

**COMITÉ CONSULTATIF  
POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS  
SESSION DE 1979**

---



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

COMITÉ CONSULTATIF

POUR

LES ÉTALONS DE MESURE  
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

---

8<sup>e</sup> SESSION — 1979

(9-10 juillet)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2062-1

---

## NOTICE HISTORIQUE

---

### Les organes de la Convention du Mètre

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

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

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

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

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

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

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit 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 1979 est de l'ordre de 6 700 000 francs-or, soit environ 2 650 000 dollars U.S.

---

<sup>(1)</sup> Au 31 décembre 1979, 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* (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le *Comité Consultatif des Unités* (CCU), créé en 1964.

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 multilingués).

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

<i>Secrétaire</i>	<i>Vice-Président</i>	<i>Président</i>
J. DE BOER	P. HONTI	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 $\gamma$ , 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], *Ibaraki* (Japon).

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 ACCELERATOR CENTRE [NAC], *Pretoria*.  
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], *Washington*.  
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], *Teddington*.  
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* :

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Laboratoire de Métrologie des  
Rayonnements Ionisants [LMRI], *Saclay*.  
CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], *Ottawa*.  
ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], *Ibaraki (Japon)*.  
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 8<sup>e</sup> Session

---

1. Rapports d'activité des trois Sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM.
  2. Composition des Sections du CCEMRI.
  3. Proposition de la Section III concernant l'installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV destinée à la dosimétrie neutronique.
  4. Rapports du Président du CCEMRI au CIPM et à la CGPM.
  5. Questions diverses.
-

---

# RAPPORT

DU

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

(8<sup>e</sup> Session – 1979)

AU

## COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par R. S. CASWELL, Rapporteur

---

### Abstract

An account of the activity, from July 1977 to July 1979, is given for the three Sections of the Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants. Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) set up three working groups to study the following problems: conversion from exposure to absorbed dose in water, conversion from absorbed dose in graphite to absorbed dose in water and international comparison of Fricke chemical dosimeters. Section II (Mesure des radionucléides) studied particularly the results of recent international comparisons and the influence on future comparisons of the operation of the BIPM international reference system. Section III (Mesures neutroniques) presented the present and future programs of international comparisons and submitted to CCEMRI a detailed proposal for the establishment of a 14-MeV neutron dosimetry facility at BIPM. The reports of the Section chairmen are followed by the presentation of the work carried out at BIPM by the corresponding groups. Finally, guidelines for CCEMRI Section membership are discussed.

### Résumé

On décrit l'activité, de juillet 1977 à juillet 1979, des trois Sections du Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants. La Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) a créé trois groupes de travail pour étudier les problèmes suivants: passage de l'exposition à la dose absorbée dans l'eau, passage de la dose absorbée dans le graphite à la dose absorbée dans l'eau et comparaison internationale de dosimètres chimiques Fricke. La Section II (Mesure des radionucléides) s'est intéressée particulièrement aux résultats des comparaisons internationales récentes et aux incidences sur les comparaisons futures du fonctionnement du système international de référence du BIPM. La Section III (Mesures neutroniques) a présenté les comparaisons internationales en cours ou en projet et a soumis

au CCEMRI une proposition détaillée d'installation au BIPM d'une source intense de 14 MeV pour dosimétrie neutronique. Le rapport du président de chaque Section est suivi d'une présentation des travaux effectués au BIPM par le groupe correspondant. Enfin, le problème de la composition des Sections du CCEMRI est discuté.

La huitième réunion du Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) s'est tenue au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 9 et 10 juillet 1979.

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 (P. GIACOMO).

Assistaient aussi à la réunion: T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM,  
J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM; H. M. WEISS, Physikalisch-  
Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig; A. ALLISY, A. RYTZ,  
J. W. MÜLLER, V. D. HUYNH (BIPM); Mme M. BOUTILLON,  
Mlle M.-T. NIATEL et Mme A.-M. PERROCHE, en stage au BIPM;  
X. Z. WU, National Institute of Metrology (NIM), en stage au BIPM;  
Mme D. MÜLLER (BIPM).

Mr Ambler ouvre la séance et souhaite la bienvenue à Mr Weiss, nouveau président proposé pour la Section II. Mr Caswell est désigné comme Rapporteur.

## 1. RAPPORTS D'ACTIVITÉ DES TROIS SECTIONS DU CCEMRI ET TRAVAUX CONNEXES DU BIPM

Le président de chaque Section fait un compte rendu de l'activité de sa Section et le personnel du BIPM présente les travaux récents effectués dans la Section des rayonnements ionisants.

### Section I - Rayons X et $\gamma$ , électrons (Président: W.A. Jennings)

Mr Jennings indique que la Section I a tenu deux réunions depuis juillet 1977: une les 12 et 13 décembre 1977, au National Bureau of Standards, et la réunion régulière du 28 au 30 mai 1979, à Sèvres.

La question principale qui figurait à l'ordre du jour de la réunion de décembre 1977 était l'étude du remplacement éventuel des étalons d'exposition par des étalons d'une autre grandeur de rayonnement, telle que le kerma dans l'air. Il avait été décidé

à cette époque de conserver les étalons d'exposition, de faire les étalonnages en termes d'exposition et, si nécessaire, en termes de kerma dans l'air, ce dernier étant obtenu à l'aide de facteurs de conversion appropriés. Par ailleurs, il était recommandé de faire des études complémentaires portant sur des matériaux de référence susceptibles d'être utilisés et sur d'autres grandeurs de rayonnement.

Le problème de l'expression des incertitudes dans les certificats d'étalonnage, qui figurait à l'ordre du jour de la réunion de décembre 1977 de la Section I, avait été entre temps présenté par le CCEMRI au CIPM et ce dernier a décidé de s'en occuper.

Mr Jennings signale que, bien qu'on ne soit pas parvenu à un accord lors des deux réunions de 1977 (mai et décembre), il a été décidé, en mai 1979, que les instruments utilisés en radiothérapie devraient désormais être étalonnés en termes de dose absorbée dans l'eau, et non plus en termes d'exposition. Etant donné que les facteurs de conversion nécessaires pour passer de l'exposition à la dose absorbée dans l'eau ne sont pas connus avec une exactitude comparable à celle des étalons primaires d'exposition, il a été décidé de créer un Groupe de travail présidé par Mr Henry (NRC). Ce groupe est chargé de fournir des valeurs plus exactes pour les facteurs impliqués et d'étudier les conditions d'étalonnage (telles que la profondeur dans l'eau) qui doivent être spécifiées. Mr Ambler fait remarquer que l'idéal pourrait être d'exprimer les étalonnages en fonction de l'énergie totale et du spectre des photons, plutôt que d'utiliser une grandeur basée sur l'interaction avec la matière, telle que l'exposition, le kerma dans l'air ou la dose absorbée dans l'eau; il semble toutefois que cela ne soit pas possible actuellement.

Mr Jennings indique qu'un second Groupe de travail, qui est présidé par Mr Loevinger (NBS), a été constitué pour étudier les facteurs de conversion nécessaires pour obtenir la dose absorbée dans l'eau à partir des mesures de dose absorbée dans le graphite effectuées maintenant surtout dans les laboratoires nationaux à l'aide de calorimètres.

Aucune décision n'a été prise en ce qui concerne les grandeurs et unités utilisées en radioprotection. Dans ce domaine, on a besoin d'une exactitude moins élevée et il n'apparaît pas encore clairement quelle grandeur remplacera l'exposition en radioprotection.

Dans le domaine des mesures de rayonnement pour usage industriel, la Section I reconnaît qu'il devient souhaitable d'organiser des comparaisons internationales de champs de rayonnement intense de référence, mais il est nécessaire de disposer d'un instrument de transfert présentant de bonnes performances. La Section I devra sans doute faire un effort dans ce secteur au moment opportun.

Une discussion s'est engagée sur la relation qui existe entre la dose absorbée dans l'eau et la dose reçue par un patient. Aux énergies élevées, l'eau est proche du tissu, tandis qu'aux faibles énergies les facteurs de correction peuvent être significatifs. De plus, on peut faire des corrections pour l'air et l'os, mais les pratiques actuelles ne vont guère au-delà.

Les travaux de comparaisons internationales d'étalons d'exposition et de dose absorbée dans le graphite se poursuivent. Une liste détaillée en est donnée dans les rapports du président du CCEMRI au CIPM et à la CGPM.

Etant donné qu'un certain nombre de laboratoires utilisent des dosimètres chimiques Fricke, qui peuvent être expédiés par voie postale, la Section I a décidé d'organiser une comparaison internationale de ces dosimètres, les irradiations étant effectuées

au BIPM. Neuf laboratoires souhaitent y participer. Le travail sera organisé par un Groupe de travail présidé par Mr Ellis (NPL).

Les unités SI de rayonnement ont déjà été introduites en Suède dans le domaine médical et le seront dans les autres domaines avant 1984 (avec abandon des anciennes unités); elles seront définitivement adoptées par les pays du Conseil d'Assistance Economique Mutuelle le 1<sup>er</sup> janvier 1980 et par ceux de la Communauté Européenne après le 31 décembre 1985.

Mr Jennings fait remarquer que la création de groupes de travail constitue une nouveauté pour la Section I. Il espère qu'elle permettra de poursuivre efficacement le travail de la Section entre les réunions.

#### Travaux du BIPM

Mme Boutillon présente les comparaisons de rayons X qui ont été effectuées dans le domaine de 10 à 50 kV. L'accord entre les étalons, qui est de l'ordre de 0,5 %, est satisfaisant pour les besoins. On a également fait de nouveaux calculs de G, correction pour le rayonnement de freinage, correction qui est nécessaire pour passer des mesures d'exposition au kerma.

Mlle Niatel donne un compte rendu des comparaisons internationales des mesures de dose absorbée dans le graphite, effectuées dans le faisceau de  $^{60}\text{Co}$  avec le NBS, la PTB, le RIV et le LMRI. Bien que généralement satisfaisante, la nouvelle valeur ICRU de  $W$  (énergie moyenne requise pour produire une paire d'ions dans l'air) de 33,85 eV rend moins bon l'accord entre les mesures de chambres d'ionisation et les mesures calorimétriques. Il est possible, cependant, que ce désaccord ne soit pas dû à  $W$  mais plutôt aux rapports des pouvoirs de ralentissement ou à d'autres paramètres moins bien connus que  $W$ . Des expériences ont été faites aussi pour évaluer l'effet dû aux différences de masse volumique du graphite utilisé dans les mesures de dose absorbée. Des différences de 1 % ont été constatées. On a effectué des études théoriques et expérimentales du rapport du kerma dû au rayonnement diffusé et du kerma dû aux photons primaires en fonction de la profondeur dans le graphite. De nouveaux calculs concernant les facteurs de conversion  $C_E$  et  $C_\lambda$  ont été faits en liaison avec un groupe de travail ICRU.

Mme Perroche donne un bref compte rendu du travail concernant  $W$  pour les électrons, fait en relation avec le nouveau rapport ICRU sur  $W$ , et présente un projet de dispositif expérimental destiné à mesurer  $W$  pour les électrons de faible énergie dans l'air et dans d'autres gaz.

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

Mr Campion signale que cette Section a tenu une réunion en avril 1979, à laquelle assistaient plus d'observateurs que d'habitude, y compris des observateurs de Hongrie, d'Australie, des Etats-Unis d'Amérique et de la République Populaire de Chine.

En 1975, la Section II sortait d'une longue période pendant laquelle les comparaisons internationales avaient été interrompues. Celles-ci ont repris avec une comparaison de  $^{139}\text{Ce}$  qui est terminée et dont l'analyse est publiée. Une expérience de mesure de taux de comptage élevés a été effectuée au moyen du  $^{60}\text{Co}$ . Les résultats de ces études, ainsi que de nouveaux résultats théoriques obtenus par D.R. Cox et V. Isham, laissent à penser que des taux de comptage de  $10^5 \text{ s}^{-1}$  ou quelque peu supérieurs peuvent maintenant être mesurés avec de faibles incertitudes.

Le système international de référence pour les émetteurs de rayonnement gamma fonctionne régulièrement. Dix-huit laboratoires ont expédié au BIPM des ampoules de solutions de 34 radionucléides différents. L'un des effets de l'instauration de ce système est de réduire le besoin en comparaisons internationales, sauf dans les cas où des problèmes particuliers apparaissent. L'effort dans le domaine des comparaisons peut désormais être concentré sur des radionucléides auxquels le système de référence ne s'applique pas, par exemple les nucléides à capture électronique pure, ou sur des radionucléides pour lesquels le système fait apparaître des désaccords.

Mr Campion indique que les définitions proposées par l'ICRU et le CCEMRI pour l'activité sont maintenant en assez bon accord.

