

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS
SESSION DE 1977

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

COMITÉ CONSULTATIF
POUR
LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

7^e SESSION — 1977

(18-19 juillet)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2055-9

NOTICE HISTORIQUE

Les organes de la Convention du Mètre

Le Bureau International, le Comité International et la Conférence Générale des Poids et Mesures

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

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre (1).

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

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

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

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

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

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

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

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. La dotation du Bureau International pour l'année 1978 est de l'ordre de 6 000 000 de francs-or, soit environ 2 400 000 dollars U.S.

(1) Au 31 décembre 1978, quarante-cinq États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

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

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

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité* (CCE), créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au *Comité Consultatif de Photométrie* (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie* (CCT), créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (CCDM), créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (CCDS), créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (CEMRI), 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.

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

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

Le Bureau International publie de temps en temps, sous le titre *Les récents progrès du Système Métrique*, un rapport sur les développements du Système Métrique (SI) dans le monde.

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

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

Comité International des Poids et Mesures

Secrétaire
J. DE BOER

Vice-Président
P. HONTI

Président
J. V. DUNWORTH

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Président: E. AMBLER, National Bureau of Standards, *Washington*,
D.C. 20234.

Membres:

P. J. CAMPION (président de la Section II), National Physical Laboratory,
Teddington.

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

W. A. JENNINGS (président de la Section I), National Physical Laboratory,
Teddington.

Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres*.

SECTION I. *Rayons X et γ , électrons*

Président: W. A. JENNINGS, National Physical Laboratory, *Teddington*.

Membres:

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

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], *Ottawa*.

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], *Tokyo*.

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

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS
[ICRU], *Washington*.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], *Washington*.
NATIONAL INSTITUTE OF RADIATION PROTECTION [NIRP], *Stockholm*.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], *Teddington*.
ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI HIVATAL [OMH], *Budapest*.
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], *Braunschweig*.
POLSKI KOMITET NORMALIZACJI I MIAR [PKNM], *Varsovie*.
RIJKS INSTITUUT VOOR DE VOLKSGEZONDHEID [RIV], *Utrecht*.
A. ALLISY, Conservatoire National des Arts et Métiers, *Paris*.
A. BROSED, Junta de Energia Nuclear, *Madrid*.

SECTION II. *Mesure des radionucléides*

Président: P. J. CAMPION, National Physical Laboratory, *Teddington*.

Membres:

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris: Laboratoire de Métrologie
des Rayonnements Ionisants [LMRI], *Saclay*.
CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], *Ottawa*.
INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [IMM], *Leningrad*.
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], *Washington*.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], *Teddington*.
NATIONAL PHYSICAL RESEARCH LABORATORY [NPRL], *Pretoria*.
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], *Braunschweig*.
J.-J. GOSTELY, Institut d'Électrochimie et Radiochimie, EPFL, *Lausanne*.
C. E. GRANADOS, Junta de Energia Nuclear, *Madrid*.
J. G. V. TAYLOR, Atomic Energy of Canada Limited, *Chalk River*.
H. VONACH, Institut für Radiumforschung und Kernphysik, *Wien*.

SECTION III. *Mesures neutroniques*

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

Membres:

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], *Ottawa*.
ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], *Tokyo*.
INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [IMM], *Leningrad*.
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], *Washington*.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], *Teddington*.
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], *Braunschweig*.

ORDRE DU JOUR

de la 7^e Session

1. Exposé du Président du CCEMRI sur le but de la réunion.
 2. Rapports d'activité des trois Sections du CCEMRI, travaux accomplis et travaux projetés.
 3. Questions diverses.
-

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

(7^e Session — 1977)

AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par R. S. CASWELL, Rapporteur

Abstract

An account of the activity, for the period of July 1975 to July 1977, is given for the three Sections of the Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants: Section I, Rayons X et γ , électrons; Section II, Mesure des radionucléides; Section III, Mesures neutroniques. The report of the chairman of each section is followed by the presentation of the work carried out at BIPM by the corresponding group. Finally, the program of the Ionizing Radiation Measurements Section at BIPM is discussed.

Résumé

On décrit l'activité, de juillet 1975 à juillet 1977, des trois Sections du Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants: Section I, Rayons X et γ , électrons; Section II, Mesure des radionucléides; Section III, Mesures neutroniques. Dans chaque cas, le rapport du président de la section est suivi d'une présentation des travaux effectués au BIPM par le groupe correspondant. Enfin, le programme de travail de la Section des rayonnements ionisants du BIPM est également discuté.

La septième session du Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) s'est tenue au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les lundi 18 et mardi 19 juillet 1977.

Etaient présents:

E. AMBLER, membre du CIPM, président du CCEMRI.
W.A. JENNINGS, président de la Section I; National Physical Laboratory (NPL), Teddington.
P.J. CAMPION, président de la Section II; National Physical Laboratory (NPL), Teddington.
R.S. CASWELL, président de la Section III; National Bureau of Standards (NBS); Washington.
le Directeur du BIPM (J. TERRIEN).

Assistaient aussi à la réunion: P. GIACOMO, sous-directeur du BIPM;
A. ALLISY, A. RYTZ, J.W. MÜLLER, V.D. HUYNH (BIPM);
Mme M. BOUTILLON, Mlles M.-T. NIATEL et A.-M. ROUX,
en stage au BIPM; Mlle D. GUEGAN (BIPM).

Mr Ambler, président, ouvre la séance et désigne Mr Caswell comme rapporteur. L'ordre du jour est adopté avec une légère modification: la présentation des travaux effectués par les divers groupes du BIPM sera faite immédiatement après le rapport du président de la Section correspondante du CCEMRI.

Le but de la réunion est, d'une part, de préparer le rapport du Président du CCEMRI au Comité International des Poids et Mesures (CIPM) et, d'autre part, de passer en revue l'activité et les problèmes des Sections, ainsi que le travail de la Section des Rayonnements Ionisants du BIPM.

RAPPORTS D'ACTIVITÉ DES TROIS SECTIONS DU CCEMRI

Section I - Rayons X et γ , électrons (Président: W.A. Jennings)

Mr Jennings indique que le passage aux unités SI pose un problème à la Section I en ce qui concerne la grandeur exposition et l'unité C/kg. Lors de la réunion de cette Section, en mai 1977, on a proposé de remplacer l'exposition par la grandeur kerma dans l'air. L'adoption de cette proposition permettrait d'utiliser le gray (Gy) comme unité pour les mesures d'étalons primaires - unité dont se sert déjà l'utilisateur pour la dose absorbée - sans avoir à passer par l'intermédiaire peu commode d'une conversion en C/kg. En ce qui concerne les étalons primaires dans le domaine de 0,1 à 1,0 MV, le kerma dans l'air est sous certains aspects une grandeur plus appropriée que la dose absorbée pour les étalonnages primaires. Cependant, l'adoption du kerma dans l'air entraînerait des difficultés pratiques dans différents pays et dans la graduation des échelles des instruments de routine. Après une longue discussion au sein de la Section I, il a été décidé qu'une réunion complémentaire serait nécessaire pour résoudre cette question et elle a été prévue pour décembre 1977, à Washington, D.C. Entre-temps, les laboratoires nationaux et le BIPM étudieront la possibilité de passer des étalons d'exposition aux étalons de kerma dans l'air et les incidences d'un tel changement dans leur pays.

En plus des comparaisons d'étalons d'exposition effectuées par les laboratoires nationaux au BIPM, la Section I est tenue informée des comparaisons d'étalons effectuées dans le monde, dont les listes apparaissent dans les rapports de la Section I. De telles comparaisons ont été effectuées ces deux dernières années entre des laboratoires des pays de l'Europe de l'Est, à savoir: IMM*, ASMW, PKNM et trois laboratoires de Tchécoslovaquie.

Des comparaisons de dose absorbée pour des rayons β (domaine de la radioprotection) ont été effectuées récemment entre le LMRI* et la PTB, et entre la PTB et le NPL. L'accord entre les résultats est excellent. Aucune comparaison n'a eu lieu dans le domaine de la radiothérapie.

Au cours de la réunion de la Section I, en 1975, des désaccords étaient apparus sur les corrections d'humidité, dans le cas des chambres à parois d'air et des chambres à cavité. Ils ont été dissipés grâce à de nouvelles mesures faites au PKNM sur les chambres à parois d'air et au RIV* sur les chambres à cavité.

La Section I a discuté différentes propositions pour exprimer l'incertitude sur les certificats d'étalonnage mais n'a pris aucune décision. Ce sujet sera le second point à étudier lors de la réunion de décembre 1977. MM. Jennings et Campion soulignent l'urgence du problème, qui est due au fait que des organisations telles que le réseau des Secondary Standards Dosimetry Laboratories (OMS/AIEA*) et le British Calibration Service souhaitent que les étalonnages soient exprimés de façon uniforme et au moyen d'un seul nombre. La principale difficulté est de savoir comment combiner les erreurs systématiques et les erreurs aléatoires. Mr Campion pense que la décision devrait être prise "au sommet" et répercutée sur les utilisateurs. S'il est possible que des laboratoires d'étalonnage nationaux expriment les incertitudes d'une manière compliquée, l'utilisateur désire qu'elles soient présentées de façon simple et à l'aide d'un seul nombre (qui puisse indiquer si un instrument est conforme ou non à une réglementation donnée). Ce problème est commun à tous les domaines de la métrologie et aux étalonnages et Mr Campion suggère que le CIPM examine cette question. L'étude pourrait être confiée à un Comité Consultatif spécial. Mr Caswell pense que la création par le CIPM d'un comité ad hoc serait peut-être plus appropriée. Mr Terrien signale que l'expression de l'exactitude est aussi un problème pour l'OIML* et qu'une liaison avec cet organisme est nécessaire. Mr Jennings mentionne qu'un projet de résolution sur l'expression de l'exactitude sera adressé aux membres de la Section I avant la réunion de décembre. Une approche générale de la question se trouve dans un document de Mr Campion [1]. Mr Ambler accepte de présenter le problème au CIPM dans son rapport de Président du CCEMRI.

