D.M. Gilliam however, expressed an interest in their being acquired by the NIST, which would pay any transportation costs, and it was agreed that this option would be examined.

In recent years, several sets of instrumentation were calibrated as reference standards in comparisons organized under the auspices of Section III. It had been planned that the BIPM would eventually acquire this collection, but so far it owns only two of the sets. The Bonner sphere system used for the 2,5 MeV and 14,7 MeV fluence measurement comparisons was currently being circulated for the 24,5 keV exercise. The spheres had been made by the NPL and nominally given to the BIPM, which supplied the ^3He counter. It was thought reasonable for the NPL to take possession of the set again in two to three years time, after the present comparison exercise, and to maintain them for use by other members. The set would include the ^3He counter which was dedicated to it. The ionization chambers used in the comparisons of measurements of absorbed dose would remain at the BIPM, where they could be maintained and periodically calibrated in a photon field by the x- and γ -ray dosimetry group, for use by other laboratories.

The ^{235}U and ^{238}U fission chambers used in the comparison organized by D.B. Gayther were reported to remain in the possession of their owner, Harwell Laboratory, which had declined to donate them to the BIPM. H. Klein stated that the PTB would very much like to buy these detectors for time-of-flight and other measurements, and for use at energies up to 100 MeV. The PTB would maintain the chambers and would be prepared to allow their use by other laboratories for Section III activities. This suggestion was welcomed by members, and it was agreed that the Chairman would write to Harwell on behalf of Section III to see if the chambers were still available for purchase.

The niobium-zirconium reference standard system had not yet been set up at the BIPM. The NPL well-type Ge(Li) detector calibrated in the 1981 comparison of 14 MeV to 15 MeV fluence measurements was reported to remain at the NPL where it is used in the radioactivity measurements section. The standard is still offered as a service for neutron measurements, but has not been requested by other laboratories for some years.

6. Exchange of information on work in progress at participants' laboratories

A very interesting exchange of information took place, including brief summaries of work in progress at their laboratories, given by K. Kudo, H. Klein, V.E. Lewis, S. Crespin, E. Wattecamps and D.M. Gilliam.

7. Visit to the BIPM laboratories

An informative tour of the laboratories for the standardization of mass and of gravitation was arranged.

8. Other business

It was agreed that the Chairman would produce and circulate a nine-monthly progress report on the comparisons and on the actions agreed at this meeting. It was also agreed that it would be useful to circulate a list of participants with addresses, telephone numbers, facsimile-machine numbers and electronic mail addresses.

The Chairman noted that E.J. Axton would be retiring from service to Section III with the writing of the report of this meeting. V.E. Lewis expressed the gratitude of the Section to him for more than thirty years of service to the CCEMRI, nearly twenty of them as the Rapporteur of the Section III meetings, for concluding the work of the Working Group on fluence transfer methods and for his continued long-term availability.

The Chairman thanked all the participants and expressed his gratitude to the staff of the BIPM for their hospitality.

9. Operational quantities for radiation protection

Following a request by the CIPM, Sections I and III held a joint session on 21 April 1993 on a topic of mutual interest. The subject had been chosen by the two Chairmen after discussions in 1992. They invited A. Allisy, Chairman of the ICRU, to give a presentation on dose equivalent quantities. In this the various definitions were explained, including those recently introduced by the ICRP and the operational quantities introduced earlier. Calculated values for the relevant fluence to dose equivalent conversion factors, based on the recommendation for the calculation of quality factor from linear energy transfer, were presented for both neutron and photon fields over wide ranges of energy. The difficulties encountered in implementing the ICRP proposals were discussed. The ICRU does not accept the concept of w_R , the radiation weighting factor, which is determined solely by the type and energy of the incident radiation. There will be a joint ICRU/ICRP committee to resolve this difficulty.

Following this wide-ranging talk, V.E. Lewis, K. Kudo and H. Klein each gave short presentations on the measurements and services at the ETL, the NPL and the PTB, respectively, in neutron metrology for radiation protection. The session ended with more discussions and questions.