Une comparaison de sources ponctuelles d'émetteurs de rayonnement gamma a été organisée par la PTB pour le compte de la Section II. Huit laboratoires y ont participé et ont mesuré des sources de 17 radionucléides. L'analyse de la comparaison est en cours à la PTB.

Mr Weiss discute les travaux futurs de la Section. La comparaison de  $^{134}\text{Cs}$  est terminée et le rapport final est en préparation. Le travail expérimental de la comparaison de  $^{137}\text{Cs}$ , qui utilise le  $^{134}\text{Cs}$  comme indicateur d'efficacité, est achevé mais tous les résultats n'ont pas encore été transmis au BIPM. Les résultats soumis font apparaître une dispersion d'environ 2 %. La comparaison de  $^{55}\text{Fe}$ , nucléide qui se désintègre par capture électronique pure, est en cours. Les résultats préliminaires montrent une dispersion d'environ 5 %.

Les chambres d'ionisation du système international de référence ont révélé une différence de 1 % entre deux groupes de résultats de mesures effectuées avec le  $^{133}\text{Ba}$ . Ce problème demande une étude plus approfondie.

Le  $^{109}\text{Cd}$  et les émetteurs de rayonnement alpha pourraient faire l'objet de comparaisons internationales. Un groupe de travail a été créé, avec Mr Rytz comme coordinateur, pour étudier les comparaisons futures. Des comparaisons restreintes seront sans doute organisées entre quelques laboratoires avant la réunion de la Section II de 1981, ce qui permettra de décider à cette époque si des comparaisons à grande échelle doivent être organisées.

#### Travaux du BIPM

Mr Rytz présente les travaux de comparaisons internationales effectués au BIPM. La comparaison de  $^{134}\text{Cs}$  a réuni 24 participants et 24 résultats ont été transmis au BIPM. La solution avait été fournie et purifiée par l'AECL, tandis que le LMRI s'était chargé des contrôles et de l'expédition. Un seul résultat est assez différent des autres, pour une raison inconnue.

Le  $^{137}\text{Cs}$  est un nucléide pour lequel on ne peut pas faire de comptage par coïncidences; il faut donc utiliser une autre méthode, telle que l'indicateur d'efficacité. Les solutions avaient été fournies par le NBS. Les résultats préliminaires font apparaître une dispersion de 2 %. Des renseignements complémentaires ont été demandés aux participants avant de commencer l'analyse.

Mr Rytz discute le système de mesure de rayonnement gamma formé d'une chambre d'ionisation et d'une source de radium et qui est utilisé comme système international de référence de mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma. Des études ont montré que le centrage des ampoules introduit une incertitude négligeable.

Les réponses des chambres, contrôlées par une source de radium, sont constantes dans le temps. L'étranchéité des cinq sources de radium a été démontrée par des comparaisons faites entre elles. Les sources de radium ne sont pas vieilles, et ont une faible croissance de  $^{210}\text{Pb}$ . Il serait donc souhaitable de pouvoir les comparer régulièrement avec une vieille source de radium. On a déterminé une courbe de sensibilité qui donne le rapport de la réponse mesurée et d'une réponse linéaire, en fonction de l'énergie des photons. Deux cent neuf résultats ont été rassemblés au total pour 34 nucléides, soit environ six résultats par nucléide. Les laboratoires nationaux d'étalonnage envoient au BIPM environ 50 ampoules de solutions par an.

Mr Rytz signale brièvement les travaux effectués dans le domaine de la mesure des énergies de particules alpha. Le spectromètre du BIPM est le seul au monde à avoir été conçu pour des mesures absolues d'énergie de particules alpha. Les résultats obtenus servent de base pour évaluer des différences très exactes de masses atomiques. L'instrument peut être utilisé pour des mesures sur des nucléides à période longue, c'est-à-dire à faible activité spécifique, comme le  $^{239}\text{Pu}$  et le  $^{243}\text{Am}$ . Une nouvelle compilation et évaluation des énergies de particules alpha est en cours de publication dans Atomic Data and Nuclear Data Tables.

Mr Müller présente ses travaux actuels sur les statistiques de comptage qui ont donné lieu à environ une douzaine de rapports BIPM. Il est possible d'aborder ces études en termes de distribution d'intervalles - intervalles de temps entre les événements observés - ou en prenant comme point de départ l'étude des distributions du nombre d'événements observés dans des intervalles de temps donnés. Ce dernier aspect est plus proche des mesures expérimentales. Mr Müller étudie également les déviations par rapport à la distribution de Poisson car elles contiennent des informations intéressantes sur les processus physiques impliqués. Si la source décroît pendant la mesure, on peut déterminer un facteur de correction pour obtenir une distribution de Poisson modifiée pour la décroissance. Cette étude a conduit à une méthode susceptible d'être utilisée pour la mesure de périodes.

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

Mr Caswell présente la comparaison de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques effectuée par Mr Huynh (BIPM) à la demande de la Section III. Les mesures ont été faites à cinq valeurs d'énergie de neutrons et neuf laboratoires y ont participé. La dispersion des résultats est d'environ 5 %, excepté pour les mesures faites à 250 keV avec la sphère de polyéthylène où elle est beaucoup plus importante. Bien qu'il soit agréable de constater que les résultats sont bons, meilleurs même que certains ne l'espéraient, il apparaît clairement qu'une exactitude de 1 % - qui est le but poursuivi à long terme - n'est pas encore près d'être atteinte. Les résultats de la comparaison ont été analysés et le rapport a été soumis à Metrológia pour publication.

La Section III a élaboré une proposition d'installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV destinée à la dosimétrie neutronique. Cette question est discutée plus loin (p. R 8).

Etant donné que, d'une part, la dernière comparaison de mesures d'une source de neutrons organisée par la Section III remonte à une quinzaine d'années et que la technologie s'est beaucoup améliorée depuis et que, d'autre part, plusieurs laboratoires s'intéressent aux sources de  $^{252}\text{Cf}$  comme étalons pour différents domaines d'application, la Section III a commencé une comparaison internationale de mesures du taux d'émission d'une source de  $^{252}\text{Cf}$  d'environ  $10^7 \text{ s}^{-1}$  fournie par le NBS. Cinq laboratoires ont déjà

mesuré la source sur les onze dont la participation est envisagée actuellement. Une comparaison restreinte d'une source intense de  $^{252}\text{Cf}$  d'environ  $10^9 \text{ s}^{-1}$  est en cours également entre la PTB, le NPL et le NBS.

Avant d'envisager une nouvelle comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques, la Section III a décidé d'entreprendre l'amélioration des méthodes utilisées. Six instruments de transfert ont été étudiés et trois ont été sélectionnés pour une comparaison dont le début est projeté en 1980. Les énergies choisies sont les suivantes: 144 keV, 565 keV, 2,5 MeV, 5,0 MeV et 14,8 MeV. Des chambres à fission mises au point par D.B. Gayther (AERE, Harwell) seront utilisées pour toutes les énergies. La réaction  $^{115}\text{In}(n, n')^{115}\text{In}^m$  a été retenue pour les trois énergies élevées et la réaction  $^{115}\text{In}(n, \gamma)^{116}\text{In}$  sera employée comme méthode d'activation pour les deux énergies inférieures.

Mr Caswell signale qu'il faudrait renforcer la compétence de la Section dans certains domaines techniques en y adjoignant comme membres quelques experts. Ceci relève du problème général de la composition des Sections du CCEMRI qui a été discuté ultérieurement au cours de la réunion.

#### Travaux du BIPM

Mr Huynh résume la participation du BIPM à la comparaison internationale de mesures d'une source de  $^{252}\text{Cf}$ .

De nouvelles mesures ont été faites au BIPM sur le rapport des sections efficaces d'absorption de neutrons thermiques pour le manganèse et l'hydrogène. Ce rapport est important dans les mesures de sources de neutrons par la méthode du bain de sulfate de manganèse. La méthode utilisée consiste à modifier la concentration en  $\text{MnSO}_4$  et à observer le taux de comptage en fonction de la concentration. La nouvelle valeur du rapport de section efficace manganèse/hydrogène est en accord avec les récentes déterminations faites avec beaucoup de soin au NPL et à l'INEL (Idaho Nuclear Engineering Laboratory).

Mr Huynh fait remarquer que, lors de la comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques faites à 14,8 MeV avec la chambre à fission, les compteurs à protons de recul avaient tendance à donner des taux de comptage par débit de fluence plus élevés que les méthodes de la particule associée. Il a donc entrepris une étude qui a montré que, dans le cas du dispositif utilisé au BIPM pour le comptage des particules associées, on n'avait pas tenu compte d'un mouvement propre de 1 % dû aux réactions  $\text{Si}(n, \alpha)$  et  $\text{Si}(n, p)$  dans le détecteur de particules alpha. Ceci ferait baisser la valeur déterminée par le BIPM pour le débit de fluence neutronique, augmenterait le rapport du taux de comptage par débit de fluence et mettrait la méthode de la particule associée en meilleur accord avec celle du proton de recul.

Mr Huynh a joué un rôle primordial dans l'élaboration du projet d'installation d'une source intense de neutrons de 14 MeV pour dosimétrie neutronique (modification du bâtiment existant, choix de l'accélérateur et installation dans le laboratoire) qui est discuté plus loin dans ce rapport (p. R 8).

Après ces différentes discussions, les membres du CCEMRI ont visité les laboratoires de la Section des rayonnements ionisants.

## 2. COMPOSITION DES SECTIONS DU CCEMRI

Mr Ambler présente les grandes lignes du problème. Il y a de plus en plus de demandes de laboratoires qui souhaitent faire partie des Sections du CCEMRI. Si une telle situation est agréable, car elle montre l'intérêt croissant des laboratoires pour les travaux du CCEMRI et du BIPM, elle risque de créer des problèmes, les discussions devenant d'autant plus difficiles que le nombre des participants aux réunions augmente.

Le Comité discute un certain nombre de facteurs qui entrent en jeu, ainsi que d'autres procédés pour choisir les membres. Il est difficile de limiter le nombre des membres d'une Section. Il est important d'y avoir les laboratoires qui contribuent le plus à son programme grâce à leurs travaux de recherche, mais il faut aussi que soient représentés des laboratoires plus petits en voie de développement. Il arrive souvent que les décisions importantes soient dues à l'influence d'un petit groupe de laboratoires actifs. Les grandes Sections peuvent travailler efficacement grâce à différentes techniques, comme par exemple des groupes de travail qui sont chargés d'étudier des problèmes spécifiques. Ce mode de fonctionnement est de plus en plus utilisé dans le CCEMRI.

Une des fonctions principales des Comités Consultatifs et des Sections est de conseiller le CIPM, et donc le BIPM et la CGPM. Par ailleurs, les Comités Consultatifs et les Sections peuvent aussi jouer le rôle de groupes chargés de coordonner le déroulement de comparaisons internationales auxquelles le BIPM ne participe pas.

La composition des Comités Consultatifs et des Sections sera examinée par le CIPM à la session qui suivra la Conférence Générale des Poids et Mesures. Les Présidents des Sections du CCEMRI sont chargés d'établir soigneusement la liste des membres qu'ils proposent pour leur Section, cette liste pouvant comporter des laboratoires ou des experts, conformément au Règlement des Comités Consultatifs adopté par le CIPM en 1963 (de plus, il y a un représentant du BIPM). Ces listes, qui ne doivent pas être trop restrictives, sont à adresser à Mr Ambler pour la fin de 1979. Mr Ambler les examinera et fera une proposition au CIPM à la réunion de 1980.

## 3. PROPOSITION DE LA SECTION III CONCERNANT L'INSTALLATION AU BIPM

### D'UNE SOURCE INTENSE DE NEUTRONS DE 14 MeV

#### DESTINÉE À LA DOSIMÉTRIE NEUTRONIQUE

Mr Caswell indique que, comme la comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques arrivait à son terme, la Section III avait étudié en 1977 le programme futur du BIPM dans le domaine des mesures neutroniques et avait envisagé plusieurs orientations. En effet, la Section pense qu'il est important que le BIPM continue à jouer un rôle de premier plan dans le domaine des mesures neutroniques et des comparaisons internationales. Plusieurs possibilités ont été examinées, telles que le statu quo, l'installation au BIPM d'un accélérateur Van de Graaff, la mise à la disposition du BIPM d'un faisceau auprès d'un accélérateur (probablement en France), ou l'installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV destinée à la dosimétrie neutronique. Il avait été décidé en 1977 d'étudier la dernière solution de façon plus approfondie, avec l'idée qu'une telle source pourrait

jouer dans le domaine des mesures neutroniques un rôle similaire à celui que joue déjà au BIPM la source intense de  $^{60}\text{Co}$  pour les mesures de dose absorbée.