-
- * AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne
 - ASMW : Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, République Démocratique Allemande
 - IMM : Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, URSS
 - LMRI : Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, France
 - NPL : National Physical Laboratory, Royaume-Uni
 - OIML : Organisation Internationale de Métrologie Légale, Paris
 - OMS : Organisation Mondiale de la Santé, Genève
 - PKNM : Polski Komitet Normalizacji i Miar, Pologne
 - PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt, République Fédérale d'Allemagne
 - RIV : Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, Pays-Bas

[1] Campion, P.J., Problems in the statement of uncertainties, National Physical Laboratory, Teddington, 1977, 4 p. (non publié).

Deux laboratoires nationaux ont déjà apporté leur étalon calorimétrique de dose absorbée au BIPM et ont effectué des mesures de comparaison au moyen de la source de ^{60}Co de 170 TBq (pour les détails, voir le rapport de la Section I, 4^e réunion, 1977). Quatre autres laboratoires nationaux se proposent d'effectuer des mesures analogues. Les comparaisons d'étalons d'exposition, ou peut-être d'étalons de kerma dans l'air, continueront d'être assurées périodiquement, selon les besoins. Des études complémentaires sont nécessaires pour déterminer le point effectif de mesure dans les chambres d'ionisation et les laboratoires nationaux sont invités à entreprendre un tel travail.

Il existe entre 80 et 90 usines de traitement de produits commerciaux au moyen de rayonnements. L'AIEA aimerait organiser des comparaisons dans ce domaine et la CEI* s'y intéresse également. Le rôle de la Section I dans ce domaine n'a pas été défini. Au cours de la réunion de mai 1977, on a demandé aux membres de préparer pour 1979 un rapport sur l'uniformité et l'exactitude requises dans les mesures de rayonnements à usage industriel.

D'autres sujets ont été mentionnés qui présentent un intérêt permanent: mesures en radioprotection, mesures de débits de dose très élevés et besoin de comparaisons aux énergies élevées (au-dessus de l'énergie du ^{60}Co) pour les faisceaux d'électrons et de photons. Dans ce dernier cas, il existe des différences de 4 à 5% entre les valeurs du facteur de conversion C_{λ} utilisé pour déterminer la dose absorbée à partir d'une mesure de l'exposition. Une discussion détaillée de la question est prévue pour la réunion de 1979. Des comparaisons aux énergies élevées pourraient être effectuées dans un laboratoire national sous les auspices du CCEMRI.

On sait peu de choses sur l'adoption des nouvelles unités SI de dose absorbée et d'activité, le gray et le becquerel. Dans une lettre commune adressée au CCU*, l'ICRP et l'ICRU ont proposé un nouveau nom, le sievert, pour l'unité SI d'équivalent de dose. Le sievert remplacerait le rem.

La Section I continue à s'intéresser au réseau de laboratoires dotés d'étalons secondaires, établi par l'AIEA et l'OMS. Il n'est pas nécessaire que tous les pays possèdent un laboratoire équipé d'étalons primaires; dans bien des cas des étalons secondaires suffisent. Quarante pays sont intéressés par une organisation de ce genre; 24 laboratoires ont été désignés comme membres du réseau et six d'entre eux sont actifs.

Mr Allisy parle de l'acquisition de la source intense de ^{60}Co (obtenue en particulier grâce aux efforts de Mr Ambler et du NBS*), de son installation au BIPM et de son étalonnage par la méthode d'ionisation.

Mme Boutillon présente les comparaisons internationales d'étalons d'exposition effectuées au BIPM par le NBS et le NPRL*, entre 100 et 250 kV. Ces comparaisons ont été réalisées à l'aide d'instruments de transfert. Si l'accord entre les résultats est généralement assez bon, on a cependant observé de petits écarts qui sont peut-être imputables au fait que l'on ne connaît pas toujours la qualité exacte des instruments de transfert utilisés (en particulier leur stabilité).

* CCU : Comité Consultatif des Unités
CEI : Commission Electrotechnique Internationale
ICRP : International Commission on Radiological Protection
ICRU : International Commission on Radiation Units and Measurements
NBS : National Bureau of Standards, USA
NPRL : National Physical Research Laboratory, Afrique du Sud

Mme Boutillon expose aussi des calculs de facteurs de correction pour les mesures de dose absorbée effectuées à une profondeur de 5 g/cm^2 dans le fantôme de graphite irradié à l'aide de la source intense de ^{60}Co . Ces facteurs concernent l'extrapolation à un fantôme de dimensions latérales infinies, la perturbation provoquée par la présence d'une cavité dans le fantôme de graphite et le rapport des pouvoirs de ralentissement pour l'air et le carbone (nécessaires pour la méthode d'ionisation utilisée au BIPM). Les corrections sont faibles et assez bien connues.

Mlle Niatel expose les mesures expérimentales faites avec la source intense de ^{60}Co . Bien que l'ensemble fonctionne de façon très satisfaisante, il y a cependant quelques problèmes mineurs, dont l'un est le manque de reproductibilité lorsque le disque porte-source effectue une rotation. Il semble que le choc subi au moment de l'arrêt modifie la position des petits grains de cobalt qui constituent la source. On espère pallier cet inconvénient en utilisant un nouveau dispositif qui permettra à la source de s'arrêter en douceur. Le second problème concerne les disques en graphite qui constituent le fantôme. La masse volumique de ce graphite varie du centre à la périphérie des disques, d'un disque à l'autre dans l'ensemble BIPM et d'un ensemble à l'autre, par exemple de celui du NBS à celui du BIPM. Les mesures calorimétriques effectuées par le NBS et le LMRI dans le fantôme irradié par la source intense de ^{60}Co du BIPM présentent un excellent accord entre elles et, ce qui était moins prévisible, avec les mesures ionométriques du BIPM. L'écart entre toutes les mesures ne dépasse pas 0,8% et, dans la plupart des cas, se limite à 0,3% ou moins. Il est très encourageant que les premières expériences aient donné un tel résultat.

Mlle Roux décrit brièvement le travail sur la mesure de W , l'énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions dans le cas des électrons de faible énergie (quelques keV). Le dispositif expérimental est en cours d'installation.

Section II - Mesure des radionucléides (Président: P.J. Campion)

Mr Campion fait remarquer qu'il y a cinq ou six ans la Section II avait décidé d'arrêter les comparaisons internationales et de centrer ses efforts sur l'amélioration des mesures d'activité des radionucléides. Pendant cette période où il n'y a pas eu de comparaisons internationales, le BIPM a fourni des sources solides étalonnées aux laboratoires qui souhaitaient en recevoir, particulièrement dans les pays en voie de développement.

Cependant, la Section II a récemment repris les comparaisons internationales à grande échelle. Une comparaison de ^{139}Ce a été organisée en 1976 avec une source fournie par le NPRL et l'on peut considérer que ce fut un succès. Les résultats d'une comparaison précédente de ^{60}Co avaient été relatés à Herceg Novi en 1972, lors de l'Ecole d'été sur la métrologie des radionucléides; l'écart-type était de 0,31% pour les solutions et de 0,26% pour les sources solides. Dans la comparaison présente, l'écart-type est de 0,19%, ce qui est une amélioration d'autant plus importante que le ^{139}Ce est, en principe, plus difficile à mesurer que le ^{60}Co .

Mr Campion signale qu'une comparaison restreinte de ^{57}Co a été organisée entre six laboratoires. L'écart-type est d'environ 0,2%, ce qui laisse penser que l'incertitude sur la mesure d'activité est beaucoup plus faible que l'incertitude totale sur la mesure de débits de fluence de neutrons utilisant ce radionucléide.

Les deux chambres d'ionisation du BIPM servent de système international de référence pour la mesure de l'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement γ . Ce système, qui est présenté de façon plus détaillée par Mr Rytz, peut avoir une influence sur les besoins futurs en comparaisons internationales. Les chambres d'ionisation sont un moyen simple et précis de faire des comparaisons internationales pérennes de nombreux radionucléides.

Mr Campion est heureux d'annoncer un progrès important intervenu dans la mesure par coïncidences à des taux de comptage élevés (supérieurs à 10^5 s^{-1}). Comme suite à l'intérêt porté par le CCEMRI à ce problème, un article, qui est en cours de publication (voir Annexe R1), donne une solution exacte dans le cas d'un modèle mathématique proche d'une situation réelle pour des temps morts non cumulatifs et des temps de résolution qui sont appliqués dans le comptage par coïncidences. Il est maintenant possible de mesurer des taux de comptage supérieurs à 10^5 s^{-1} en métrologie des radionucléides, la limite étant probablement donnée par la valeur et le type mal définis des temps morts inévitables dus à l'appareillage électronique.

On a décidé d'ajouter au présent rapport un résumé des activités des groupes de travail de la Section II et un état des publications sur la métrologie des radionucléides (voir Tableau 2 de l'Annexe R1).

Mr Campion signale que les opinions de la Section II et de l'ICRU sur la définition de l'activité semblent converger.

En ce qui concerne les travaux futurs de la Section II, une comparaison internationale à grande échelle de ^{134}Cs est prévue pour 1978. Il s'agit d'étudier la technique d'extrapolation de l'efficacité dans la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$. Une comparaison restreinte a déjà été effectuée entre quatre laboratoires dont les résultats sont encourageants. On envisage également d'organiser à la même époque une comparaison de ^{137}Cs . Etant donné les difficultés considérables que présente l'étalonnage de cet important radionucléide, on a créé un groupe de travail pour étudier les problèmes spécifiques. La méthode de l'indicateur d'efficacité par le ^{134}Cs est une possibilité, mais il faut aussi en considérer d'autres.

Les grandes comparaisons internationales de radionucléides progressent de façon logique des plus simples aux plus complexes: ^{60}Co , ^{139}Ce , ^{134}Cs .