June 1993, revised September 1993

APPENDIX R(III) 1

**Working documents submitted to
Section III of the CCEMRI at its 10th Meeting**

(*see* the list of documents on page R 65)

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS
DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

13^e session (1994)

13th Meeting (1994)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le présent volume	v
List of acronyms used in the present volume	v
Le BIPM et la Convention du Mètre	ix
Liste des membres du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	xi
Ordre du jour	xvi
Rapport au Comité international des poids et mesures, par V.E. Lewis . . .	R 1
Résumé	R 1
Ouverture de la réunion	R 1
1. Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM	R 2
Section I — Rayons x et γ , électrons	R 2
Section II — Mesure des radionucléides	R 4
Section III — Mesures neutroniques	R 6
2. Travaux futurs	R 8
3. Rapport à la Conférence générale des poids et mesures	R 9
4. Prochaines réunions des sections du CCEMRI et composition du CCEMRI	R 9
5. Questions diverses	R 9
 SECTION I (Rayons x et γ , électrons), 11 ^e réunion (avril 1993)	 R 11
Ordre du jour	R 12

	Pages
Rapport , par N.J. Hargrave	R 13
Résumé	R 13
Ouverture de la réunion	R 13
1. Travaux liés aux comparaisons d'étalons	R 15
2. Facteurs de correction et incertitudes appliqués aux chambres à cavité en graphite utilisées comme étalons de kerma dans l'air pour le rayonnement gamma du ⁶⁰ Co	R 17
3. Étalonnage des chambres à électrodes planes parallèles utilisées en dosimétrie des électrons	R 19
4. Détermination expérimentale du facteur C_{λ}^x , au BIPM	R 20
5. Travaux et comparaisons dans le domaine des rayons x de haute énergie	R 21
6. Spécification de la qualité des faisceaux	R 22
7. Utilisation et comparaison des programmes de calcul par la méthode de Monte Carlo	R 22
8. Travaux futurs au BIPM	R 23
9. Étalons dans le domaine de la curiethérapie	R 24
10. Étalons utilisés en radioprotection	R 25
a) Au BIPM	R 25
b) Dans les laboratoires nationaux de métrologie	R 25
11. Mesures du potentiel des tubes à rayons x ne nécessitant aucune intervention sur l'instrument	R 26
12. Étalons dans le domaine des rayonnements à usage industriel	R 26
13. Rapports d'activité des laboratoires membres	R 27
14. Rapport de l'AIEA	R 27
15. Publicité	R 28
16. Questions diverses	R 28
17. Prochaine réunion	R 28
 Annexe	
R(I) 1. Documents de travail présentés à la 11 ^e réunion de la Section I du CCEMRI	R 29
 SECTION II (Mesure des radionucléides), 12 ^e réunion (juin 1993)	R 33
Ordre du jour	R 34
 Rapport , par B.R.S. Simpson	R 35
Résumé	R 35
Ouverture de la réunion	R 36
1. Résultats de comparaisons récentes de mesures d'activité	R 37
a) Résultats de la comparaison internationale de ⁷⁵ Se	R 37
b) Publication des résultats de comparaisons récentes	R 39

	Pages
2. Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)	R 39
a) Système actuel de chambres d'ionisation	R 39
b) Extension aux émetteurs bêta avec le système à scintillation liquide	R 40
3. Rapports des groupes de travail	R 41
a) Principes de la méthode des coïncidences	R 41
b) Bibliographie sur les temps morts	R 41
c) Préparation des sources	R 41
d) Monographie sur les chambres d'ionisation	R 41
e) Expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée utilisés pour les mesures d'activité	R 42
f) Mesure de taux de comptage élevés	R 42
g) Comparaisons futures de mesures d'activité	R 42
h) Approvisionnement groupé en radionucléides	R 42
4. Travaux du Bureau international des poids et mesures	R 43
a) Statistique de Poisson après une division	R 43
b) Points d'intersection de Poisson	R 43
c) Progrès de la méthode de parité	R 43
d) Méthode de Galushka	R 44
e) Incertitudes sur la mesure de τ	R 44
f) Mesure du ^{75}Se effectuée au BIPM	R 44
5. Rapports d'activité des laboratoires membres	R 45
6. Questions diverses	R 45
a) Comparaison de nucléides à durée de vie courte	R 45
b) Déviation éventuelle des résultats de la comparaison internationale de ^{125}I	R 45
c) Prochaine réunion	R 45
7. Visite de laboratoires du BIPM	R 45
8. Questions diverses	R 46