Un projet de proposition avait été préparé par la Section III, avec l'assistance de Mr Huynh. Ce projet a été étudié et remanié lors de la réunion de la Section en avril 1979. Il en est résulté une proposition (voir Annexe R 3, p. R 40) qui concerne principalement les comparaisons d'instruments utilisés en thérapie neutronique. Il existe actuellement 17 institutions qui font de la thérapie neutronique, surtout avec des cyclotrons et des générateurs de neutrons de 14 MeV. On dispose maintenant d'indications sérieuses montrant que, dans le traitement de certaines tumeurs, les faisceaux de neutrons donnent de meilleurs résultats que les faisceaux de photons conventionnels. Pour cette raison, la Section III pense que la thérapie neutronique continuera à se développer.

Mr Caswell indique que les résultats de deux comparaisons internationales de dosimétrie neutronique organisées, l'une (INDI) par l'ICRU et l'autre (ENDIP) par la Communauté Européenne, ont fait apparaître des écarts par rapport à la valeur moyenne des résultats de l'ordre de 7 à 8 %, ce qui est loin de l'exactitude de 1 à 2 % qui est nécessaire pour les étalons utilisés en radiothérapie. Environ sept laboratoires nationaux sont en train de mettre en place des programmes de dosimétrie neutronique pour la thérapie et seraient intéressés par des comparaisons internationales faites au BIPM. De plus, d'autres laboratoires nationaux seraient intéressés par des comparaisons dans d'autres domaines d'application; enfin, certains hôpitaux et d'autres laboratoires utilisant le rayonnement neutronique ont manifesté leur intérêt.

Mr Huynh présente le projet d'implantation de appareils qui nécessiterait une modification de l'actuel laboratoire de mesures neutroniques. L'accélérateur devrait avoir un taux d'émission de  $10^{11}$  neutrons par seconde pour répondre aux besoins des comparaisons de chambres d'ionisation utilisées en dosimétrie. On a choisi un accélérateur Sames, type TB8, avec un générateur haute tension de 300 kV et une source d'ions du type duoplasmatron qui fournit un courant d'ions de 8 mA.

Le coût de l'installation est prévu comme suit: 0,85 MF (francs français) pour l'accélérateur, 0,35 MF pour les modifications du bâtiment et 0,2 MF de frais d'équipement et de mise en route, soit au total 1,4 MF.

Mr Terrien demande si du personnel supplémentaire serait nécessaire. MM. Allisy, Huynh et Caswell répondent par la négative. Mr Allisy indique que le personnel du groupe de mesure des photons du BIPM apporterait son concours pour l'étude des problèmes posés par la présence des photons associés aux neutrons. Il est évident que le BIPM abandonnerait une de ses activités précédentes qui consistait à accompagner les instruments de transfert de laboratoire en laboratoire pour effectuer des mesures de comparaison internationale.

Mr Quinn demande pourquoi il faut une source ayant un débit de  $10^{11} \text{ s}^{-1}$ , et non  $10^{10} \text{ s}^{-1}$  comme en ont certains laboratoires. Mr Caswell répond que ceci a pour but d'éviter une trop grande différence avec les conditions de mesure qui existent en thérapie, de permettre des mesures à de grandes profondeurs dans un fantôme d'eau et d'augmenter l'exactitude des mesures faites avec des dosimètres peu sensibles. Mr Jennings indique que le NPL est en train d'augmenter le taux d'émission de la source utilisée pour la dosimétrie neutronique de  $10^{10} \text{ s}^{-1}$  à  $10^{11} \text{ s}^{-1}$ .

Après un échange de vues, il a été établi qu'il n'existe pas d'autres besoins d'équipements comparables dans la Section des rayonnements ionisants, le principal besoin pour les mesures de radioactivité étant un détecteur à Ge(Li) qui, avec l'électronique associée, coûtera au plus 0,1 MF. Le domaine des mesures neutroniques a donc la priorité pour un nouvel effort à faire dans la Section des rayonnements ionisants.

Une discussion s'est ensuite engagée au sujet d'équipements importants dont le BIPM pourrait avoir besoin dans d'autres secteurs d'activité. Il a été aussi admis que le BIPM pourrait financer l'installation en utilisant le Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique, qui couvrirait la plus grande partie du coût de l'accélérateur, et les Fonds équipement et bâtiments pour le reste. Finalement, le CCEMRI a adopté sans modification la Recommandation R(III)-1 (1979).

#### 4. RAPPORTS DU PRÉSIDENT DU CCEMRI AU CIPM ET À LA CGPM

Les projets de rapports présentés sont considérés comme acceptables. Les corrections mineures à y apporter doivent être transmises à Mr Ambler ou Mr Caswell.

#### 5. DATES DES RÉUNIONS FUTURES

Les prochaines sessions du CCEMRI auront lieu en juillet 1981 et juillet 1983, les réunions des Sections se tenant comme actuellement entre mars et mai de la même année.

Il serait peut-être souhaitable que la session de 1981 se tienne peu après le Congrès International de Radiologie de Bruxelles.

#### 6. CLÔTURE DE LA SESSION

Au moment où Mr Campion quitte la présidence de la Section II du CCEMRI, Mr Ambler le remercie pour le travail qu'il a effectué et souligne que l'activité de la Section II pendant cette période a fait progresser la métrologie des radionucléides. Il souhaite à son successeur, Mr Weiss, dont la nomination devra être confirmée par le CIPM à sa session d'octobre 1979, un plein succès comme nouveau président de la Section II.

Mr Ambler remercie le BIPM pour son travail et son hospitalité et lève la séance.

(Juillet 1979, révisé Août 1979)

RECOMMANDATION du CCEMRI (Section III)  
présentée au Comité International des Poids et Mesures

Installation au BIPM d'une source de neutrons de 14 MeV pour dosimétrie neutronique

RECOMMANDATION R(III)-1 (1979)\*

Le Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants  
(Section III),

considérant l'importance croissante de la dosimétrie neutronique pour les appli-  
cations biologiques et cliniques,

et considérant que le Bureau International des Poids et Mesures doit rester  
le centre pour les comparaisons internationales entre les laboratoires nationaux de  
métrologie,

recommande que le Comité International des Poids et Mesures approuve la pro-  
position d'équiper le BIPM d'une source de neutrons d'énergie 14 MeV destinée à  
la dosimétrie neutronique.

---

\* Cette Recommandation a été discutée par le Comité International des Poids  
et Mesures à sa session d'octobre 1979 et sera de nouveau examinée en octobre 1980.

## ANNEXE R 1

---

### **Documents de travail présentés à la 8<sup>e</sup> Session du CCEMRI**

---

#### Document CCEMRI/

- 79-1 Section III (Neutron Measurements) of CCEMRI. - Proposal for a 14-MeV neutron dosimetry facility at Bureau International des Poids et Mesures (voir traduction à l'Annexe R 3).
  - 79-2 Report of CCEMRI Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons) to CIPM, par R. Loevinger.
  - 79-3 Report of CCEMRI Section II (Mesure des radionucléides) to CIPM, par D. Smith.
  - 79-4 Report of CCEMRI Section III (Mesures neutroniques) to CIPM, par E. J. Axton et K. W. Geiger.
  - 79-5 Report of the chairman of the Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) to the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) (voir traduction à l'Annexe R 2).
  - 79-6 Report of the chairman of the Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) to the Conférence Générale des Poids et Mesures.
-

## ANNEXE R 2

---

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

---

*Résumé.* - L'emploi croissant des rayonnements ionisants (médecine, réacteurs nucléaires, industrie) nécessite des mesures de plus en plus exactes des grandeurs concernant les rayons X et  $\gamma$ , 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  $\gamma$ , électrons ; Mesure des radionucléides ; Mesures neutroniques. On étudie, pour chacune de ces sections, les points suivants : besoin en étalons, programme de travail prévu de 1977 à 1979, réalisations pendant cette même période et travaux futurs envisagés de 1979 à 1983. Dans chaque cas, on décrit les activités correspondantes du BIPM. Le rapport comporte également une recommandation de la Section I concernant l'étude des étalonnages en termes de dose absorbée dans l'eau et une recommandation du CCEMRI au CIPM concernant l'installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV pour dosimétrie neutronique.

*Abstract.* - The increasing use of ionizing radiations (medicine, nuclear reactors, industry) calls for more and more accurate measurements of X and  $\gamma$  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  $\gamma$  Rays, electrons ; Radionuclide measurements and Neutron measurements. The following points are discussed under each section : need for standards, program of activities planned from 1977 to 1979, accomplishments during the same period and plans for future work from 1979 to 1983. The related BIPM activities are described in the appropriate section. The report includes a recommendation made by Section I concerning the study of calibrations in terms of absorbed dose in water and a recommendation from CCEMRI to CIPM concerning the establishment of an intense 14-MeV neutron dosimetry facility at BIPM.

## INTRODUCTION

L'utilisation des rayonnements ionisants ne cesse de croître en médecine (diagnostic et traitement). On continue à construire de nouvelles centrales nucléaires pour remplacer les sources fossiles d'énergie qui s'amenuisent. L'emploi des rayonnements ionisants croît régulièrement dans l'industrie pour améliorer les propriétés des matériaux et de nouvelles applications sont sans cesse mises au point. Tout cela conduit à un accroissement du nombre et de la variété des sources de rayonnements ionisants.

Cependant, les êtres humains et les nations sont de plus en plus préoccupés par les problèmes de sécurité que pose l'emploi des rayonnements ionisants. Pour assurer cette sécurité, de nombreux gouvernements ont créé des organismes régulateurs qui édictent des règlements nécessitant des mesures exactes des rayonnements ionisants. De plus, afin d'assurer la validité des mesures, ces règlements exigent de plus en plus que les étalonnages des instruments de mesure, ou les mesures elles-mêmes, soient rattachables aux références des laboratoires nationaux. Il est donc très important que ceux-ci disposent d'étalons de mesure exacts et cohérents.

Il en résulte que l'importance des mesures exactes de rayonnements ionisants continue à augmenter. Des mesures de neutrons, de rayons X et gamma et d'activité ayant une exactitude d'environ 1 % sont requises pour projeter des centrales électriques dotées de réacteurs nucléaires. Pour la thérapie du cancer, on considère généralement qu'une exactitude de 5 % dans la mesure de la dose absorbée est requise, ce qui nécessite une exactitude d'environ 3 % pour les mesures physiques et de 1 à 2 % pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants. Dans le domaine des faibles niveaux d'activité, il faut des mesures d'une exactitude quelque peu inférieure pour la protection des travailleurs et de l'ensemble de la population, ainsi que pour le contrôle de l'environnement. Dans le domaine de la sécurité, on peut citer la surveillance du personnel hospitalier, la mesure des rejets radioactifs des centrales nucléaires, les mesures de rayonnements dans les mines d'uranium, l'atmosphère, les fleuves,

les océans et au sol. Des mesures exactes des matériaux radioactifs ont un impact économique sur des domaines tels que les combustibles nucléaires et les produits pharmaceutiques radioactifs. Les nouveaux progrès accomplis dans le domaine des rayonnements ionisants qui entraînent de nouveaux problèmes de mesure concernent la tomographie utilisant un ordinateur, que beaucoup considèrent comme le progrès le plus prometteur en médecine depuis la découverte des rayons X, et le souci mondial de la protection contre les matériaux nucléaires qui soulève des problèmes nombreux et difficiles dans la mesure des matériaux contenant du plutonium et de l'uranium enrichi.

Compte tenu des questions nombreuses et variées mentionnées plus haut, et de la grande difficulté des mesures nécessaires, le problème des mesures de rayonnement et celui du rôle central du CIPM et du BIPM dans le système international de mesure des rayonnements ionisants est un sujet de très grande importance.

Le Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CEMRI) est constitué actuellement de trois Sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides) et Section III (Mesures neutroniques). Ce rapport comprend donc trois parties. Pour chacune on considère successivement :

- A. Les besoins en étalons,
- B. Le programme de travail prévu pour la période de 1977 à 1979,
- C. Les réalisations pendant la période de 1977 à 1979,
- D. Les travaux futurs envisagés de 1979 à 1983.

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

#### SECTION I - RAYONS X ET $\gamma$ , ÉLECTRONS

##### A. *Besoins en étalons*

Le besoin avéré et pérenne d'étalons de mesure de rayonnements ionisants existe dans trois domaines principaux : radiothérapie, radioprotection et applications industrielles. Si l'on s'exprime en termes de la grandeur dose absorbée, les

niveaux concernés varient selon les domaines d'application et doivent donc être étudiés séparément.

On se rappellera, d'après le Rapport présenté en 1977 à la 7<sup>e</sup> session du CCEMRI, que

- depuis de nombreuses années la grandeur de référence adoptée pour les faisceaux de photons (X et  $\gamma$ ) est l'exposition, les résultats des mesures étant exprimés avec une unité spéciale, le röntgen<sup>(1)</sup>,

- plus récemment, certains laboratoires ont mis au point des calorimètres pour mesurer la dose absorbée dans le graphite. Dans les deux cas, on a besoin de facteurs de conversion pour exprimer les résultats en termes de "dose absorbée dans l'eau", grandeur de référence appropriée pour la radiothérapie.