Une comparaison restreinte de ^{55}Fe sera organisée; il s'agit d'un nucléide qui se désintègre par capture électronique pure. Son principal intérêt est le contrôle des mesures d'activité de cette classe de radionucléides qui n'a encore donné lieu à aucune comparaison sous les auspices du BIPM.

Mr Campion fait remarquer que l'emploi de la technique de la chambre d'ionisation pour comparer les mesures de l'activité de radionucléides a suscité un tel intérêt que la Section II a jugé utile d'écrire une monographie sur le sujet. Elle sera préparée par Mr Weiss de la PTB.

Mr Campion pense que les rapports BIPM devraient être mieux connus et accessibles à un large public scientifique; pour cela, il faudrait préparer des résumés et les adresser aux revues appropriées (pour plus de détails, voir le rapport de la Section II, 1977). Au cours de la discussion, il est apparu qu'il était souhaitable d'étendre cette façon de procéder à toutes les Sections du CCEMRI, et même à tous les rapports BIPM ayant un caractère permanent. Mr Terrien est également de cet avis et dit que le nécessaire sera fait. Mr Ambler insérera ce point dans son rapport de Président du CCEMRI au CIPM.

On discute ensuite le rôle des groupes de travail dans la mesure de l'activité (voir Annexe R1, Tableau 3). Leur tâche ne consiste pas nécessairement à préparer des rapports; ainsi le rôle du groupe de travail 4 est d'organiser et de superviser les comparaisons.

Mr Rytz résume le travail expérimental fait par le groupe des radionucléides du BIPM au cours des deux dernières années. Les deux faits saillants sont la comparaison de ^{139}Ce (qui concerne essentiellement le comptage par coïncidences $4\pi(\text{CP})-\gamma$) et le système international de référence du BIPM. Par ailleurs, on a étudié l'étalonnage du ^{85}Sr au moyen du comptage par coïncidences $4\pi(\text{CP})-\gamma$, en appliquant une correction pour un effet "Gandy" généralisé qui tient compte de la période relativement longue ($\approx 1\ \mu\text{s}$) du ^{85}Rb au niveau de 514 keV. On a amélioré l'équipement de comptage par coïncidences du BIPM et automatisé l'enregistrement des données sur cassettes magnétiques directement exploitables par l'ordinateur.

Mr Rytz souligne l'importance d'une préparation minutieuse des comparaisons internationales. Il s'est avéré utile de faire contrôler par deux laboratoires la pureté des échantillons de ^{139}Ce . Mr Rytz présente les résultats de cette comparaison et mentionne qu'il a préparé un projet de rapport (70 pages).

Les sources solides déposées sur films minces sont préparées surtout pour les laboratoires en voie de développement; la fourniture varie de 10 à 20 sources par an.

Le système international de référence du BIPM, destiné à des comparaisons pérennes de mesures d'activité d'émetteurs γ , utilise des solutions contenues dans des ampoules normalisées remplies à la même hauteur. Le BIPM ne fait pas de contrôle de pureté; cette information est donnée par les participants. Les résultats sont rassemblés dans des tables et transmis régulièrement aux intéressés. Le BIPM a mesuré à ce jour une centaine d'échantillons de 19 radionucléides différents, en provenance de 11 laboratoires. L'accord entre les laboratoires est en général de l'ordre de 0,1 à 0,2%. L'AIEA dispose d'un système similaire. Les deux organisations envisagent de comparer leurs résultats.

Mr Müller expose brièvement ses travaux sur l'analyse statistique des processus qui interviennent entre une transformation nucléaire et son enregistrement. Il a écrit sur ce sujet une quinzaine de rapports qui sont disponibles sur demande. Ces travaux portent essentiellement sur trois domaines: l'arrivée des impulsions considérée comme un processus de renouvellement, les problèmes de temps morts (par exemple, une nouvelle analyse de la méthode de Baerg [2]) et les coïncidences (par exemple étude de l'effet Gandy).

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

Mr Caswell signale que, bien que l'exactitude des sections efficaces neutroniques de référence nécessaires au développement de l'énergie nucléaire ait été améliorée, elle ne correspond pas encore aux besoins. Ainsi, la section efficace de la réaction $^{235}\text{U}(n, f)$ présentait, il y a quelques années, des écarts de 13% et il est souhaitable que l'incertitude actuelle de 3 à 5% soit ramenée

[2] Baerg, A.P., Variation on the paired source method of measuring dead time, Metrologia 1, 131-133, 1965

à 1%. Au fur et à mesure que l'exactitude s'améliore, le problème de la détermination des débits de fluence de neutrons, auquel la Section III s'est principalement intéressée, devient plus critique.

Les réglementations officielles deviennent de plus en plus strictes en ce qui concerne les mesures neutroniques faites en radioprotection et de nombreux laboratoires de métrologie sont amenés à étalonner un nombre croissant d'instruments de routine avec une exactitude garantie.

L'utilisation des neutrons en radiothérapie se développe sans cesse, bien que cette méthode de traitement soit encore dans une phase expérimentale. Une vingtaine d'installations existent ou sont en construction.

Mr Caswell aborde ensuite la comparaison de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques organisée par le BIPM. Les laboratoires membres de la Section III ont étudié un grand nombre d'instruments de transfert en vue de cette comparaison et en ont sélectionné quatre. Neuf laboratoires ont pris part aux mesures. Cinq énergies de neutrons ont été utilisées. La comparaison sera terminée à la fin de 1977. Mr Huynh a présenté un rapport sur la comparaison à l'International Specialists Symposium on Neutron Standards and Applications qui s'est tenu au NBS en mars 1977; ce rapport a été très favorablement accueilli. Quand la comparaison sera terminée, il préparera un rapport BIPM dont une version abrégée sera publiée dans une revue scientifique. Les résultats disponibles sont présentés au CCEMRI par Mr Huynh (voir ci-dessous).

Mr Caswell mentionne que, lors de la réunion de 1975, la Section III avait demandé au BIPM de mettre au point et d'étalonner, au moyen de l'accélérateur actuel, un faisceau de neutrons monocinétiques d'environ 14 MeV à l'aide de la réaction $T(d, n)^4He$. Ce projet a été réalisé et le BIPM dispose d'une source de $1,6 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ à 14,7 MeV, étalonnée de façon absolue par la méthode de la particule associée.

L'analyse de l'International Neutron Dosimetry Intercomparison (INDI) organisée par l'ICRU avait été confiée à Mr Müller du BIPM. Cette analyse est achevée et le rapport ICRU sur la comparaison est en cours de publication.

La Section III a ensuite étudié les moyens d'améliorer les installations du BIPM en vue de travaux futurs à entreprendre dans le domaine des mesures neutroniques. Plusieurs possibilités sont envisagées: mise à la disposition du BIPM d'un accélérateur Van de Graaff, mise à la disposition du BIPM d'un faisceau auprès d'un accélérateur Van de Graaff dans un laboratoire français, ou installation dans le laboratoire du BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV. On a finalement recommandé d'installer une source intense de neutrons (10^{11} s^{-1}) de 14 MeV susceptible d'être utilisée en dosimétrie et pour les comparaisons internationales de débits de fluence; cette source jouerait en dosimétrie neutronique un rôle analogue à celui que joue déjà la source intense de ^{60}Co en dosimétrie photonique. Elle permettrait au BIPM d'assumer un rôle de premier plan dans le domaine des étalons de dosimétrie neutronique. Mr Jennings demande s'il serait utile d'organiser une comparaison de dosimétrie neutronique de 14 MeV dans un laboratoire national avant que la source du BIPM soit disponible. Selon Mr Caswell, il ressort de la comparaison INDI et des deux comparaisons ENDIP* effectuées sous les auspices

* ENDIP: European Neutron Dosimetry Intercomparison Project

d'Euratom que des études complémentaires et des améliorations techniques sont encore nécessaires avant de pouvoir envisager de nouvelles comparaisons.

Il semble qu'il existe un besoin pour une nouvelle comparaison internationale de sources de neutrons. Ceci est dû en partie au fait que la dernière grande comparaison internationale de mesures d'une source de neutrons organisée par le BIPM remonte à quinze ans et que la précision des mesures s'est beaucoup améliorée depuis. Par ailleurs, les sources de ^{252}Cf présentent des caractéristiques intéressantes et sont très répandues. La Section III organisera une comparaison internationale de mesures d'une source de ^{252}Cf en 1978/79, sous les auspices du CCEMRI.

Dans le domaine des comparaisons de débits de fluence de neutrons, la Section III a décidé de concentrer l'effort sur l'amélioration des instruments de transfert pendant les deux années à venir. Une nouvelle comparaison pourrait être organisée lors de la réunion de 1979.

Mr Huynh donne un aperçu de l'état de la comparaison de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques organisée par le BIPM. Les mesures ont été faites aux énergies de neutrons suivantes: 250 keV, 565 keV, 2,2 MeV, 2,5 MeV et 14,8 MeV. Neuf laboratoires y ont participé: NRC*, CEN, BCMN, NPL, ETL, PTB, NBS, BIPM et IMM. L'accord est, dans l'ensemble, satisfaisant (compte tenu des exactitudes de 2 à 3,5% données par les participants), à l'exception des mesures faites à 250 keV par la méthode de la sphère modératrice, où l'on a trouvé des désaccords de 10 à 20% quand on a utilisé la loi de l'inverse carré de la distance pour estimer l'influence des neutrons diffusés. Voici quelques-unes des conclusions auxquelles on est arrivé:

- un effort considérable est encore nécessaire pour atteindre l'exactitude désirée de 1%,
- la sphère de polyéthylène ne convient pas comme instrument de transfert en raison de sa grande sensibilité aux neutrons diffusés,
- la comparaison à 2,5 MeV était très intéressante à cause de la variété des méthodes utilisées par les laboratoires pour déterminer de façon absolue le débit de fluence,
- l'accord à 14,8 MeV est assez bon,
- le système utilisant les feuilles de fer a bien fonctionné mais une chambre à fission plus grande est nécessaire pour permettre d'augmenter la distance cible-détecteur,
- un instrument de transfert à réponse plus rapide est nécessaire,
- il est souhaitable de disposer, pour chaque énergie de neutrons, de deux instruments de transfert dont la conception et le fonctionnement soient différents.