Annexe

R(II) 1. Documents de travail présentés à la 12 ^e réunion de la Section II du CCEMRI	R 47
SECTION III (Mesures neutroniques), 10 ^e réunion (avril 1993)	R 49
Ordre du jour	R 50
Rapport , par E.J. Axton et D.M. Gilliam	R 51
Résumé	R 51
Ouverture de la réunion	R 51
1. Rapport sur les travaux du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques	R 53
a) Comparaison internationale de mesures de fluence de neutrons à 2,5 MeV et 14,7 MeV utilisant deux sphères de Bonner comme instruments de transfert	R 53

	Pages
b) Préparation et organisation de la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons à 24,5 keV	R 53
c) Vérification de la stabilité à long terme des étalons de référence dont dispose le BIPM	R 53
d) Calcul par la méthode de Monte Carlo de la fonction de réponse aux neutrons et de l'efficacité du détecteur à scintillation liquide NE-213 du BIPM	R 53
2. Comparaisons de débit de fluence de neutrons rapides	R 54
a) Comparaison à 2,5 MeV et 14,7 MeV avec des sphères de Bonner	R 54
b) Comparaison à 24,5 keV avec des sphères de Bonner	R 57
c) Analyse de la comparaison utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n,n')$ à 14,8 MeV	R 58
3. Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques	R 59
4. Comparaison de mesures de fluence spectrale	R 60
5. Activités futures de la Section III	R 61
6. Échange d'informations sur les travaux en cours dans les laboratoires représentés à la réunion	R 63
7. Visite de laboratoires du BIPM	R 63
8. Questions diverses	R 63
9. Grandeurs opérationnelles dans le domaine de la radioprotection	R 64

Annexe

R(III) 1. Documents de travail présentés à la 10 ^e réunion de la Section III du CCEMRI	R 65
---	------

English text of the report

Note on the use of the English text. Note sur l'utilisation du texte anglais	R 69
The BIPM and the Convention du Mètre	R 71
Members of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants	R 73
Agenda	R 76
Report to the Comité International des Poids et Mesures, by V.E. Lewis	R 77
Abstract	R 77
Introduction	R 77
1. Reports of the three sections of the CCEMRI and related BIPM work	R 78
Section I — X and γ rays, electrons	R 78
Section II — Measurement of radionuclides	R 80
Section III — Neutron measurements	R 82
2. Programme for future work	R 83
3. Report to the Conférence Générale des Poids et Mesures	R 84
4. Meetings of the sections of the CCEMRI and membership of the CCEMRI	R 84
5. Other business	R 85