Par ailleurs, un problème pratique est apparu avec l'introduction du SI dans les mesures de rayonnement. Avec les anciennes unités spéciales pour l'exposition et la dose absorbée, respectivement le röntgen et le rad, il existait à peu près une équivalence numérique, ce qui n'est plus le cas avec les unités SI qui les remplacent, le coulomb par kilogramme et le joule par kilogramme (nom spécial : le gray). Les risques qui pourraient en résulter ont amené à proposer l'abandon de la grandeur exposition en faveur du kerma dans l'air, puisque cette dernière grandeur peut également être exprimée en joules par kilogramme ou en grays, unité qui intéresse l'utilisateur.

B. Programme de travail prévu pour la période de 1977 à 1979, y compris les modifications faites ou proposées depuis 1977

1. Le BIPM doit continuer à jouer un rôle central pour la comparaison des étalons primaires nationaux d'exposition et de dose absorbée, et les laboratoires nationaux sont encouragés à utiliser ses installations pour les mesures comparatives. Ces installations permettent de mesurer l'expo-

---

(1) On trouvera dans *Le Système International d'Unités* (BIPM, 3<sup>e</sup> édition, 1977), la position de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) sur les unités SI d'exposition, de dose absorbée et des autres grandeurs de rayonnement, ainsi que sur l'emploi temporaire autorisé des anciennes unités en dehors du SI, telles que le röntgen et le rad. Les définitions des grandeurs et unités de rayonnement sont données dans *Radiation Quantities and Units*, International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) Report 19, 7910 Woodmont Avenue, Washington, D.C. 20014, USA, 1971.

sition pour les rayons X produits dans des conditions spécifiées entre 10 et 250 kV et pour les photons du  $^{60}\text{Co}$ , ainsi que la dose absorbée pour les photons du  $^{60}\text{Co}$  seulement, toutes ces mesures étant faites à des niveaux utilisés en radiothérapie.

2. A la 4<sup>e</sup> réunion de la Section I en mai 1977, il avait été jugé souhaitable de passer des étalons d'exposition aux étalons de kerma dans l'air ; les laboratoires nationaux et le BIPM étaient d'accord pour étudier la possibilité d'effectuer un tel changement. Etant donné l'urgence de prendre une décision, on avait organisé une réunion complémentaire en décembre 1977 dans le but de trouver une solution à ce problème et aux conséquences que le changement entraînerait dans l'emploi des unités dans les pays représentés dans la Section I.

3. Toutefois, à la réunion de décembre 1977, la Section I a décidé de maintenir les étalons d'exposition, de continuer à exprimer les étalonnages en termes d'exposition et, en cas de besoin, en termes de kerma dans l'air utilisant les facteurs de conversion appropriés. Par ailleurs, les laboratoires nationaux devaient explorer la possibilité d'utiliser des matériaux autres que l'air et des grandeurs autres que l'exposition et le kerma dans l'air. Parallèlement, on devait poursuivre l'étude d'étalons primaires de dose absorbée.

4. La Section I s'est aussi intéressée à l'expression des incertitudes, mais la question a été reprise par le CIPM entre les réunions de mai et décembre 1977.

### *C. Réalisations pendant la période de 1977 à 1979*

Les principaux travaux accomplis depuis la dernière réunion du CCEMRI sont les suivants :

1. Comparaisons internationales. Les étalons d'exposition du BIPM ont été comparés à ceux du NPL<sup>(2)</sup> et de l'OMH dans le domaine d'énergie de 10 à 50 kV, et à ceux de l'ARL et de l'ISS dans le domaine d'énergie de 100 à 250 kV. Les étalons calorimétriques de dose absorbée de la PTB et du RIV ont été comparés à l'étalon ionométrique du BIPM dans le

---

(2) Les sigles des laboratoires sont expliqués dans l'Annexe D.

faisceau de  $^{60}\text{Co}$ . Par ailleurs, on a étalonné deux chambres de graphite du NIRP destinées à devenir les étalons suédois de dose absorbée dans le graphite. D'autres comparaisons en cours ailleurs, utilisant le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ , concernent les étalons de dose absorbée du NBS et du VNIIFTRI, et les systèmes d'étalonnage en termes de dose absorbée dans l'eau entre le NBS et le NRC. Enfin, des comparaisons de dose absorbée pour les rayonnements  $\beta$  sont en cours entre le NPL et la PTB.

Des modifications ont été apportées par la Section I aux conditions de mesures utilisées au BIPM lors de la comparaison de calorimètres.

2. Des exposés sur les sujets suivants ont été présentés à la 5<sup>e</sup> réunion de la Section I en mai 1979 :

- a) La question des grandeurs et des unités en relation avec leur dissémination à partir de l'étalon primaire jusqu'aux instruments utilisés en radiothérapie, et la nécessité de prendre des décisions en ce qui concerne les facteurs de conversion entre l'exposition, le kerma dans l'air et la dose absorbée dans des conditions de référence.
- b) L'exactitude requise et l'exactitude atteinte pour les mesures de rayonnement pour usage industriel, et la question de la participation éventuelle du BIPM dans ce domaine.

3. Plusieurs laboratoires ont rendu compte de leurs travaux concernant des mesures et des calculs intéressant directement le programme de la Section. Le BIPM a poursuivi ses travaux sur la détermination ionométrique de la dose absorbée dans le graphite, en particulier le calcul de la correction de perturbation. Une analyse des facteurs de conversion,  $C_E$  et  $C_\lambda^{(3)}$ , permettant le passage de l'exposition à la dose absorbée dans l'eau a également été présentée. Un autre sujet qui a été abordé est celui du point effectif de mesure dans une chambre d'ionisation. Cette question nécessite des études plus approfondies.

---

(3)  $C_\lambda$  (ou  $C_E$ ) est le facteur de conversion utilisé pour passer de l'indication d'exposition apparente, donnée par une chambre d'ionisation étalonnée en exposition pour le rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , à la dose absorbée dans l'eau pour des photons (ou des électrons) de haute énergie.  $C_E$  et  $C_\lambda$  sont, par conséquent, fonction de l'énergie des électrons ou des photons, des caractéristiques physiques de la chambre d'ionisation et de sa position dans l'eau.

D. *Travaux futurs envisagés de 1979 à 1983*

Les discussions sur les grandeurs et unités à utiliser en radiothérapie, auxquelles on a déjà fait référence dans ce rapport, ont conduit à l'adoption de la Recommandation R(I)-1 lors de la réunion de mai 1979 (voir plus loin), et à la création de deux Groupes de travail chargés de faire des propositions dans ce domaine. On reconnaît que l'étalonnage en termes de dose absorbée dans l'eau est une nécessité fondamentale en radiothérapie, mais il est notoire que l'on ne connaît pas les facteurs dont on a besoin pour passer de l'exposition à la dose absorbée dans l'eau avec une exactitude comparable à l'exactitude des étalons primaires d'exposition. On a par conséquent créé un Groupe de travail chargé de fournir des valeurs numériques plus exactes pour les facteurs en question et d'étudier les conditions qu'il conviendrait de spécifier pour les étalonnages. Ce Groupe comprend des représentants des laboratoires et organismes suivants : NRC (président), ARL, BIPM, ETL, ICRU, IMM, LMRI, NBS, NIM, NIRP, NPL, OMH, PTB et RIV. Il a été convenu également que la Section étudierait d'autres méthodes d'étalonnage de la dose absorbée dans l'eau dans des conditions données.

Le deuxième Groupe de travail a été chargé d'étudier les facteurs de conversion dont on a besoin pour déduire la dose absorbée dans l'eau à partir de mesures calorimétriques dans le graphite, ce qui correspond à une autre façon de relier aux mesures primaires les mesures dont les utilisateurs ont besoin. Ce groupe comprend des représentants des laboratoires et organismes suivants : NBS (président), ARL, BIPM, ETL, ICRU, LMRI, NIRP, NPL, NRC, PTB et RIV.

Ces deux Groupes de travail présenteront un rapport à la prochaine réunion de la Section qui doit se tenir en 1981.

Plusieurs laboratoires envisagent de comparer leurs étalons d'exposition ou de dose absorbée à ceux du BIPM au cours des années à venir. En ce qui concerne le programme des comparaisons, il a été signalé qu'un certain nombre de laboratoires nationaux utilisent des systèmes de référence de dosimètres chimiques Fricke pour mesurer la dose absorbée. Ces dosimètres sont expédiés par voie postale ; ils sont irradiés dans le laboratoire de l'utilisateur puis renvoyés

au laboratoire d'origine pour contrôle par spectrophotométrie. Il a été décidé d'organiser une comparaison des systèmes de référence Fricke, toutes les irradiations étant faites au BIPM. La comparaison sera précédée de la circulation d'un matériau de référence étalon pour comparer le fonctionnement des spectrophotomètres utilisés pour mesurer la dose absorbée dans les laboratoires participants. Un Groupe de travail a été chargé d'organiser cette comparaison ; il comprend des représentants des laboratoires suivants : NPL (président), AIEA, ETL, LMRI, NBS, NIM, NIRP, NRC et PTB.

Au cours de la discussion concernant les mesures de rayonnement pour usage industriel, il est apparu clairement que l'exactitude que l'on peut atteindre est tout juste suffisante pour satisfaire les besoins. Une comparaison internationale de champs de rayonnement intense est donc souhaitable, mais auparavant il sera nécessaire de mettre au point un instrument de transfert adéquat pour effectuer une telle comparaison. Plusieurs laboratoires sont intéressés par une mise au point de tels instruments et la question sera reprise à la réunion de 1981. Il sera aussi nécessaire de disposer d'un centre pour les irradiations - qui pourrait être le BIPM - quand les comparaisons commenceront.

Le choix des grandeurs appropriées pour exprimer les résultats des mesures faites dans le domaine de la protection de l'environnement et du personnel est encore en cours de discussion dans les organismes internationaux concernés. Dans ces conditions, la Section attendra de connaître le résultat des discussions avant de prendre une décision concernant les comparaisons dans ce domaine.

L'emploi des unités spéciales röntgen, rad et rem a été abandonné en Suède dans le domaine médical en janvier 1979 et le sera dans les autres domaines avant 1984. Il cessera d'être autorisé dans les pays membres du Conseil d'Assistance Economique Mutuelle après le 1<sup>er</sup> janvier 1980 et dans ceux de la Communauté Economique Européenne après le 31 décembre 1985.

En conclusion, il convient d'attirer l'attention sur deux directions de l'évolution des travaux de cette Section. D'abord la création de Groupes de travail opérant entre les réunions, ce qui est nouveau pour la Section I ; on peut en attendre une avance plus rapide du programme de travail.

Ensuite, certaines questions qui ont été discutées concernent des mesures qui intéressent directement l'utilisateur plutôt que la comparaison d'étalons entre laboratoires nationaux. Ces deux actions visent à promouvoir l'uniformité mondiale des mesures de rayonnement dans ce domaine.

Recommandation du CCEMRI (Section I)  
présentée au Comité International des Poids et Mesures

Etalonnages en termes de dose absorbée dans l'eau

RECOMMANDATION R(I)-1 (1979)

*La Section I du Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,*

*considérant que les étalonnages en termes de dose absorbée dans l'eau sont d'une importance primordiale en radiothérapie,*

*et considérant qu'elle ne peut pas à l'heure actuelle recommander pour les facteurs de conversion, qui permettent de passer de l'exposition à la dose absorbée, des valeurs d'une précision comparable à celle des étalons d'exposition existants,*

*décide qu'au cours des deux prochaines années*

*1. Les membres de la Section doivent s'efforcer d'établir des valeurs numériques plus exactes pour ces facteurs de conversion et d'étudier d'autres méthodes permettant d'obtenir les facteurs d'étalonnage en termes de dose absorbée dans l'eau dans des conditions données ;*

*2. Les conditions dans lesquelles se feront les étalonnages doivent être étudiées.*

*Note.- Il ne découle pas de cette recommandation que la dose absorbée dans l'eau est la seule grandeur utile pour la dosimétrie des rayonnements photoniques. Dans certains cas, la fluence, l'exposition et le kerma peuvent être utiles.*

## SECTION II - MESURE DES RADIONUCLÉIDES

### A. Besoins en étalons

On utilise les radionucléides dans de nombreux procédés industriels, aussi bien que pour les techniques médicales (diagnostic et thérapie). Inévitablement, ils constituent aussi une partie importante des déchets en provenance des hôpitaux et des industries faisant appel à l'énergie nucléaire, en particulier les centrales nucléaires. La quantité totale des matériaux radioactifs utilisés est considérable mais, et c'est peut-être plus important, le nombre des radionucléides est aussi très élevé, et si l'on peut répartir ceux-ci en plusieurs classes selon leur schéma de désintégration, les techniques de mesure pour les différentes classes peuvent être très variées. De plus, il peut exister des problèmes chimiques spécifiques qui influencent la méthode de mesure. L'exactitude exigée est aussi très variée ; elle est en général relativement élevée pour les usages médicaux de la radioactivité, la mesure de débit de fluence de neutrons et des combustibles nucléaires ; elle est moins importante dans le cas des faibles niveaux d'activité rencontrés dans la protection de l'environnement.