* NRC : Conseil National de Recherches, Canada
CEN : Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache, France
BCMN : Bureau Central de Mesures Nucléaires, Euratom
ETL : Electrotechnical Laboratory, Japon

Mr Caswell signale que deux des participants à la réunion de la Section III ont exprimé l'inquiétude de l'International Nuclear Data Committee (INDC) et de l'AIEA causée par l'interdiction éventuelle, par certains Etats et organisations internationales, d'utiliser l'unité barn pour exprimer les sections efficaces nucléaires. La Section III adopte une déclaration demandant instamment que l'emploi du barn ne soit pas interdit avant que la CGPM* ne prenne une décision à ce sujet.

AUTRES ACTIVITÉS ET DISCUSSIONS

Les membres du CCEMRI ont visité les laboratoires de la Section des rayonnements ionisants.

Ils ont ensuite procédé à une remise à jour de l'Annexe R3 du précédent rapport du CCEMRI (6^e session, 1975) qui contient le programme de travail de la Section des rayonnements ionisants (voir Annexe R1 du présent rapport, tableau 4).

Au cas où le CIPM aborderait le problème de l'expression des incertitudes, Mr Jennings demande si la Section I ne devrait pas abandonner cette question lors de sa réunion de décembre. Mr Ambler répond que la Section I peut étudier le problème et prendre des décisions provisoires. En effet, il est peu probable que le CIPM arrive à des décisions définitives suffisamment à temps pour satisfaire les besoins immédiats de la Section I.

Il a été décidé d'expédier le projet de Rapport du Président du CCEMRI au CIPM à toutes les personnes qui ont assisté aux réunions des différentes Sections. Plusieurs participants ont exprimé le désir de recevoir le rapport complet, et pas seulement le rapport du Président de leur Section. Les commentaires éventuels devront être adressés à Mr Ambler avec une copie au Président de la Section concernée.

Une discussion s'engage au sujet des Rapports au CIPM du Président du CCEMRI et du Directeur du BIPM. Mr Allisy fait remarquer que le Rapport du Directeur du BIPM est essentiellement technique et que le Rapport du Président du CCEMRI traite des programmes de travail et de problèmes divers. Il semble que le faible chevauchement qui existe soit souhaitable.

Enfin, on discute le problème des prochaines réunions du CCEMRI et de ses Sections, et des déplacements de personnes qu'elles impliquent. La prochaine CGPM se tiendra sans doute en septembre ou octobre 1979. Le CCEMRI pourrait donc se réunir à peu près à la même époque que cette année, c'est-à-dire en juillet 1979. Les Présidents des Sections fixeront avec le BIPM les dates de leurs réunions respectives, qui pourraient avoir lieu au printemps 1979.

Mr Terrien remercie de la part du BIPM les membres du CCEMRI pour leur collaboration.

Le Président lève la séance.

(Juillet 1977;
révisé Octobre 1977)

* CGPM : Conférence Générale des Poids et Mesures

ANNEXE R 1

Rapport du Président du CCEMRI au Comité International des Poids et Mesures

Résumé. - L'emploi croissant des rayonnements ionisants (réacteurs nucléaires, médecine, industrie) nécessite des mesures de plus en plus exactes des grandeurs concernant les rayons X et γ , la radioactivité et les neutrons. Le BIPM, organisme centralisateur du système international des mesures dans ce domaine, est assisté dans sa tâche par le Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), qui est lui-même divisé en trois sections : Rayons X et γ , électrons ; Mesure des radionucléides ; Mesures neutroniques. On étudie, pour chacune de ces sections, les points suivants : besoin en étalons et comparaisons internationales de ces étalons, programme de travail, réalisations et projets pour les travaux à venir.

Abstract. - The increasing use of ionizing radiations (nuclear reactors, medicine, industry) calls for more and more accurate measurements of X and γ rays, radioactivity and neutrons. The Bureau International des Poids et Mesures, which is the central organization of the international measurements in this field, is assisted in its work by the Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, consisting itself of three sections : X and γ Rays, electrons ; Radionuclide measurements and Neutron measurements. The following points are discussed under each section : need for standards and their international comparison, program of activities, accomplishments and plans for future work.

INTRODUCTION

L'emploi des rayonnements ionisants ne cesse de s'étendre, en liaison avec le développement de l'utilisation de l'énergie nucléaire et la multiplicité croissante des applications de ces rayonnements en médecine et dans l'industrie. Par ailleurs, toutes les nations sont de plus en plus intéressées par les

problèmes de sécurité liés à l'utilisation des rayonnements ionisants ; en conséquence, on crée fréquemment des organismes qui promulguent des réglementations exigeant des mesures exactes.

Les mesures exactes de rayonnement prennent donc de plus en plus d'importance. On a besoin, afin d'établir les données nécessaires pour concevoir de façon efficace les réacteurs nucléaires, de mesurer les grandeurs concernant les neutrons, les rayons X, les rayons γ et la radioactivité avec une exactitude d'environ 1 %. Pour la radiothérapie, on a besoin d'une exactitude de 5 % sur les doses de rayonnement délivrées, ce qui nécessite de connaître les étalons de mesure de rayonnement avec une exactitude de 1 ou 2 %. Si l'on a besoin de la plus haute exactitude dans certaines applications, l'utilisation étendue des rayonnements dans la vie courante exige des mesures fiables, d'une exactitude quelque peu inférieure, dans le domaine des faibles irradiations concernant la protection des travailleurs, le grand public et l'environnement. Dans ce domaine de la protection, on peut citer comme exemple les contrôles individuels pour les travailleurs exposés aux rayonnements, les mesures des effluents radioactifs provenant des centrales nucléaires et les mesures de la radioactivité de l'eau, de l'air et du sol. On a également besoin de mesures exactes concernant des matériaux radioactifs pour les transactions commerciales, en particulier dans le cas des produits pharmaceutiques radioactifs utilisés en diagnostic médical, mais aussi pour des applications telles que les références de taux de combustion des combustibles nucléaires. Etant donné tous ces besoins et le fait que les mesures sont souvent très difficiles, les problèmes de mesure des rayonnements et le rôle du BIPM comme organisme centralisateur du système international des mesures dans ce domaine sont des sujets de la plus haute priorité.

Le Comité Consultatif pour les Etalons de Mesures des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) est divisé en trois sections : Section I : Rayons X et γ , électrons, présidée par W.A. Jennings (NPL) ; Section II : Mesure des radionucléides, présidée par P.J. Champion (NPL) ; Section III : Mesures neutroniques, présidée par R.S. Caswell (NBS).

Le présent rapport ⁽¹⁾ est divisé en trois chapitres correspondant à ces trois sections. Dans chacun de ces chapitres, nous envisagerons les points suivants :

A. Besoin en étalons et comparaisons internationales de ces étalons ; B. Programme de travail ; C. Réalisations ; D. Projets pour les travaux à venir.

Un résumé du programme de travail et des réalisations est donné dans le tableau II.

SECTION I - RAYONS X ET γ , ÉLECTRONS

A. *Besoins en étalons d'exposition, de dose absorbée et éventuellement d'autres grandeurs, et comparaisons internationales de ces étalons*

Comme indiqué dans l'Annexe R 1 du Rapport de la 6^e session du CCEMRI (1975), on a besoin d'établir et de maintenir des étalons pour la mesure des rayonnements ionisants dans trois gammes très différentes de dose absorbée, couvrant un domaine d'environ neuf ordres de grandeur. Ainsi nous avons affaire à des doses absorbées, exprimées dans la nouvelle unité SI, le gray (1 gray = 100 rads), de quelques dizaines de micrograys (ou millirads) en radioprotection, de quelques dizaines de grays (ou kilorads) en radiothérapie et de quelques dizaines de kilograys (ou mégarads) dans le domaine des applications industrielles.

Pendant de nombreuses années, la grandeur utilisée comme référence pour les faisceaux photoniques a été l'*exposition*, exprimée en röntgens (maintenant en $C\ kg^{-1}$), et les étalons d'exposition ont fait l'objet de comparaisons internationales au BIPM dans le domaine des débits d'exposition utilisés en radiothérapie.

Récemment, plusieurs laboratoires nationaux se sont dotés d'étalons de *dose absorbée* et, depuis la dernière réunion du CCEMRI, on a effectué les premières comparaisons internationales avec des débits de dose absorbée courants en radiothérapie (*voir* paragraphe C. 1.).

(1) Ce rapport résume les rapports présentés au CIPM sur la 7^e session (juillet 1977) du CCEMRI et sur les réunions de ses Sections I, II, III qui ont eu lieu en mai et juin 1977. Suivant l'usage, ces rapports font l'objet de publications séparées.

L'introduction de l'unité SI d'exposition, le C kg⁻¹, égal à 3,876 kiloröntgens, et la nécessité d'étalonner les instruments usuels en dose absorbée ont conduit à proposer que les étalons actuels d'exposition soient remplacés par des *étalons de kerma* dans l'air, grandeur mesurée en grays. Les laboratoires nationaux ont accepté d'étudier la possibilité de réaliser un tel changement. Etant donné les conséquences qu'il peut entraîner pour les chaînes d'étalonnage, une réunion supplémentaire de la Section I a été prévue en décembre 1977, afin d'arrêter une ligne de conduite.

Il est possible qu'à l'avenir d'autres grandeurs prennent une importance semblable dans la mesure des rayonnements ionisants, par exemple la *fluence énergétique* et sa distribution spectrale. La Section I restera attentive au besoin éventuel de tels étalons.