	Pages
SECTION I (X and γ rays, electrons), 11th Meeting (April 1993)	R 87
Agenda	R 88
Report , by N.J. Hargrave	R 89
Abstract	R 89
Introduction	R 89
1. Work relating to comparisons of standards	R 91
2. Correction factors and uncertainties applied to graphite cavity chambers used as standards of air kerma for ^{60}Co gamma rays	R 93
3. Calibration of plane-parallel chambers for use in electron dosimetry	R 95
4. Experimental determination of C_{λ}^* at the BIPM	R 96
5. Work and comparisons in the high-energy x-ray field	R 96
6. Beam quality specification	R 97
7. Use and comparison of Monte-Carlo codes	R 98
8. Future work at the BIPM	R 98
9. Standards for brachytherapy	R 99
10. Standards for radiation protection	R 100
a) At the BIPM	R 100
b) At the national standards laboratories	R 100
11. Non-invasive measurement of x-ray tube potential	R 101
12. Standards for radiation processing	R 101
13. Reports from member laboratories	R 101
14. Report from the IAEA	R 102
15. Publicity	R 102
16. Other items	R 102
17. Next meeting	R 102
 Appendix	
R(I) 1. Working documents submitted to Section I of the CCEMRI at its 11th Meeting (<i>see</i> page R 29)	R 103
SECTION II (Measurement of radionuclides), 12th Meeting (June 1993)	R 105
Agenda	R 106
Report , by B.R.S. Simpson	R 107
Abstract	R 107
Introduction	R 107
1. Results of recent comparisons of activity measurements	R 109
a) Results of the ^{75}Se full-scale international comparison	R 109
b) Status of publication of recent comparisons	R 111

	Pages
2. International Reference System for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR)	R 111
a) Present ion-chamber system	R 111
b) Extension to beta emitters with the liquid-scintillation system	R 111
3. Reports of the working groups	R 112
a) Principles of the coincidence method	R 112
b) Dead-time bibliography	R 112
c) Source preparation	R 113
d) Ionization chamber monograph	R 113
e) Experiments with high-efficiency NaI(Tl) systems used for activity measurements	R 113
f) High-count rate measurements	R 113
g) Future comparisons of activity measurements	R 113
h) Joint procurement of radionuclides	R 114
4. Work at the BIPM	R 114
a) Poisson statistics after a division	R 114
b) Poisson crossing points	R 114
c) Progress with the parity method	R 114
d) Galushka method	R 115
e) Uncertainty in the measurement of τ	R 115
f) ^{75}Se measurement performed at the BIPM	R 115
5. Reports from member laboratories	R 115
6. Other business	R 116
a) Comparison of short-lived nuclides	R 116
b) Possible bias in the results of the ^{129}I international comparison	R 116
c) Next meeting	R 116
7. Visit to the BIPM laboratories	R 116
8. Other business	R 116

Appendix

R(II) 1. Working documents submitted to Section II of the CCEMRI at its 12th Meeting (<i>see</i> page R 47)	R 117
SECTION III (Neutron measurements), 10th Meeting (April 1993)	R 119
Agenda	R 120
Report , by E.J. Axton and D.M. Gilliam	R 121
Abstract	R 121
Introduction	R 121
1. Report on the neutron work in progress at the BIPM	R 123
a) International comparison of neutron fluence measurements at 2,5 MeV and 14,7 MeV using two Bonner spheres as transfer instruments	R 123
b) Preparation and organization of the international comparison of neutron fluence at 24,5 keV	R 123

	Pages
c) Long term stability checks on reference standards available at the BIPM	R 123
d) Monte-Carlo calculations of neutron response functions and detection efficiencies of the BIPM NE-213 liquid scintillator	R 123
2. Fast neutron fluence comparisons	R 124
a) Bonner sphere comparison at 2,5 MeV and 14,7 MeV	R 124
b) Bonner sphere comparison at 24,5 keV	R 126
c) Analysis of the $^{115}\text{In}(n,n')$ comparison at 14,8 MeV	R 127
3. Thermal neutron fluence measurement comparison	R 128
4. Comparison of spectral fluence measurements	R 129
5. Future activity of Section III	R 129
6. Exchange of information on work in progress at participants' laboratories	R 131
7. Visit to the BIPM laboratories	R 131
8. Other business	R 132
9. Operational quantities for radiation protection	R 132

Appendix

R(III) 1. Working documents submitted to Section III of the CCEMRI at its 10th Meeting (<i>see</i> page R 65)	R 133
--	-------



IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal : Imprimeur, 1995, n° 8740
ISBN 92-822-2134-2
ISSN 0255-3147

ACHEVÉ D'IMPRIMER : AVRIL 1995

Imprimé en France

11/11/11 11:11 AM