### B. Programme de travail prévu pour la période de 1977 à 1979

Les principaux buts à atteindre pendant cette période étaient les suivants :

1. Poursuite des comparaisons internationales. Ces comparaisons ont évolué progressivement des radionucléides ayant un schéma de désintégration simple vers ceux qui ont des schémas de plus en plus complexes. Pour la période concernée, on avait prévu les comparaisons suivantes :  $^{134}\text{Cs}$  (émetteur  $\beta$ - $\gamma$  à schéma de désintégration complexe),  $^{137}\text{Cs}$  (émetteur  $\beta$  ayant un descendant isomère) et  $^{56}\text{Fe}$  (nucléide se désintégrant par capture électronique seulement), les deux dernières devant être des comparaisons restreintes.

2. Comparaison internationale de sources de référence de rayonnement gamma.

3. Développement du système international de référence de mesures d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma.

C. Réalisations pendant la période de 1977 à 1979

1. Comparaisons internationales

Le rapport définitif sur la comparaison internationale de  $^{139}\text{Ce}$ , qui s'est déroulée en 1976, a été publié (Rapport BIPM-77/4) et une version abrégée a paru ailleurs<sup>(4)</sup>.

On a effectué une expérience de taux de comptage élevés utilisant le  $^{60}\text{Co}$  et un rapport sera publié dans lequel on compare avec les formules précédentes la nouvelle solution de D.R. Cox et V. Isham<sup>(5)</sup> pour les corrections de temps mort et de temps de résolution. Les résultats semblent indiquer qu'en métrologie des radionucléides on peut atteindre maintenant des taux de comptage de  $10^5 \text{ s}^{-1}$  ou plus, bien qu'il faille faire plus attention à la nature des temps morts imposés expérimentalement.

La comparaison de  $^{134}\text{Cs}$  s'est achevée avec succès ; 24 laboratoires y ont pris part. Le matériau radioactif a été fourni et purifié par l'AECL, tandis que le contrôle de la pureté, la mise en ampoules et la distribution ont été assurés par le LMRI. Bien que la plupart des résultats soient parvenus au BIPM, le rapport définitif n'est pas terminé. La répartition des résultats, étudiée de la même manière que pour les comparaisons précédentes de  $^{60}\text{Co}$  et de  $^{139}\text{Ce}$ <sup>(6,7)</sup>, fait apparaître un écart-type de 0,15 %. Le tableau I montre l'amélioration continue au cours des années ; on peut la

Tableau I

Radionucléide	Date de la comparaison	Ecart-type relatif (%)
$^{60}\text{Co}$	1967	0,31
$^{139}\text{Ce}$	1976	0,19
$^{134}\text{Cs}$	1978	0,15

(4) RYTZ (A.), International comparison of activity measurements of a solution of  $^{139}\text{Ce}$  (March 1976), *Nuclear Instruments and Methods*, 157, pp. 131-135 (1978) ; *Recueil de Travaux BIPM*, Vol. 6, 1977-78 (article 28).

(5) COX (D.R.) and ISHAM (V.), A bivariate point process connected with electronic counters, *Proc. Roy. Soc. London*, A 356, pp. 149-160 (1977).

(6) CAMPION (P.J.), The work of the BIPM Consultative Committee for Measurement Standards of Ionizing Radiations, Section II, *Nuclear Instruments and Methods*, 112, pp. 41-45 (1973).

(7) RYTZ (A.), Rapport du Comité Consultatif pour les Etalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (Section II, Mesure des radionucléides, 4<sup>e</sup> réunion) au Comité International des Poids et Mesures, 1977.

considérer comme un vrai succès, en particulier si l'on tient compte du fait que le schéma de désintégration du  $^{134}\text{Cs}$  est nettement plus complexe que celui des deux autres nucléides.

La comparaison de  $^{137}\text{Cs}$  constituait une expérience plus limitée et, sur les dix laboratoires qui y ont participé, huit seulement ont jusqu'à présent adressé leurs résultats au BIPM. Le NBS a fourni et distribué la solution de  $^{137}\text{Cs}$  qui avait la même composition chimique que la solution utilisée pour la comparaison de  $^{134}\text{Cs}$ , si bien que les laboratoires pouvaient utiliser ce deuxième isotope comme indicateur d'efficacité pour le premier. On doit attendre l'ensemble des résultats avant de pouvoir faire une analyse utile de la comparaison, mais ceux qui sont déjà connus font apparaître une dispersion d'environ 2 %.

Le matériau pour la comparaison de  $^{55}\text{Fe}$  a été fourni par le NAC ; le contrôle de pureté a été effectué au LMRI et à la PTB. La comparaison elle-même est achevée, mais on ne dispose pas encore de toutes les données. Les résultats provisoires de cinq laboratoires font apparaître une dispersion d'environ 5 %.

## 2. Sources de référence de rayonnement gamma

Les sources de radionucléides émettant un rayonnement  $\gamma$  deviennent importantes pour l'étalonnage de détecteurs à germanium-lithium et d'autres détecteurs pour lesquels il est souhaitable d'avoir des sources ponctuelles. En conséquence, la PTB a organisé au nom de la Section II une comparaison de sources de ce type. Huit laboratoires y ont participé et ont mesuré des sources de 17 radionucléides différents. La dispersion totale des résultats pour un radionucléide donné était d'environ 2 %, mais il faut encore analyser une quantité considérable de résultats. Ceux-ci seront publiés sous forme de rapport BIPM.

## 3. Système international de référence pour les émetteurs de rayonnement gamma

Au fur et à mesure que davantage de laboratoires contribuent à ce système, qui est basé sur une chambre d'ionisation et une source de radium conservées au BIPM, l'utilité de la méthode devient plus apparente. Par exemple, les résultats de la comparaison de  $^{134}\text{Cs}$  sont maintenant

"conservés" dans ce système et pourront être comparés à toute future comparaison de ce nucléide. Pour l'instant, 18 laboratoires nationaux ont contribué à l'introduction de 34 radionucléides dans le système.

#### 4. Activités diverses

La préparation des bibliographies constitue une partie importante des activités du Groupe de travail sur le "Principe de la méthode des coïncidences". La bibliographie sur les effets dus aux temps morts a été mise à jour avec environ 150 nouvelles références ; les projets de deux nouvelles bibliographies, l'une sur les effets d'empilement et l'autre sur le comptage par corrélation, ont été envoyés aux membres de la Section II. Des bibliographies de ce type sont extrêmement utiles, en particulier pour ceux qui abordent un domaine nouveau, et il a été convenu qu'elles devraient être publiées sous forme de rapports BIPM avec des résumés appropriés.

C'est avec satisfaction que l'on peut constater qu'il existe maintenant un accord nettement meilleur sur la définition de l'activité ; les membres de la Section II n'avaient qu'une modification à faire au tout dernier texte de l'ICRU.

La monographie sur le comptage par scintillateurs liquides avance. Sa publication s'est avérée une tâche considérable, mais on espère qu'elle paraîtra avant la prochaine réunion de la Section II.

L'annexe B donne la situation actuelle des monographies et autres publications qui avaient été projetées pour cette période dans le domaine de la mesure des radionucléides.

#### *D. Travaux futurs envisagés de 1979 à 1983*

Durant cette période, l'essentiel des efforts de la Section II portera sur la consolidation des récents progrès indiqués ailleurs dans ce rapport. Une tâche considérable, par exemple, consiste à analyser dans le détail les résultats de plusieurs comparaisons internationales qui ont eu lieu, ainsi qu'à préparer la publication des divers rapports et monographies. La monographie sur l'utilisation et le fonctionnement des chambres d'ionisation comme système de référence pour les radionucléides sera particulièrement impor-

tante. Le succès évident du système international de référence (SIR) en fait un sujet d'intérêt très actuel, d'autant plus que de nombreux laboratoires nationaux envisagent d'installer leur propre équipement.

Du fait que des comparaisons satisfaisantes sont faites au moyen du SIR, il s'ensuit qu'on a maintenant moins besoin de comparaisons internationales d'émetteurs  $\beta$ - $\gamma$ , sauf dans les cas où ce système révèle des anomalies. Il existe cependant des cas, tels que les radionucléides à capture électronique pure ou les émetteurs  $\beta$  ou  $\alpha$  purs, pour lesquels le SIR ne convient pas. Il faut donc considérer ces classes de radionucléides comme des candidats pour des comparaisons internationales futures. Un petit Groupe de travail a été créé pour étudier cette question dans le détail.

### SECTION III - MESURES NEUTRONIQUES

#### A. *Besoins en étalons*

On a besoin de mesures neutroniques exactes et cohérentes, et par conséquent d'étalons, pour le développement de l'énergie nucléaire, la protection du personnel contre les rayonnements, la thérapie du cancer par neutrons et diverses autres applications scientifiques et industrielles.

#### 1. Développement de l'énergie nucléaire

Des mesures neutroniques sont indispensables pour construire des réacteurs à fission, et à l'avenir des réacteurs à fusion, ainsi que pour assurer leur fonctionnement. Les sections efficaces neutroniques, composantes fondamentales entrant dans l'étude des réacteurs nucléaires, doivent être connues pour concevoir les éléments de combustible, le coeur, les blindages, l'appareillage et les systèmes de sécurité. Ces sections efficaces sont mesurées généralement par rapport à une section efficace neutronique de référence, telle que  $H(n,n)H$ ,  $^{10}B(n,\alpha)$  ou  $^{235}U(n,f)$ . Les sections efficaces de référence doivent être connues à 1 % près, de façon à fournir des "repères" pour les mesures comparatives. Une connaissance insuffisante de ces sections efficaces entraîne des dépenses supplémentaires, car il faut faire des essais onéreux pour mettre à l'épreuve les projets de réacteurs ; elle oblige aussi à prendre des marges de

sécurité plus grandes, ce qui entraîne un coût accru de la construction des usines et de l'énergie produite. Une meilleure capacité à mesurer le débit de fluence des neutrons est nécessaire pour améliorer les sections efficaces de référence. On a aussi besoin de mesures neutroniques, quelquefois d'exactitude élevée, pour faire des essais non destructifs avec des matériaux nucléaires spéciaux utilisés comme protection. On a besoin de mesures de fluence et de spectres neutroniques et de mesures de taux de fission dans l'environnement très hostile à l'intérieur des réacteurs nucléaires et pour s'assurer de la sécurité de la cuve sous pression du réacteur. Il est souvent nécessaire de faire des mesures d'exactitude raisonnable pour remplir les conditions de sécurité imposées par les gouvernements.

## 2. Protection du personnel contre les rayonnements

Dans le domaine de la radioprotection des travailleurs soumis à des rayonnements neutroniques, on a besoin d'améliorer les appareils de mesure individuels et les instruments de surveillance. Pour caractériser ces instruments, il faut les étalonner et déterminer leur réponse en fonction de l'énergie. Dans de nombreux pays, la loi exige que les instruments de protection du personnel soient étalonnés par le laboratoire national ou à l'aide d'une source certifiée par ce laboratoire. Pour la mise au point et l'étalonnage des instruments utilisés dans le domaine neutronique, on a besoin de faisceaux de neutrons étalonnés. Les faisceaux de neutrons monocinétiques provenant des faisceaux filtrés des réacteurs et des accélérateurs Van de Graaff, dont disposent maintenant certains laboratoires nationaux, sont particulièrement importants à cet égard.

## 3. Thérapie neutronique du cancer

La thérapie du cancer au moyen des neutrons peut présenter un avantage en radiobiologie sur la radiothérapie conventionnelle au moyen de rayons X, de rayons  $\gamma$  et d'électrons. Les résultats préliminaires des essais cliniques faits en Angleterre et aux Etats-Unis d'Amérique sont encourageants. Dix-sept installations de thérapie utilisant des neutrons rapides sont en service dans des hôpitaux et d'autres sont en projet. Pour développer convenablement la thérapie neutronique et en assurer le succès, on a besoin

d'étalons de dosimétrie neutronique (kerma ou dose absorbée). De nombreux laboratoires nationaux sont en train de mettre au point des programmes d'étalons de dosimétrie neutronique.

#### 4. Autres applications

Les mesures neutroniques sont importantes pour un certain nombre d'autres applications : recherche scientifique, étude des matériaux par diffraction neutronique, analyse par activation, radiographie, biologie et applications industrielles. Les grandeurs de rayonnement neutronique qui sont importantes pour ces applications sont la fluence, la dose absorbée, le kerma et les spectres d'énergie.