B. Programme de travail

1. Le BIPM continuera d'agir comme centre pour comparer les étalons nationaux primaires d'exposition et de dose absorbée par l'intermédiaire des étalons stables qui se trouvent à Sèvres. En fonction de la décision qui sera prise à la prochaine réunion de la Section I, en décembre 1977, il est possible que les étalons d'exposition soient remplacés par des étalons pour la mesure du kerma dans l'air.

2. Le laboratoire du BIPM continuera à couvrir les domaines de 10 à 50 kV et de 50 à 250 kV, ainsi que les photons du ⁶⁰Co pour les mesures d'exposition, et les photons du ⁶⁰Co seulement pour les mesures de dose absorbée ; dans tous les cas, les débits de dose absorbée seront comparables à ceux qui sont utilisés en thérapie (≈ 10 mGy s⁻¹).

3. Des mesures complémentaires relatives au programme ci-dessus seront poursuivies au BIPM et ailleurs, et la Section I continuera à exercer son rôle de coordinateur pour les comparaisons internationales effectuées dans d'autres laboratoires, pour les photons ou pour d'autres rayonnements (*voir* aussi paragraphes C et D).

C. Réalisations

Depuis la dernière réunion du CCEMRI, les travaux suivants ont été réalisés.

1. Source de ^{60}Co et étalons de dose absorbée

Grâce au National Bureau of Standards (NBS), le BIPM a pu faire l'acquisition d'une source de ^{60}Co de 170 TBq ; on a procédé à son installation en vue des mesures de dose absorbée. Des comparaisons entre l'étalon calorimétrique de dose absorbée du NBS, celui du Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (LMRI) et l'étalon ionométrique du BIPM ont déjà été effectuées ; une comparaison de ce dernier avec l'étalon de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) est prévue vers la fin de 1977. Une comparaison directe des étalons de dose absorbée du NBS et du LMRI a également eu lieu au LMRI. Pour l'ensemble de ces comparaisons, les écarts sont de l'ordre de 0,5 %.

2. Étalons d'exposition

Des comparaisons ont été faites récemment au BIPM au moyen des instruments de transfert du NBS et du National Physical Research Laboratory (NPRL), Afrique du Sud, dans le domaine de 100 à 250 kV. Les comparaisons faites ailleurs concernent des étalons de l'IMM, de l'ASMW, du PKNM, de l'OMH⁽²⁾ et de trois laboratoires de Tchécoslovaquie, dans trois domaines (10 à 50 kV, 50 à 250 kV et ^{60}Co). Une liste détaillée des comparaisons récentes se trouve dans le rapport de la Section I, 4^e réunion (1977).

3. Étalons de rayonnement bêta

Des comparaisons d'étalons de dose absorbée pour le rayonnement bêta, dans le domaine de la radioprotection, ont eu lieu récemment entre le LMRI et la PTB, ainsi qu'entre la PTB et le National Physical Laboratory (NPL). L'accord est excellent.

4. Corrections pour l'humidité

Depuis la dernière réunion du CCEMRI, de nouvelles mesures ont été effectuées au PKNM avec des chambres à parois d'air et au Rijks Instituut voor de Volksgezondheid (RIV) avec des chambres à cavité. Le désaccord existant précédemment a été expliqué et un accord est intervenu sur les facteurs de correction à recommander.

(2) IMM : Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, U.R.S.S. ; ASMW : Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, République Démocratique Allemande ; PKNM : Polski Komitet Normalizacji i Miar, Pologne ; OMH : Országos Mérésügyi Hivatal, Hongrie.

5. Expression de l'incertitude

Plusieurs propositions ont été étudiées concernant l'expression de l'incertitude dans les certificats d'étalonnage, mais aucune décision n'a été prise lors de la dernière réunion de la Section I. La question sera reprise à la réunion de décembre 1977.

D. *Travaux futurs*

1. Des étalons calorimétriques de dose absorbée sont à l'étude au NPL, au RIV et à l'OMH ; dès qu'ils seront au point, ils seront comparés à l'étalon ionométrique du BIPM. Une telle comparaison est déjà prévue avec l'étalon de la PTB. Par ailleurs, le National Research Council (NRC) et le NBS projettent de comparer leur étalon calorimétrique à l'étalon ionométrique du BIPM et aux étalons d'autres laboratoires nationaux, au moyen d'instruments de transfert.

2. Les comparaisons d'étalons d'exposition, ou éventuellement d'étalons de kerma dans l'air, se poursuivront périodiquement, l'intervalle entre les comparaisons dépendant de la stabilité des étalons nationaux et des méthodes utilisées pour vérifier cette stabilité.

3. Point effectif de mesure. - Des travaux complémentaires, théoriques et expérimentaux, sont nécessaires en ce qui concerne le point effectif de mesure et les laboratoires nationaux sont invités à entreprendre une telle étude.

4. Mesure de rayonnements pour l'usage industriel. - Les membres de la Section I sont invités à soumettre, lors de la réunion de 1979, des rapports sur l'exactitude et l'uniformité dont on a besoin dans la mesure des rayonnements pour les irradiations du type industriel, afin d'apprécier si le BIPM doit jouer un rôle dans ce domaine.

5. Autres sujets à ne pas perdre de vue :

- a) Mesures dans le domaine de la radioprotection ;
- b) Mesures dans le domaine des très grands débits de dose absorbée ;
- c) Comparaisons aux énergies élevées ($> {}^{60}\text{Co}$) pour les faisceaux de photons et d'électrons.

La Section I continue également à s'intéresser, d'une part aux problèmes qui peuvent surgir du fait de l'introduction des unités SI dans la mesure des rayonnements ionisants et, d'autre

part, à la coopération nécessaire entre les laboratoires nationaux en vue de l'établissement par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) d'un réseau de laboratoires de dosimétrie dotés d'étalons secondaires.

SECTION II - MESURE DES RADIONUCLÉIDES

A. *Besoin en étalons et comparaisons internationales de ces étalons*

On utilise actuellement un très grand nombre de radionucléides ayant chacun son propre schéma de désintégration. Pour caractériser les radionucléides on détermine leur activité, c'est-à-dire le nombre de transitions nucléaires qui se produisent par seconde. On a besoin d'étalons d'activité dans les applications médicales (pour des radionucléides comme le ^{131}I et le $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$), mais leur importance augmente aussi en radioprotection, en particulier pour tout ce qui a trait aux centrales nucléaires ; à cet égard, le ^{90}Sr et le ^{239}Pu sont des radionucléides importants. De plus, on a besoin de mesures d'activité de grande exactitude pour déterminer les débits de fluence de neutrons (par exemple avec le ^{56}Mn) ou la consommation de combustible nucléaire (par exemple avec le ^{137}Cs), et dans bien des cas pour l'étalonnage d'instruments. Les utilisateurs de sources radioactives étalonnées ont besoin d'exactitudes de l'ordre de 0,5 à 10 %, selon l'utilisation finale, et la plupart des laboratoires nationaux doivent garantir une exactitude de 0,1 à 2 %. Des comparaisons périodiques organisées par le BIPM sont nécessaires pour que les laboratoires nationaux puissent vérifier l'exactitude de leurs propres mesures. Toutefois, étant donné le grand nombre de radionucléides concernés, le BIPM doit sélectionner soigneusement ceux qui jouent le rôle le plus important dans le contrôle des mesures.

B. *Programme de travail*

Les principaux éléments du programme de travail de la Section II qui sont décrits dans l'Annexe R 1 du rapport de la 6^e session du CCEMRI (1975) sont les suivants :

1. achèvement de la série de rapports sur la métrologie des radionucléides (*voir* Tableau III) ;
2. mise en oeuvre du système de comparaison continue des

étalons d'activité au moyen de chambres d'ionisation de référence ;

3. exécution d'une nouvelle série de comparaisons internationales pour quelques radionucléides tels que le ^{134}Cs et le ^{139}Ce ;

4. autres services, tels que la distribution d'étalons d'activité sous forme de sources solides sur films minces, par exemple ^{60}Co et ^{54}Mn .

C. Réalisations

1. Comparaison internationale de ^{139}Ce

Le NPRL a fourni gracieusement un échantillon pur de ^{139}Ce et on a déployé une somme d'efforts considérables pour préparer et organiser la comparaison, afin que les opérations se déroulent sans incidents, et pour éliminer les influences perturbatrices. Les résultats obtenus par les 22 laboratoires participants sont très encourageants ; ils seront publiés prochainement sous forme de rapport BIPM⁽³⁾. L'écart-type de la distribution des résultats, estimé sur la même base que pour les comparaisons précédentes de ^{60}Co ⁽⁴⁾, est 0,19 % ; bien qu'il soit difficile de faire des comparaisons exactes, ceci peut être comparé au meilleur résultat (0,31 %) obtenu dans le passé avec des solutions de ^{60}Co . De plus, le résultat actuel est meilleur que le résultat de 0,26 % obtenu en 1965 avec des sources solides de ^{60}Co pour lesquelles on n'avait pas à considérer les incertitudes dues à la dilution et à la préparation des sources. Etant donné que le ^{139}Ce est considéré comme un nucléide plus difficile à mesurer que le ^{60}Co (la technique d'extrapolation de l'efficacité tient une place importante dans la mesure), ce résultat représente une amélioration considérable ; s'il ne faut pas attribuer trop d'importance aux résultats d'une seule comparaison, cela constitue néanmoins une justification partielle de la politique adoptée par la Section II : se concentrer sur des problèmes spécifiques associés aux mesures d'activité plutôt que sur les comparaisons internationales. Dans cet ordre d'idées, il est intéressant de noter qu'au moins un laboratoire a fait usage de certaines techniques décrites dans une monographie du BIPM⁽⁵⁾ ; il en est résulté une correction de

(3) Rapport BIPM-77/4 (1977).

(4) Campion, P.J., *Nucl. Instr. and Methods*, 112 (1973), p. 41.

(5) Monographie BIPM-2 (1976), The detection and estimation of spurious pulses, *Recueil de Travaux du BIPM*, 5, 1975-1976 (article 26).