#### B. *Programme de travail prévu pour la période de 1977 à 1979*

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

A la 3<sup>e</sup> réunion (1977) de la Section III, il avait été décidé d'achever la comparaison en 1977, puis de préparer un Rapport BIPM dont une version abrégée serait publiée dans la littérature scientifique.

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

La Section III du CCEMRI a recommandé en 1977 que soit installée au BIPM une source intense de neutrons de 14 MeV ayant un taux d'émission de  $10^{11} \text{ s}^{-1}$ , pour permettre la comparaison des étalons de dosimétrie utilisés en thérapie neutronique. Il a été reconnu qu'une telle installation, qui donnerait au BIPM un rôle de premier plan pour les étalonnages dans le domaine de la dosimétrie neutronique, demanderait plusieurs années.

##### 3. Comparaison internationale de mesures d'une source de neutrons de $^{252}\text{Cf}$

Etant donné

a) la longue période (environ 15 ans) qui s'est écoulée depuis la comparaison internationale d'une source de neutrons Ra-Be( $\alpha, n$ ) organisée par le BIPM,

b) l'intérêt mondialement porté à  $\bar{\nu}$  (nombre moyen de neutrons émis par fission) pour le  $^{252}\text{Cf}$  et la dépendance

de la détermination de  $\bar{v}$  par rapport aux mesures faites par la méthode du bain de sulfate de manganèse qui sont très utilisées par les laboratoires nationaux pour les étalonnages de sources de neutrons,

c) le succès de la source de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  à fission spontanée comme étalon de rayonnement, et l'importance qui en découle pour les laboratoires nationaux d'être capables d'étalonner cette source avec exactitude,

la Section III du CCEMRI a proposé d'effectuer, au cours de la période de 1978 à 1979, une comparaison de mesures d'une source de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  ayant un taux d'émission d'environ  $10^7 \text{ s}^{-1}$ .

#### 4. Amélioration des instruments de transfert pour les comparaisons internationales de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

En 1977, la Section III a décidé qu'il fallait faire progresser les techniques de mesure de débit de fluence neutronique et améliorer les instruments de transfert avant de se lancer dans une nouvelle comparaison internationale importante de mesures de débit de fluence de neutrons rapides. On avait, en conséquence, prévu pour la période de 1977 à 1979 la mise au point et les essais de plusieurs instruments de transfert, y compris une chambre à fission utilisable dans les comparaisons impliquant des accélérateurs linéaires aussi bien que des accélérateurs à tension constante, tels que les accélérateurs Van de Graaff.

#### *C. Réalisations pendant la période de 1977 à 1979*

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

A la demande de la Section III du CCEMRI, le BIPM a organisé et effectué cette comparaison. Neuf laboratoires y ont pris part et les mesures ont été faites à cinq énergies de neutrons : 250 keV, 565 keV, 2,2 MeV, 2,5 MeV et 14,8 MeV. Le BIPM a participé à la comparaison à 2,5 et à 14,8 MeV. Les mesures expérimentales ont été achevées en février 1978. V.D. Huynh (BIPM), qui s'est personnellement rendu avec les instruments de transfert dans chaque laboratoire, a préparé le rapport final qui a été étudié par les participants avant

la réunion de la Section III de 1979. La Section a donné son accord sur la présentation des résultats et pense que le contenu et les conclusions du rapport sont susceptibles d'intéresser d'autres laboratoires. Par conséquent, elle a demandé que la version intégrale soit soumise à *Metrologia* pour publication, ce qui a été fait.

Le tableau II donne, pour chaque énergie de neutrons, les instruments de transfert utilisés et les laboratoires qui ont participé aux mesures.

Tableau II

*Récapitulation de la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques*

<u>Energie des neutrons</u>	<u>Instruments de transfert</u>	<u>Laboratoires participants</u>
250 keV	sphère de polyéthylène + compteur à BF <sub>3</sub>	NRC, CEN, BCMN, NPL, ETL, PTB, NBS
	compteur à <sup>3</sup> He	NRC, CEN, NPL, ETL, PTB, NBS
565 keV (en option)	sphère de polyéthylène + compteur à BF <sub>3</sub>	NRC, CEN, NPL, ETL, PTB, NBS
	compteur à <sup>3</sup> He	
2,2 MeV (en option)	sphère de polyéthylène	CEN, BCMN, NPL, PTB
	+ compteur à BF <sub>3</sub>	
2,5 MeV	sphère de polyéthylène	BIPM, NRC, CEN, BCMN, NPL, ETL, PTB, IMM
	+ compteur à BF <sub>3</sub>	
14,8 MeV	chambre à fission ( <sup>238</sup> U)	CEN, BCMN, NPL, ETL, BIPM, PTB, IMM
	feuilles de fer : réaction <sup>56</sup> Fe(n,p) <sup>56</sup> Mn	NPL, BCMN, IMM, ETL, BIPM

La sphère de polyéthylène avec le compteur à BF<sub>3</sub> était fournie par le BIPM, le compteur à <sup>3</sup>He par le NRC, la chambre à fission (<sup>238</sup>U) par le NBS et les feuilles de fer (<sup>56</sup>Fe(n,p)<sup>56</sup>Mn) par le NPL qui s'est chargé d'organiser la partie correspondante de la comparaison.

Voici les résultats essentiels de la comparaison. Il existe un assez bon accord entre les résultats (dispersion de l'ordre de 5 % ou moins), sauf pour ceux qui sont obtenus à 250 keV avec la sphère de polyéthylène (écart de 10 à 20 %). L'analyse des données a montré que l'on devrait utiliser une barre d'ombre pour la correction de neutrons diffusés, afin d'obtenir des résultats cohérents avec cet instrument de transfert. Même ainsi, la sphère de polyéthylène ne constitue pas un instrument de transfert très satisfaisant à cause de sa trop grande sensibilité aux neutrons diffusés. L'accord entre les laboratoires pour les autres énergies et les autres instruments de transfert est meilleur que certains ne l'espéraient. Toutefois, l'exactitude recherchée de 1 % pour les mesures de débit de fluence neutronique exigera d'autres études pour mettre au point les méthodes de mesure et les instruments de transfert.

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

Cette proposition, faite à l'origine à la 3<sup>e</sup> réunion de la Section III du CCEMRI en 1977, a essentiellement pour but de permettre des comparaisons d'instruments de dosimétrie pour la thérapie par neutrons, mais il existe d'autres applications concernant, par exemple, les réacteurs nucléaires à fusion, l'étude des matériaux soumis à des irradiations intenses par neutrons et l'étalonnage de détecteurs. Au cours des années 1977 à 1979, le BIPM a effectué des études relatives au type d'accélérateur adéquat et aux différents éléments constituant la source, ainsi qu'à leur implantation. Ces études ont amené à recommander l'achat d'un générateur à haute tension, du type Sames TB8, de 300 kV, avec un accélérateur d'ions pressurisé et une source d'ions du type duoplasmatron de 8 mA. Le générateur de neutrons de 14 MeV serait installé dans l'actuel bâtiment des mesures neutroniques à l'endroit de l'actuelle salle de contrôle qu'il conviendrait de transformer. Le coût total, y compris les modifications du bâtiment, l'accélérateur et l'équipement expérimental nécessaire, est d'environ 1 400 000 francs français. La Section III a mis au point une proposition (avec recommandation) qui a été discutée et approuvée par le CCEMRI en juillet 1979 (voir plus loin la Recommandation R(III)-1 (1979)).

### 3. Comparaison internationale de mesures d'une source de neutrons de $^{252}\text{Cf}$

La comparaison de mesures d'une source ayant un taux d'émission de  $10^7 \text{ s}^{-1}$  est en cours. Elle se déroule avec un retard de quelques mois sur le programme prévu, qui est dû aux difficultés rencontrées dans la recherche d'un conteneur adéquat pour le transport de la source et aux formalités douanières qui sont assez compliquées dans le cas d'une source de neutrons transurannique. La source qui circule (référence SR-CF-144) a été fournie par le NBS ; elle avait au commencement de la comparaison un taux nominal d'émission d'environ  $4 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ . Dans cette comparaison, un soin tout particulier est apporté à l'étude des facteurs susceptibles d'influer sur les résultats. Le NPL a fourni une chambre d'ionisation pressurisée  $4\pi\gamma$  et une source de contrôle de radium pour vérifier la cohérence des mesures d'activité du bain de  $\text{MnSO}_4$ . Des analyses des solutions de  $\text{MnSO}_4$  sont faites par le BCMN, non seulement pour détecter les impuretés existant à l'état de traces mais également pour doser le  $(\text{NH}_3)_2\text{SO}_4$  et d'autres impuretés de teneurs plus importantes qui peuvent fausser les mesures de concentration en manganèse. Des mesures complémentaires de la solution de  $\text{MnSO}_4$  seront sans doute faites par le Khlopin Radium Institute, Leningrad. A ce jour, les mesures de comparaison ont été effectuées dans quatre laboratoires : NBS, BIPM, PTB et CNEN. Les autres participants sont : CEN, LMRI, ETL, NPL, IMM, KRI et ASMW. Ensuite, la source sera remesurée au NBS. E.J. Axton (NPL) a accepté de faire l'analyse de la comparaison.

Un certain intérêt a été manifesté pour la comparaison internationale de mesures d'une source très intense de  $^{252}\text{Cf}$  d'environ  $10^9 \text{ s}^{-1}$ . Une source fournie par le NBS circule entre trois laboratoires (PTB, NPL et NBS). L'analyse des résultats sera faite par W.G. Alberts (PTB).

### 4. Amélioration des instruments de transfert pour la comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques

Au cours des années 1977 à 1979, on a étudié les méthodes de transfert suivantes : télescope à proton de recul (PTB, NPL), spectromètre à stilbène (NRC), réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  et réaction  $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$  avec feuilles d'indium enveloppées

de cadmium (NPL), chambre à fission double  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  (AERE) et réaction  $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$  (NPL).

L'idée adoptée est d'avoir deux instruments de transfert, l'un fondé sur une méthode d'activation et l'autre sur une méthode de comptage direct pour chacune des énergies : 0,144, 0,565, 2,5, 5,0 et 14,8 MeV. On a choisi comme méthode de comptage direct les deux chambres à fission (l'une avec  $^{235}\text{U}$  et l'autre avec  $^{238}\text{U}$ ) à cinq plaques, mises au point par D.B. Gayther (AERE) ; toutefois, on lui a demandé de fabriquer une chambre à fission similaire, à une seule plaque  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ , pour utilisation avec les accélérateurs Van de Graaff. On a retenu la réaction  $^{115}\text{In}(n,n')^{115}\text{In}^m$  comme méthode d'activation pour les trois énergies élevées et la réaction  $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$  pour les deux énergies faibles. Le télescope à protons de recul et le spectromètre à stilbène n'ont pas été retenus car on ne prévoit pas de faire voyager un expert avec les instruments de transfert. Malgré son succès, la méthode utilisant la réaction  $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$  n'est pas jugée nécessaire, étant donné qu'on dispose déjà de méthodes fondées sur les réactions de l'indium.

D. *Travaux futurs envisagés de 1979 à 1983*

1. Installation au BIPM d'une source de neutrons d'énergie 14 MeV destinée à la dosimétrie neutronique

En supposant que le financement de cette installation sera acquis à l'automne de 1979, on prévoit deux ans pour modifier les bâtiments, acheter et installer l'accélérateur et préparer l'équipement expérimental nécessaire. Par conséquent, l'installation devrait permettre de commencer les mesures expérimentales à l'automne de 1981. Pendant la période de 1981 à 1983, on pourrait contrôler l'installation et organiser une comparaison préliminaire entre quelques laboratoires. A sa 4<sup>e</sup> réunion (1979), la Section III a décidé d'étudier en 1981 le problème de comparaisons internationales de kerma et de dose absorbée dans les tissus pour les neutrons.

2. Comparaisons internationales de mesures de sources de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$

On prévoit d'achever la comparaison des mesures de la source de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  (taux nominal d'émission :

environ  $10^7 \text{ s}^{-1}$ ), d'en analyser les résultats et de les publier au cours de cette période. Il n'est pas clair actuellement si la comparaison de la source intense de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ) se limitera à trois laboratoires (NBS, NPL et PTB) ou si on l'étendra à d'autres participants. De toute façon, la comparaison et l'analyse des résultats devraient être effectuées au cours de la période de 1979 à 1981.

3. Comparaison future de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

Cette comparaison est la suite logique de la comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons rapides qui a été couronnée de succès et qui est maintenant terminée. La nouvelle comparaison s'étendra à deux types importants de sources de neutrons, qui n'ont pas été inclus dans des comparaisons antérieures : accélérateurs linéaires et faisceaux filtrés provenant de réacteurs nucléaires (144 keV). Un résumé du projet, y compris les coordonnateurs chargés des instruments de transfert, est donné dans le tableau III.