1,3 % de ses résultats qui, ainsi corrigés, sont en bien meilleur accord avec ceux des autres laboratoires.

2. Comparaison internationale de ⁵⁷Co

Cette comparaison, limitée à six participants, avait pour but de vérifier le degré d'uniformité des mesures pour une classe de nucléides qui joue un rôle important dans les mesures absolues de débit de fluence de neutrons au moyen de la méthode de l'activité associée. Les résultats sont encourageants : l'écart-type estimé de la distribution des valeurs obtenues est d'environ 0,2 % ; cela permet de penser que l'incertitude sur la mesure de l'activité est beaucoup plus faible que certaines autres incertitudes inhérentes à cette méthode.

3. Mesures à l'aide des chambres d'ionisation du BIPM

Un système semi-automatique pour la mesure du courant d'ionisation a été mis en place et vérifié soigneusement. Les courants d'ionisation produits par des solutions émettrices de rayonnement γ sont comparés au courant produit par une source de ²²⁶Ra utilisée comme référence. Quatre sources semblables, mais plus faibles, et une seconde chambre d'ionisation (identique à la première) permettent de vérifier la stabilité de l'ensemble. Les résultats des échantillons expédiés par onze laboratoires (AAEC, AECL, ASMW, BIPM, ETL, IEA, OMH, NBS, NPL, PTB et UVVVR)⁽⁶⁾ sont consignés dans des tables régulièrement tenues à jour qui constituent donc un système international permanent de référence pour la mesure de l'activité des nucléides émetteurs de rayons γ . Ces tables sont expédiées périodiquement aux participants.

Ce système de référence s'est déjà avéré très utile. Il permet d'établir un rattachement des mesures sur le plan international, de façon simple et continue ; quand on disposera d'un plus grand nombre de résultats, il pourrait avoir une influence considérable sur les buts poursuivis dans les comparaisons internationales futures.

(6) AAEC : Australian Atomic Energy Commission, Australie ; AECL : Atomic Energy of Canada Limited, Canada ; ASMW : Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Rép. Dém. Allemande ; BIPM : Bureau International des Poids et Mesures, France ; ETL : Electrotechnical Laboratory, Japon ; IEA : Instituto de Energia Atômica, Brésil ; OMH : Országos Mérésügyi Hivatal, Hongrie ; NBS : National Bureau of Standards, U.S.A. ; NPL : National Physical Laboratory, Royaume-Uni ; PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Rép. Féd. d'Allemagne ; UVVVR : Ústav pro Výzkum, Výrobu a Využití Radioisotopů, Tchécoslovaquie.

4. Etudes sur la méthode des coïncidences

Un groupe de travail a fait une étude du principe de la technique des coïncidences pour mesurer l'activité. Il a écrit plusieurs rapports sur des sujets tels que la mesure exacte du temps mort et les effets produits dans des systèmes comportant deux ou plusieurs temps morts en série. Par ailleurs, les membres de ce groupe ont entrepris un travail expérimental commun pour étudier le comportement des équipements à des taux de comptage élevés. Ce fut un nouveau succès puisque, au cours de l'expérience, les organisateurs ont réussi à intéresser un excellent mathématicien aux problèmes associés aux taux de comptage élevés. Il en est résulté une publication⁽⁷⁾ qui donne une solution exacte, dans le cas d'un modèle proche d'une situation réelle, pour le calcul des corrections dues aux temps morts et au temps de résolution dans la technique de comptage par coïncidences. Ce progrès est surtout d'ordre conceptuel ; il en résulte néanmoins une amélioration de l'exactitude du comptage, par rapport à l'ancienne formule de Bryant, pour des taux de comptage atteignant 10^5 s^{-1} . Les limitations résident désormais dans d'autres facteurs tels que la nature mal définie des temps morts imposés expérimentalement. En tout cas, il s'agit d'un progrès remarquable dans la science des mesures des radionucléides.

D. *Travaux futurs (y compris activités en cours)*

S'il est inopportun de présenter de façon détaillée tous les aspects du programme de la Section II, il convient cependant de souligner certains des traits les plus saillants des travaux en cours ainsi que les projets retenus lors de la dernière réunion.

La discussion sur la définition de l'activité a occupé une grande partie du temps, non que la Section fût incapable d'arriver à un accord sur une définition, mais plutôt parce qu'il s'est avéré difficile de persuader l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) que l'approche de la Section II était la plus appropriée. Il semble qu'il existe toujours un certain désaccord entre la Section II et l'ICRU, mais on espère trouver une solution dans un avenir pas trop éloigné.

(7) Cox, D.R. and Isham, V., A bivariate point process connected with electronic counters, *Proc. Roy. Soc., A 356*, pp. 149-160 (1977).

L'intérêt évident que présente le comptage à l'aide de scintillateurs liquides, particulièrement pour la méthode de l'indicateur d'efficacité, incite à continuer l'étude entreprise par un groupe de travail. Une comparaison restreinte de ^{134}Cs vient d'être effectuée en utilisant cette méthode, mais quatre laboratoires nationaux seulement ont pu y participer. Tous les résultats ne sont pas encore disponibles, si bien qu'il n'a pas été possible de faire une analyse approfondie ; cependant, les résultats de trois laboratoires présentent un bon accord. Le groupe de travail prépare un rapport sur l'emploi de cette méthode qui fait l'objet d'améliorations constantes dues en partie à l'intérêt porté au sujet par le groupe de travail.

Le groupe de travail sur les sources de référence de rayonnement γ a organisé une comparaison internationale de sources étalonnées, préparées par les laboratoires nationaux. Une série de sources étalonnées est envoyée par chaque laboratoire à la PTB qui s'est chargée de faire les mesures de comparaison. En outre, des échantillons des solutions utilisées par les laboratoires pour préparer ces sources sont comparés dans le système de référence du BIPM.

Les travaux du groupe qui étudie les principes de la méthode des coïncidences ont conduit, comme indiqué plus haut, à une expérience avec des taux de comptage élevés et celle-ci, à son tour, est à l'origine d'un progrès important dans la théorie correspondante. Il est certain qu'il reste au groupe de travail concerné à assimiler les implications de ce progrès.

Une comparaison internationale à grande échelle sera organisée en 1978 avec le ^{134}Cs . Ce radionucléide a un schéma de désintégration considérablement plus complexe que celui du ^{139}Ce et, de ce fait, la comparaison proposée est une étape logique dans la progression de la métrologie des radionucléides simples aux plus complexes. De plus, on envisage à la même époque une comparaison de ^{137}Cs ; il est possible que les laboratoires utilisent le ^{134}Cs comme indicateur pour le ^{137}Cs , mais d'autres indicateurs peuvent également être employés.

Il a été décidé d'organiser une comparaison restreinte, plus spécialisée, de ^{55}Fe , représentant d'une classe de radionucléides qui n'ont pas encore été comparés sous les auspices du BIPM.

Etant donné l'intérêt manifesté pour l'emploi de chambres d'ionisation comme système de référence pour les radionucléides,

la Section II pense qu'il serait souhaitable d'écrire une monographie sur ce sujet. La rédaction en a été confiée à un membre de la Section, mais elle demande, de la part de l'auteur, un travail considérable et il est peu probable que ce document soit écrit avant la prochaine réunion.

Enfin, on a noté avec satisfaction qu'à la suite d'une suggestion faite à la précédente réunion de la Section II (1975), le nécessaire a été fait pour que les travaux du BIPM soient plus largement connus ; toutes les revues consultées ont accepté de publier les résumés qui leur ont été soumis. Cette procédure pourrait être étendue à tous les rapports BIPM, qu'ils concernent la métrologie classique ou celle des rayonnements ionisants.

SECTION III - MESURES NEUTRONIQUES

A. *Besoin en étalons et comparaisons internationales de ces étalons*

Des mesures neutroniques exactes et cohérentes, et par conséquent des étalons neutroniques, sont nécessaires pour les raisons suivantes.

1. Développement de l'énergie nucléaire

On a besoin de mesures neutroniques pour déterminer les données qui entrent dans le calcul des projets de réacteurs nucléaires (à fission comme à fusion) et pour assurer le fonctionnement de ces réacteurs.

Les sections efficaces neutroniques sont des données essentielles pour le calcul des coeurs de réacteurs, des écrans de protection, de l'instrumentation et des systèmes de sécurité. Les nombreuses sections efficaces nécessaires sont généralement mesurées par rapport à une section efficace neutronique de référence telle que $H(n,n)H$, $^{10}B(n,\alpha)$ ou $^{235}U(n,f)$. Ces sections efficaces de référence doivent être connues à 1 % près, de façon à fournir des repères pour les mesures comparatives. A titre d'exemple, l'incertitude sur la section efficace de la réaction $^{235}U(n,f)$ était d'environ 13 % il y a quelques années et l'incertitude actuelle de 3 à 5 % ne donne pas encore satisfaction. Une connaissance insuffisante des sections efficaces entraîne des dépenses supplémentaires pour mettre à l'épreuve les projets de réacteurs ; elle entraîne aussi l'utilisation de

marges de sécurité plus importantes, ce qui conduit à un prix de revient accru des installations et, par conséquent, de l'énergie d'origine nucléaire. Pour améliorer l'exactitude des sections efficaces de référence, il est nécessaire de pouvoir mieux mesurer les débits de fluence de neutrons. Il ne suffit pas d'établir les projets de réacteurs ; il faut en outre effectuer des mesures de débit de fluence de neutrons, de distribution spectrale et de taux de fission dans le milieu très hostile de l'intérieur des réacteurs. Il est le plus souvent nécessaire de faire des mesures avec une exactitude contrôlable pour satisfaire les exigences réglementaires de sécurité.

2. Protection des travailleurs contre les rayonnements

Pour la protection des travailleurs exposés aux rayonnements, on a besoin de dosimètres neutroniques personnels et d'instruments de surveillance. Ces appareils doivent être étalonnés et leur réponse en fonction de l'énergie doit être connue. Dans certains pays, la loi prescrit que les instruments de protection du personnel doivent être étalonnés par le laboratoire national ou au moyen d'une source rattachée à ce laboratoire. Pour mettre au point et étalonner les instruments de contrôle neutroniques, on a besoin de faisceaux étalonnés de neutrons.