Tableau III

*Projet de comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides*

Energie de neutrons (MeV)	Méthodes utilisées			
	chambre à fission	$^{115}\text{In}(n,\gamma)$	$^{116}\text{In}$	$^{115}\text{In}(n,n')$ $^{115}\text{In}^m$
0,144	X	X		
0,565	X	X		
2,5	X			X
5,0	X			X
14,8	X			X
coordonnateur	AERE/NPL		NPL	BCMN

Vu le travail de préparation que doivent faire les coordonnateurs, on envisage de commencer la comparaison au printemps de 1980. Compte tenu du fait que certains des instruments de transfert présentent un caractère d'innovation, des comparaisons préliminaires restreintes seront probablement nécessaires avant que ne commence la comparaison à

grande échelle. Celle-ci devrait être en cours, ou peut-être même achevée, pendant la période concernée.

Recommandation du CCEMRI (Section III)  
présentée au Comité International des Poids et Mesures

Installation au BIPM d'une source de neutrons de 14 MeV pour  
dosimétrie neutronique

RECOMMANDATION R(III)-1 (1979)\*

*La Section III du Comité Consultatif pour les Etalons  
de Mesure des Rayonnements Ionisants,*

*considérant l'importance croissante de la dosimétrie  
neutronique pour les applications biologiques et cliniques,*

*et considérant que le Bureau International des Poids et  
Mesures doit rester le centre pour les comparaisons interna-  
tionales entre les laboratoires nationaux de métrologie,*

*recommande que le Comité International des Poids et  
Mesures approuve la proposition d'équiper le BIPM d'une  
source de neutrons d'énergie 14 MeV destinée à la dosimétrie  
neutronique.*

---

\* Cette Recommandation de la Section III (Mesures neutro-  
niques) a été adoptée sans modification par le CCEMRI.

10 juillet 1979 ;  
révisé en août 1979.

E. Ambler  
Président du CCEMRI

Résumé du programme de travail et des réalisations correspondantes

CCEMRI, 1977 à 1979

*Programme de travail envisagé*

*Réalisations*

SECTION I - Rayons X et  $\gamma$ , électrons

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

Comparaison à l'étalon du BIPM des étalons d'exposition du NPL, de l'OMH (dans le domaine d'exposition de 10 à 50 kV), et de l'ARL et de l'ISS (dans le domaine de 100 à 250 kV).

Extension à d'autres laboratoires nationaux de la comparaison des étalons calorimétriques de dose absorbée avec l'étalon ionométrique du BIPM et poursuite des études sur l'étalon du BIPM.

Comparaisons effectuées avec la PTB et le RIV. Poursuite de l'étude théorique de l'étalon ionométrique, en particulier calcul des facteurs de perturbation en fonction de la profondeur.

Mise en route de comparaisons d'étalons de dose absorbée entre laboratoires nationaux.

Utilisation d'instruments de transfert pour comparer les étalons de dose absorbée dans le graphite au NBS et au VNIIFTRI, et pour comparer les étalons de dose absorbée dans l'eau au NBS et au NRC.

Etude de grandeurs susceptibles de remplacer l'exposition et le kerma dans l'air pour l'étalonnage de faisceaux de photons.

Acceptation par la Section de propositions d'étalonnages en termes de dose absorbée dans l'eau.

SECTION II - Mesure des radionucléides

Achèvement des comparaisons internationales de  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{137}\text{Cs}$ .

Travail expérimental terminé. Rapport final de la comparaison de  $^{139}\text{Ce}$  publié. Rapports en préparation pour les comparaisons de  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{137}\text{Cs}$ .

Achèvement des expériences sur les mesures de taux de comptage élevés.

Travail expérimental terminé. Rapport en préparation. Poursuite des études théoriques.

Comparaison restreinte de  $^{55}\text{Fe}$ .

Travail expérimental pratiquement terminé.

Comparaison internationale de sources de référence de rayonnement  $\gamma$ .

Travail expérimental terminé. Rapport en préparation.

Système international de référence.

Programme pérenne maintenant bien établi.

SECTION III - Mesures neutroniques

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

Comparaison terminée, résultats analysés, rapport final soumis à *Metrologia* (BIPM).

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

Projet d'installation (BIPM), proposition de financement (CCEMRI).

Comparaison internationale de mesures de sources de neutrons de  $^{252}\text{Cf}$ .

Comparaison organisée avec source de  $10^7 \text{ s}^{-1}$ , à moitié effectuée (CCEMRI). Mini-comparaison d'une source intense ( $10^9 \text{ s}^{-1}$ ) en cours.

Amélioration des instruments de transfert pour comparaisons internationales de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques.

Six méthodes étudiées. Méthodes choisies : chambres à fission ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ), réactions  $^{115}\text{In}(n,n')$ ,  $^{115}\text{In}^m$  et  $^{115}\text{In}(n,\gamma)$ ,  $^{116}\text{In}$  (CCEMRI).

ANNEXE B

Rapport final de la Section II (Mesure des radionucléides)  
sur les projets de monographie et autres publications

<i>Groupes de travail</i>	<i>Rapports proposés</i>	<i>Situation</i>
1. Méthodes exactes pour la dilution et l'étalonnage des solutions radioactives.	Procedures for accurately diluting and dispensing radioactive solutions.	Terminé. Monographie BIPM-1.
2. Détection et mesure des impulsions secondaires.	The detection and estimation of spurious pulses.	Terminé. Monographie BIPM-2.
3. Possibilité de comptage par scintillateurs liquides.	Applicability of liquid scintillation counting to metrology.	Projet de monographie BIPM soumis à la Section II.
4. Principes de la méthode de comptage par coïncidences.	Cox and Isham, "A bivariate point process connected with electronic counters".	<i>Proc. Roy. Soc., A 356</i> , pp. 149-160 (1977).
	Smith, Williams and Woods, " <sup>60</sup> Co high count rate experiment".	Rapport BIPM-77/7.
5. Techniques de chambres d'ionisation 4πγ.	Report on precision ionometric method for the comparison of γ-ray emitters.	Projet de monographie.

ANNEXE C

Programme des travaux du Laboratoire des Rayonnements Ionisants du BIPM

*Progrès accomplis de 1975 à 1980*

*Programme prévu de 1981 à 1984*

SECTION I - Rayons X et γ, électrons

Comparaisons internationales d'étalons d'exposition (rayon X 10-50 kV, 100-250 kV, rayons γ du <sup>60</sup> Co).	Comparaisons internationales d'étalons d'exposition et de dose absorbée.
Mise en place d'une source de <sup>60</sup> Co de forte activité et détermination par la méthode ionométrique de la dose absorbée dans un fantôme de graphite.	Analyse critique des méthodes ionométrique et calorimétrique de détermination de la dose absorbée dans un fantôme de graphite irradié par un faisceau de photons ( <sup>60</sup> Co).
Comparaisons internationales d'étalons de dose absorbée (rayons γ du <sup>60</sup> Co).	Détermination de la dose absorbée dans un fantôme d'eau (comparaison de dosimètres chimiques).
Etudes théorique et expérimentale des facteurs correctifs applicables aux étalons BIPM d'exposition et de dose absorbée.	Collaboration avec groupe neutrons pour la détermination de la fraction de la dose absorbée due aux photons présents dans le faisceau de neutrons.
Mesures préliminaires en vue de la détermination de l'énergie d'ionisation dans les gaz.	Contribution à la détermination des facteurs $C_E$ et $C_\lambda$ .
Etudes théoriques sur la détermination du kerma dans les matériaux de référence.	Poursuite des mesures en vue de la détermination de l'énergie d'ionisation dans les gaz.

Acquisition automatique des données (courants d'ionisation, températures, pressions).

Recherches théoriques et expérimentales en vue de la détermination du kerma dans les matériaux de référence. Relation de ces résultats avec la distribution spectrale de débit de fluence de photons.

Etudes préliminaires sur la détermination de l'énergie massique par voie calorimétrique.

## SECTION II - Mesure des radionucléides

Organisation de trois comparaisons de radionucléides ( $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) ; participation à ces comparaisons et dépouillement des résultats.

Préparation et certification de sources solides minces et transportables.

Préparation et distribution de sources minces, étalonnées.

Organisation de comparaisons internationales de radionucléides avec les laboratoires nationaux.

Acquisition sur bande magnétique de données de mesures  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  ; \*remplacement du détecteur  $\gamma$  de l'ensemble de comptage.

Etude des statistiques de comptage.

Etude de la mesure, par comptage  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ , de radionucléides à état intermédiaire métastable (p. ex.  $^{85}\text{Sr}$ ) ; mesures de durée de vie.

Mesures de sources de  $^{60}\text{Co}$  à taux de comptage élevés. Participation à une comparaison organisée par le NPL.

Acquisition de données de mesures par chambre d'ionisation  $4\pi\gamma$  sur bande magnétique.

Recherches théoriques et expérimentales sur la méthode de coïncidence afin de déterminer des corrections plus sûres.

Etude d'autres radionucléides en vue de comparaisons futures ( $^{57}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ , ...).

Etude de la présentation de l'incertitude d'une mesure expérimentale.

Etude d'autres méthodes de mesures d'activité.

Mise en oeuvre du système international de référence pour émetteurs  $\gamma$  (chambre d'ionisation  $4\pi\gamma$ ). Installation de l'équipement pour sceller les ampoules.

Mesures absolues de l'énergie des particules alpha émises par le  $^{243}\text{Am}$ .

Mesure absolue de l'énergie des particules alpha émises par le  $^{239}\text{Pu}$ . Modification de l'alimentation du spectromètre et de son refroidissement\*.

\* progrès accomplis avec une avance notable sur le programme prévu.

## SECTION III - Mesures neutroniques

Participation aux mesures comparatives internationales de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques.

Etude d'une source intense de neutrons de 14,8 MeV ( $10^{11} \text{ s}^{-1}$ ).

Mise en oeuvre d'un faisceau étalonné de neutrons de 14,7 MeV.

Poursuite et amélioration des mesures de débit de fluence de neutrons de 2,5 MeV et 14,7 MeV.

Mise au point de la méthode de circulation pour mesurer le taux d'émission de sources de neutrons du type ( $\gamma, n$ ).

Participation aux mesures comparatives internationales de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques.

Enregistrement sur bande magnétique de données de mesures pour le taux d'émission d'une source.

Etude et amélioration des instruments de transfert.

Participation aux mesures comparatives d'une source de  $^{252}\text{Cf}$ .

Certification de sources de neutrons (mesures par le bain de manganèse).

ANNEXE D

Liste des laboratoires et organisations cités dans ce rapport

AECL	Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, Canada.
AERE	Atomic Energy Research Establishment, Harwell, Royaume-Uni.
AIEA	Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne, Autriche.
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie, Australie.
ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, Rép. Dém. Allemande.
BCMN	Bureau Central de Mesures Nucléaires, Euratom, Geel, Belgique.
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France.
CEN	Centre d'Etudes Nucléaires, Cadarache, France.
CNEN	Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, CSN Casaccia, Rome, Italie.
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tokyo, Japon.
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, D.C., Etats-Unis d'Amérique.
IMM	Institut de Métrologie D.I. Mendéléév, Leningrad, U.R.S.S.
ISS	Istituto Superiore di Sanita, Rome, Italie.
KRI	V.G. Khlopin Radium Institute, Leningrad, U.R.S.S.
LMRI	Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Saclay, France.
NAC	National Accelerator Centre, Pretoria, Afrique du Sud.
NBS	National Bureau of Standards, Washington, D.C., Etats-Unis d'Amérique.
NIM	National Institute of Metrology, Beijing, Rép. Pop. de Chine.
NIRP	National Institute for Radiation Protection, Stockholm, Suède.
NPL	National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni.
NRC	National Research Council, Ottawa, Canada.
OMH	Orszagos Mérésügyi Hivatal, Budapest, Hongrie.
PKNM	Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie, Pologne.
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Rép. Féd. d'Allemagne.
RIV	Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven, Pays-Bas.
VNIIFTRI	All-Union Scientific Research Institute for Physico-Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou, U.R.S.S.