3. Radiothérapie neutronique

La thérapie du cancer au moyen des neutrons peut présenter un avantage du point de vue biologique sur la radiothérapie classique au moyen des rayons X, des rayons γ ou des électrons. Les premiers résultats d'essais cliniques effectués en Angleterre et aux Etats-Unis sont encourageants et ont conduit à la création d'une vingtaine d'installations (en service ou en construction). Pour mettre au point correctement ce procédé et lui assurer le maximum de succès, on a besoin d'étalons de dosimétrie neutronique (kerma, dose absorbée). Les laboratoires nationaux commencent à travailler dans ce domaine.

4. Autres applications

Les mesures neutroniques sont importantes dans la recherche scientifique, l'étude des matériaux par diffraction des neutrons, l'analyse par activation, la radiographie, la biologie et les applications industrielles. Les grandeurs physiques les plus importantes pour ces applications sont la fluence, la dose absorbée, le kerma et la distribution spectrale en énergie.

B. Programme de travail

Les projets de travaux décrits dans le rapport de la 6^e session du CCEMRI (1975) comprenaient :

1. l'essai de différents types d'instruments de transfert en vue de la comparaison internationale de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques (terminé en 1975) ;
2. l'exécution d'une comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques ;
3. la mise en oeuvre d'un faisceau étalonné de neutrons d'environ 14,8 MeV ;
4. l'analyse de la comparaison internationale de dosimétrie neutronique (INDI).

C. Réalisations

1. Instruments de transfert pour la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques

Comme indiqué précédemment, ce travail a été achevé en 1975. Les instruments de transfert suivants ont été sélectionnés pour la comparaison : une sphère modératrice avec compteur à BF_3 , un compteur proportionnel à ^3He , une chambre à fission et des feuilles de fer pour la mesure de l'activité induite par la réaction $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$.

2. Comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques

Neuf laboratoires ont déjà pris part à la comparaison. Les mesures effectuées sont résumées dans le tableau I.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus sont raisonnablement concordants (dispersion des résultats d'environ 5 % ou moins), sauf à 250 keV où des écarts de 10 à 20 % sont apparus dans les mesures effectuées avec la sphère de polyéthylène associée au compteur à BF_3 .

On peut déjà tirer quelques conclusions de cette comparaison :

- a) La valeur absolue du débit de fluence de neutrons a été mesurée par chaque laboratoire participant avec une incertitude estimée qui se situe entre 2 et 3,5 % ; un grand effort est encore nécessaire pour améliorer les mesures afin de parvenir à une exactitude de 1 %.

TABLEAU I

Comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques

<u>Energie des neutrons</u>	<u>Instrument de transfert</u>	<u>Laboratoires participants</u>
250 keV	$\left\{ \begin{array}{l} \text{sphère de polyéthylène + BF}_3 \\ \text{compteur à } ^3\text{He} \end{array} \right.$	NRC, CEN Cadarache, BCMN, NPL, ETL, PTB, NBS
		NRC, CEN Cadarache, NPL, ETL, PTB, NBS
565 keV	$\left\{ \begin{array}{l} \text{sphère de polyéthylène + BF}_3 \\ \text{compteur à } ^3\text{He} \end{array} \right.$	NRC, CEN Cadarache, NPL, ETL, PTB, NBS
2,20 MeV	sphère de polyéthylène + BF ₃	CEN Cadarache, BCMN, NPL, PTB
2,50 MeV	sphère de polyéthylène + BF ₃	BIPM, NRC, CEN Cadarache, BCMN, NPL, ETL, PTB
14,8 MeV	$\left\{ \begin{array}{l} \text{chambre à fission } (^{238}\text{U}) \\ \text{réaction } ^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn} \end{array} \right.$	CEN Cadarache, BCMN, NPL, ETL, BIPM
		NPL, BCMN, IMM, ETL, BIPM

b) On a obtenu d'assez bons résultats dans la comparaison à 14,8 MeV en utilisant la chambre à fission à ^{238}U et la méthode d'activation au moyen de feuilles de fer. Toutefois, le diamètre de la chambre à fission devrait être au moins doublé, pour permettre d'augmenter la distance cible-détecteur et de réduire ainsi l'incertitude sur la mesure de cette distance.

c) La sphère de polyéthylène utilisée comme instrument de transfert présentait le grave inconvénient d'être très sensible aux neutrons diffusés. D'après les résultats de la comparaison, il semble opportun dans ce cas d'utiliser un cône d'ombre pour évaluer la contribution des neutrons diffusés, surtout quand elle dépasse 10 %.

d) Pour remplacer la sphère, on aurait besoin d'un nouvel instrument de transfert doté à la fois d'une efficacité convenable et d'une faible sensibilité aux neutrons diffusés comme au rayonnement γ . Dans la mesure du possible, pour chaque énergie de neutrons, on devrait utiliser deux instruments de transfert fonctionnant suivant des principes différents.

Les résultats obtenus à ce jour sont rassemblés dans un rapport de V.D. Huynh intitulé "International comparison of flux density measurements for monoenergetic fast neutrons",

Proceedings of the International Specialists Symposium on Neutron Standards and Applications, Washington, D.C., March 28-31, 1977.

3. Mise au point de faisceaux étalonnés de neutrons monocinétiques

Conformément à une suggestion de la Section III, le BIPM a mis au point un second faisceau de neutrons monocinétiques d'énergie $14,680 \pm 0,130$ MeV, en plus du faisceau étalonné de neutrons monocinétiques de 2,50 MeV produits par la réaction $D(d,n)^3\text{He}$. Le nouveau faisceau est produit par la réaction $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ au moyen de deutons incidents de 140 keV. Durant la période couverte par ce rapport, en plus de la comparaison de débits de fluence de neutrons discutée ci-dessus, le groupe des mesures neutroniques du BIPM s'est consacré essentiellement à l'amélioration de l'exactitude des mesures de débits de fluence de neutrons de 2,5 MeV et à la réalisation du nouveau faisceau de neutrons de 14,7 MeV.

a) Faisceau de neutrons $D(d,n)^3\text{He}$.- On dispose maintenant de quatre porte-cibles qui permettent d'observer les particules ^3He à 90° (cible à 45°), à 120° (cibles à 45° et 90°) et à 150° (cible à 90°). Le BIPM a comparé les mesures de débits de fluence effectuées par comptage des particules associées aux mesures faites au moyen d'un scintillateur de stilbène avec discrimination neutron- γ ; il a obtenu un bon accord ($\approx 1\%$).

b) Faisceau de neutrons $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ à 14,7 MeV.- Le débit de fluence de neutrons a été mesuré par la méthode de comptage des particules associées. Le nombre de particules ^4He est mesuré dans un angle solide bien défini, au moyen d'une jonction à barrière de surface en silicium placée à 1 mètre de la cible et à 150° par rapport au faisceau incident de deutons. L'angle correspondant d'émission des neutrons est de 27° . La cible de $\text{Ti}-^3\text{H}$ a une masse surfacique de $550 \mu\text{g}/\text{cm}^2$; elle est déposée sur un support de cuivre de 0,5 mm d'épaisseur. Avec un courant de cible de $20 \mu\text{A}$ on obtient pour le faisceau de neutrons un taux d'émission de $1,6 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$.

Comme indiqué dans le tableau I, le BIPM a participé à la comparaison pour les énergies neutroniques de 2,50 et 14,8 MeV.

4. Analyse de la comparaison internationale de dosimétrie neutronique (INDI)

L'analyse a été achevée en 1976 et fera l'objet d'un rapport ICRU qui sera publié prochainement.

D. *Travaux futurs*

1. Comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques

A la réunion de la Section III du CCEMRI qui s'est tenue à Sèvres du 30 mai au 1^{er} juin 1977, on a décidé de prolonger la comparaison jusqu'au 31 décembre 1977, afin de permettre une participation plus complète des laboratoires nationaux. Il est prévu de préparer un rapport BIPM sur la comparaison et d'en publier un résumé dans une revue scientifique.

2. Installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV

Lors de sa réunion de 1977, la Section III du CCEMRI a recommandé l'installation au BIPM d'une source intense, délivrant 10^{11} neutrons de 14 MeV par seconde, pour lui permettre de comparer les instruments de référence utilisés en thérapie neutronique. Cette source servirait de référence pour les neutrons rapides, comme la source intense de ^{60}Co sert de référence pour les rayonnements X et γ utilisés en thérapie. Elle permettrait au BIPM de jouer un rôle directeur dans le domaine des étalons de dosimétrie neutronique. Etant donné que la comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques n'est pas encore terminée, ce travail ne commencera qu'en janvier 1978 ; on pense qu'il durera environ deux ans.

3. Comparaison internationale de sources de neutrons de ^{252}Cf

La Section III a également décidé en 1977 d'organiser une comparaison internationale de mesures du taux d'émission d'une source de neutrons à fission spontanée de ^{252}Cf pour les raisons suivantes :

a) quinze ans se sont écoulés depuis la comparaison d'une source Ra-Be (α, n) organisée par le BIPM et l'exactitude des mesures de sources neutroniques s'est bien améliorée depuis ;

b) une comparaison des mesures par la méthode du bain de manganèse, à l'aide d'une source voyageuse, est souhaitable en raison de l'intérêt porté à $\bar{\nu}$, nombre moyen de neutrons émis par fission, dans le cas du ^{252}Cf et de la relation étroite qui existe entre la détermination de $\bar{\nu}$ et les mesures effectuées par la méthode du bain de manganèse ;

c) les sources de ^{252}Cf étant très couramment employées comme étalons neutroniques, il est important que les laboratoires

nationaux soient capables de les étalonner avec une bonne exactitude.

La préparation de la comparaison, qui sera prise en charge par la Section III plutôt que par le personnel du BIPM, sera faite dans la seconde moitié de 1977 et la comparaison elle-même aura lieu en 1978-1979.

4. Essai de nouveaux instruments de transfert pour la comparaison internationale de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques

Lors de sa réunion de 1977, la Section III a estimé qu'avant d'entreprendre une nouvelle comparaison il serait souhaitable de faire progresser les techniques de mesure de débit de fluence de neutrons et les instruments de transfert. Avant la prochaine réunion de la Section III en 1979, les laboratoires nationaux vont faire des essais avec de nouveaux instruments de transfert, y compris des instruments ayant un bon temps de résolution et une chambre à fission susceptibles d'être utilisés dans des comparaisons comprenant des accélérateurs linéaires. On pourra alors envisager d'organiser une nouvelle comparaison aux énergies de neutrons suivantes : 144 keV, 565 keV, 2,5 MeV, 5,0 MeV et 14,8 MeV.

1^{er} septembre 1977

E. Ambler

Président du CCEMRI

Résumé du programme de travail et des réalisations correspondantes

CCEMRI, 1975-1977

Programme de travail envisagéSection I - RAYONS X ET γ , ÉLECTRONS

Extension des comparaisons de mesures d'exposition à d'autres laboratoires et poursuite de comparaisons périodiques pour tous les laboratoires nationaux.

Acquisition d'une source intense de ^{60}Co ; comparaison de mesures de dose absorbée avec les laboratoires nationaux.

Poursuite de l'étude des corrections d'humidité à appliquer aux mesures utilisant des chambres d'ionisation.

Réalisations

Comparaisons d'instruments de transfert du NBS et du NPLR effectuées dans le domaine de 100 à 250 kV (BIPM).

Source installée ; comparaisons effectuées avec le NBS et le LMRI (CCEMRI et BIPM).

Nouvelles mesures de correction d'humidité effectuées par le PKMII avec des chambres à parois d'air et par le RIV avec des chambres à cavité. Explication du désaccord et adoption des facteurs de correction à appliquer (CCEMRI).

Section II - MESURE DES RADIONUCLÉIDES

Achèvement de la série de rapports sur la métrologie des radionucléides.

Installation et mise en oeuvre de chambres d'ionisation de référence pour comparaison pérenne d'étalons d'activité.

Comparaison internationale de quelques radionucléides tels que ^{134}Cs et ^{139}Ce .

Deux monographies terminées (Procédures for accurately diluting and dispensing radioactive sources - The detection and estimation of spurious pulses). Comme conséquence de l'intérêt porté par le CCEMRI aux principes de la mesure des coïncidences, un article a été préparé sur le sujet (CCEMRI).

Mise en oeuvre des chambres. Onze laboratoires participent au système de référence ; on espère que d'autres s'y joindront (BIPM).

Comparaison internationale à grande échelle de ^{139}Ce terminée. Comparaisons restreintes de ^{134}Cs et de ^{57}Co terminées. Projet de comparaison à grande échelle de ^{134}Cs et de ^{137}Cs pour 1978 et d'une comparaison restreinte de ^{55}Fe (CCEMRI).

Section III - MESURES NEUTRONIQUES

Essais d'instruments de transfert pour une comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques.

Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons à cinq énergies (250 keV, 565 keV, 2,2 MeV, 2,5 MeV et 14,8 MeV).

Mise en service d'un faisceau étalonné de neutrons monocinétiques à 14,7 MeV.

Analyse de la comparaison internationale de dosimétrie neutronique (ICRU).

Essais achevés en 1975 (CCEMRI).

Comparaison presque terminée avec participation de neuf laboratoires ; rapport préliminaire ; fin de la comparaison en 1977 (BIPM).

Achevée (BIPM).

Achevée ; rapport ICRU sous presse (BIPM).

TABLEAU III

Section II - Mesure des Radionucléides (Groupes de travail et rapports)

<u>Groupes de travail</u>	<u>Rapports proposés</u>	<u>Situation</u>
1. Problèmes de la micropesée,	Intercomparison of small mass metrology.	Terminé. Rapport BIPM-73/7.
2. Méthodes exactes pour la dilution et l'étalonnage des solutions radio-actives.	Procedures for accurately diluting and dispensing radioactive solutions.	Terminé. Monographie BIPM-1.
3. Définition de l'activité.	Rapport final préparé.	En discussion à l'ICRU.
4. Comparaisons futures de radionucléides.	Report on the international comparison of activity measurements of a solution of ¹³⁹ Ce.	Terminé. Rapport BIPM-77/4 (projet).
	Comparaison restreinte de ⁵⁷ Co.	Comparaison terminée. Rapport à faire par le NPL.
	Comparaison de ¹³⁴ Cs- ¹³⁷ Cs.	Comparaison restreinte terminée. Comparaison à grande échelle en 1978.
5. Détection et mesure des impulsions secondaires.	The detection and estimation of spurious pulses.	Terminé. Monographie BIPM-2.
6. Possibilité de comptage par scintillateurs liquides.	Quatre projets de rapports de qualité inégale.	Monographie BIPM à préparer.
7. Mesure du taux de désintégration dans le cas de nucléides à schéma de désintégration complexe.	Aucun.	Abandonné.
8. Mesures par coïncidences sur le ²⁰³ Hg.	Aucun.	Abandonné.
9. Principes de la méthode de comptage par coïncidences.	Cox and Isham, A bivariate point process connected with electronic counters.	Publié dans <i>Proc. Roy. Society, A 356</i> , 1977, pp. 149-160.
	Intercomparison of high-count-rate ⁶⁰ Co sources.	Rapport BIPM en préparation.
10. Métrologie des nucléides à capture électronique pure.		Comparaison restreinte de ⁵⁵ Fe à organiser par le NPL.
11. Techniques de référence pour le contrôle des émetteurs β.	Aucun.	Abandonné.

TABLEAU IV

Programme des travaux du Laboratoire des Rayonnements Ionisants du BIPM

Première priorité

Deuxième priorité

Exposition X, γ ; dose absorbée

1. Travaux pérennes

- Comparaisons internationales de mesures de dose absorbée (^{60}Co).
- Comparaisons internationales d'étalons d'exposition (rayons X 10-50 kV, 100-250 kV, rayons γ du ^{60}Co).
- Mesure du kerma dans l'air.
- Etudes concernant la mesure de fluence de photons et de sa distribution spectrale.

2. Travaux de recherche

- Etude des facteurs de correction des étalons d'exposition et de dose absorbée.
- Mesure de l'énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions dans un gaz (\bar{W}).

Étalons d'activité

1. Travaux pérennes

- Système international de référence de mesure d'activité d'émetteurs de rayons γ .
- Préparation et certification de sources solides, minces et transportables (^{60}Co , ^{54}Mn , ...).
- Etude des particularités de mesures (^{137}Cs , ^{85}Sr , ...).
- Etude d'autres méthodes pour les mesures d'activité (p. ex. technique de corrélation).

2. Travaux de recherche

- Mise au point et analyse de comparaisons internationales (^{134}Cs , ^{137}Cs , ...).
- Etude des statistiques de comptage.

Mesures neutroniques

1. Travaux pérennes

- Mesure de sources de neutrons par la méthode du bain de manganèse.
- Mesure du débit de fluence d'un faisceau monocinétique de neutrons de 14 MeV.
- Participation aux mesures comparatives d'une source intense de ^{252}Cf .
- Etude et amélioration des instruments de transfert pour les mesures de débit de fluence de neutrons rapides.

2. Travaux de recherche

- Analyse de la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques (1974-1977).
- Etude en vue de la réalisation d'une source intense pour la dosimétrie des neutrons rapides (14 MeV).
- Mesure d'une source de ^{252}Cf .

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS 7^e Session (1977)

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre	v
Liste des membres	vii
Ordre du jour	x
Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par R. S. Caswell	R 1
Introduction, but de la réunion	2
Rapports d'activité des trois sections du CCEMRI :	
— Section I : Rayons X et γ , électrons (problème du passage des étalons d'exposition aux étalons de kerma dans l'air; corrections d'humidité; expression de l'incertitude sur les certificats d'étalonnage; comparaisons internationales d'étalons de dose absorbée et d'étalons d'exposition; mesures aux énergies élevées de photons et d'électrons; unités SI en dosimétrie; réseau OMS/AIEA de laboratoires dotés d'étalons secondaires; travaux récents du BIPM: installation et étalonnage de la source intense de ^{60}Co , calculs de facteurs de correction pour mesures de dose absorbée, mesure de W)	2
— Section II: Mesure des radionucléides (comparaison internationale de ^{139}Ce ; comparaison restreinte de ^{57}Co ; mesures par coïncidences de taux de comptage supérieurs à 10^5 s^{-1} ; comparaisons futures; diffusion des rapports des Comités Consultatifs et des rapports BIPM; travaux récents du BIPM: comparaisons et étalonnages, système de référence $4\pi\gamma$, sources solides, problèmes de statistique)	5
— Section III: Mesures neutroniques (nécessité d'améliorer l'exactitude des mesures de débits de fluence de neutrons; comparaison internationale de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques; faisceau étalonné de neutrons monocinétiques de 14,7 MeV du BIPM; projet d'installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV; comparaison internationale de mesures d'une source de ^{252}Cf ; travaux récents du BIPM: analyse des résultats de comparaison disponibles et premières conclusions; déclaration de la Section III en faveur du maintien du barn) ..	7
Autres activités et discussions: remise à jour du programme de travail de la Section des Rayonnements Ionisants du BIPM; diffusion du rapport du Président du CCEMRI au CIPM; prochaines réunions du CCEMRI et de ses trois Sections	10
Annexe	
R 1. <i>Rapport du Président du CCEMRI au Comité International des Poids et Mesures</i> , par E. Ambler	11

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal, Imprimeur, 1979, n° 3294

ISBN 92-822-2055-9

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 1979-06-15

Imprimé en France