---

**Projet d'installation d'une source de 14 MeV  
pour dosimétrie neutronique  
au Bureau International des Poids et Mesures**

Section III, CCEMRI

---

INTRODUCTION

Les mesures de neutrons rapides prennent de plus en plus d'importance à cause de développements scientifiques et technologiques récents tels que la thérapie neutronique, la radioprotection des travailleurs soumis à des radiations neutroniques et les installations en vue de l'utilisation de la fusion, dispositifs qui sont des sources intenses de neutrons de 14 MeV. Il est nécessaire par ailleurs que le BIPM, avec ses moyens limités, continue à jouer son rôle d'organisme centralisateur des comparaisons de mesures neutroniques entre les laboratoires nationaux. Dans ce rapport on discute un projet conçu à l'origine à la réunion de la Section III en 1977, qui tend à faire jouer au BIPM un rôle de premier plan dans le domaine des mesures neutroniques pour les nouvelles applications mentionnées ci-dessus. Ce projet est de dimensions suffisamment modestes pour pouvoir être réalisé par le personnel actuel du BIPM. La source de neutrons de 14 MeV dont l'installation est prévue jouerait pour les comparaisons internationales de dosimétrie neutronique un rôle similaire à celui que joue dès maintenant la source intense de  $^{60}\text{Co}$  pour les comparaisons internationales de mesures de dose absorbée à l'aide de calorimètres. Dans ce rapport on étudie les besoins soulevés par ces nouvelles applications et on explicite les raisons pour lesquelles la source actuelle de neutrons de 14 MeV ne suffit pas à les couvrir. On y discute également l'intérêt que portent les laboratoires nationaux à l'installation d'une source intense, ainsi que les projets techniques formulés par le BIPM; finalement, une recommandation est proposée.

LES FAISCEAUX DE NEUTRONS RAPIDES EN BIOLOGIE,

MÉDECINE ET RADIOPROTECTION

L'installation d'une source de neutrons de 14 MeV pour la dosimétrie neutronique est fortement recommandée, compte tenu de l'accroissement considérable des applications des neutrons rapides en radiobiologie et en médecine au cours des quinze dernières années. L'évaluation des risques encourus lors d'irradiations est un sujet dont l'importance ne cesse de croître à cause des préoccupations qui se font jour dans le monde entier à l'occasion de l'introduction de l'énergie nucléaire sur une large échelle. Il y a des indications que le facteur de qualité pour les neutrons devrait être augmenté. Cependant,

les résultats préliminaires doivent être confortés par l'étude des effets induits (y compris la carcinogénèse) lors d'irradiations par des faisceaux de neutrons à différents débits de dose absorbée. Les neutrons rapides sont importants dans les études fondamentales de radiobiologie puisqu'ils permettent d'exposer des systèmes multicellulaires relativement larges à un rayonnement de fort transfert d'énergie linéique avec des distributions de dose absorbée relativement uniformes. L'intérêt de l'utilisation des neutrons rapides en radiothérapie a été provoqué par le fait que, d'une part, l'effet d'oxygène est réduit et, d'autre part, la contribution à la mort des cellules due à l'accumulation des dégâts est plus faible pour les neutrons que pour les rayons X conventionnels. Il existe maintenant des indications sérieuses que de meilleurs résultats sont obtenus à l'aide de faisceaux de neutrons pour le traitement des cancers de la région cervicale et de l'utérus, pour les sarcomes des tissus et le carcinome de la vessie (voir Proceedings of the Third Symposium on Fast Neutron Radiotherapy). Dix-sept installations de thérapie utilisant des neutrons rapides sont en service ou seront opérationnelles dans un proche avenir (voir Table 1). D'autres centres (New York, USA; Nice, France et Zurich, Suisse) sont en cours d'installation ou ont des projets. On peut estimer que, dans le monde entier, 40 à 50 instituts ou hôpitaux sont engagés activement dans le domaine des applications biologiques et médicales des faisceaux de neutrons. Il sera nécessaire d'assurer l'uniformité des méthodes de dosimétrie si l'on veut évaluer et comparer les résultats cliniques ou biologiques. Pour prévoir les réponses des objets biologiques irradiés, il est important de déterminer avec précision et exactitude l'énergie dissipée. Pour des applications biologiques et cliniques, il y a des indications que la dose absorbée dans le spécimen biologique doit être déterminée avec une précision meilleure que 2 % et une incertitude globale inférieure à 5 %. Les étalons primaires doivent être nettement plus exacts.

## RÉSULTATS ET CONCLUSIONS DES RÉCENTES COMPARAISONS

### INTERNATIONALES DE DOSIMÉTRIE NEUTRONIQUE

Les résultats des deux comparaisons internationales de dosimétrie neutronique, à savoir International Neutron Dosimetry Intercomparison (INDI, ICRU Report 27) et European Neutron Dosimetry Intercomparison Project (ENDIP, CEC Report EUR 6004), font apparaître des différences considérables entre les diverses mesures de kerma et de dose absorbée dans les tissus pour les neutrons et les rayons  $\gamma$  associés. Pour les mesures faites dans un fantôme, les écarts par rapport à la valeur moyenne pour le kerma ou la dose absorbée sont de l'ordre de 7 à 8 % pour les neutrons et bien plus larges (jusqu'à 100 %) pour les rayons  $\gamma$  associés.

Une analyse des calculs faits par les différents participants a mis en évidence des divergences dans les valeurs numériques qui caractérisent la réponse des détecteurs, comme par exemple l'énergie nécessaire pour produire une paire d'ions dans un gaz, le rapport des coefficients de transfert d'énergie du dosimètre et des tissus mous, ainsi que la sensibilité aux neutrons des dosimètres photoniques.

Table 1

Installations de thérapie utilisant des neutrons rapides

Réaction employée	Lieu	Type de machine	Energie maximale de deutons (MeV)	Faisceau de deutons (mA)	Taux d'émission ( $10^{12} \text{ s}^{-1}$ )	Date de mise en service	Nombre de patients traités jusqu'à fin 1978
d+T	Amsterdam	tube scellé	0,25	18	1	1975	300
	Glasgow	"	0,25	30	1	1978	7
	Hambourg	cible tournante	0,5	8	1-2	1976	260
	Heidelberg	tube scellé	0,25	500	5	1978	50
	Manchester	"	0,25	30	1	1978	50
d+Be	Chiba	cyclotron	30	0,03	-	1975	263
	"	Van de Graaff	2,8	0,15	-	1967	36
	Dresde	cyclotron	13,5	0,04	-	1972	150
	Edimbourg	"	15	0,1	-	1977	210
	Essen	"	14	0,1	-	1978	70
	Houston	"	50	0,007	-	1972	440
	Londres	"	16	0,1	-	1969	800
	Louvain	"	50	0,02	-	1978	---
	Seattle	"	21,5	0,04	-	1973	240
	Tokyo	"	14	0,1	-	1976	100
	Washington	"	35	0,01	-	1973	250
p+Be	Batavia	cyclotron	66	0,008	-	1976	105

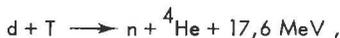
En vue d'éliminer l'influence due à l'emploi de valeurs si différentes pour les paramètres physiques, on a également comparé les réponses relatives des dosimètres des participants. Il ressort d'une analyse de variance des résultats d'ENDIP que les écarts-types pour la réponse relative des instruments sont du même ordre que ceux qui sont calculés en dose absorbée et kerma. Il en résulte que, outre l'incohérence dans les paramètres physiques de base, il existe également d'importantes différences systématiques dans les mesures telles que par exemple: étalonnage dans un faisceau de photons, débit de gaz, tension de collection, polarité, correction due à l'épaisseur des parois et détermination du point effectif de mesure dans un fantôme. Une conclusion similaire a été déduite de l'analyse des résultats d'INDI.

Bien qu'il soit désirable d'uniformiser les paramètres utilisés, il semble aussi important de normaliser les techniques expérimentales employées pour la détermination de la dose absorbée. Il est nécessaire d'avoir une meilleure connaissance des incertitudes systématiques des détecteurs avant d'envisager de nouvelles comparaisons de dosimétrie neutronique. On peut prévoir que ces comparaisons pourront reprendre vers 1982.

Les comparaisons de dosimétrie neutronique ont montré qu'il est absolument nécessaire que les laboratoires nationaux et internationaux soient en mesure d'effectuer des étalonnages dans des faisceaux neutroniques. Pour l'étalonnage de chambres d'ionisation équivalentes au tissu (l'instrument le plus couramment utilisé en dosimétrie neutronique) dans un faisceau de neutrons et de photons bien défini, on devrait employer une source de neutrons d+T avec un débit minimal de  $10^{11} \text{ s}^{-1}$ . Un générateur de neutrons de 14 MeV pour thérapie nécessite un débit supérieur à  $2 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ . L'accélérateur actuellement disponible au BIPM fournissant un débit maximal de  $2 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$  ne permet pas de reproduire de façon valable les conditions utilisées en thérapie et en radiobiologie neutroniques et il possède un débit trop faible pour l'étalonnage des dosimètres habituellement utilisés dans les faisceaux de neutrons rapides.

## MESURES NEUTRONIQUES DANS LA PRODUCTION D'ÉNERGIE PAR FUSION

L'énergie libérée par fusion à partir de deutérium et de lithium représente une des principales sources d'énergie futures de l'humanité. De plus, ce type de source produit moins de déchets radioactifs que les réacteurs à fission. Un type de technique utilisé pour produire l'énergie dans un réacteur à fusion utilise le confinement magnétique d'un plasma chaud de deutérium-tritium. Une autre technique utilise l'explosion d'un grain de deutérium-tritium produit par la compression à l'aide d'un faisceau de photons (laser), d'électrons ou d'ions lourds. Dans les deux cas, la seule réaction envisagée est la suivante:



où le tritium nécessaire doit être engendré à partir du lithium. L'énergie totale libérée se partage entre l'énergie du neutron (14,1 MeV) et celle de la particule

alpha (3,5 MeV). Les dispositifs de production d'énergie par fusion sont par conséquent des sources extrêmement puissantes de neutrons de 14 MeV.

Beaucoup de problèmes impliquant la mesure de neutrons de 14 MeV sont importants, tels par exemple les blindages en radioprotection, l'effet des neutrons sur les matériels et composants utilisés dans les réacteurs, les distributions spectrales de neutrons et la dosimétrie de réacteurs par fusion. Bien que le BIPM ne serait pas impliqué dans les problèmes mentionnés, l'étalonnage de détecteurs actifs et passifs (détecteurs à protons de recul, chambres à fission et détecteurs à seuil) dans des champs de neutrons serait rendu possible. La source proposée à des fins de dosimétrie neutronique au BIPM possède l'énergie appropriée, ainsi qu'un débit suffisant pour la comparaison de ces détecteurs qui sont relativement insensibles puisqu'ils sont utilisés dans des champs de rayonnement neutronique très élevés.

## INTÉRÊT POUR LES LABORATOIRES NATIONAUX

### DE L'INSTALLATION DE DOSIMÉTRIE NEUTRONIQUE AU BIPM

La prime motivation pour cette nouvelle installation au BIPM provient des besoins en radiothérapie neutronique. A présent, chaque centre de radiothérapie développe ses propres techniques de dosimétrie. Les résultats des comparaisons INDI et ENDIP ont mis en évidence un très mauvais accord entre les divers participants. Il en résulte que l'exactitude actuelle de la dosimétrie ne permet pas un échange utile d'informations cliniques entre les divers centres. Il apparaît clairement qu'une meilleure exactitude est nécessaire pour rendre la dosimétrie des divers centres plus comparable.

A l'heure actuelle, les laboratoires nationaux ne sont pas en mesure de faire des étalonnages dans ce domaine, bien que plusieurs d'entre eux s'y préparent. Le BIPM joue un rôle traditionnel dans la dosimétrie photonique; il est donc logique d'étendre son programme, ainsi que ses équipements, pour lui permettre d'effectuer des mesures exactes de kerma et de dose absorbée dans des faisceaux de neutrons et de devenir le centre de comparaisons internationales qui fait cruellement défaut. Les installations déjà existantes, ainsi que l'expérience acquise dans le domaine de la dosimétrie photonique, compléteront utilement le laboratoire de dosimétrie neutronique qui est proposé.

Plusieurs laboratoires nationaux ont commencé à travailler à l'établissement d'étalons de dosimétrie pour la radiothérapie neutronique. Certains s'intéressent aux mesures liées à la production d'énergie par fusion, ainsi qu'aux problèmes d'étalonnage de détecteurs. La situation pour certains de ces laboratoires est la suivante.

Le Service de Physique Nucléaire du Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel, France, qui est maintenant le laboratoire français d'étalonnage pour les mesures de neutrons monocinétiques de 50 keV à 20 MeV, a une source de neutrons de 14 MeV de plus de  $10^{10}$  neutrons par seconde et est intéressé par les comparaisons de débits de fluence de neutrons.

La Division de radioprotection du Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, Rome, Italie, travaille dans le domaine de la dosimétrie neutronique pour la biologie et la radioprotection. Elle est donc très intéressée par la proposition d'installer au BIPM un laboratoire de dosimétrie neutronique qui couvrira ses besoins d'étalonnage pour les types de dosimètres neutroniques qu'elle utilise couramment.

L'Electrotechnical Laboratory, Tokyo, Japon, possède un générateur de neutrons de 14 MeV, de  $10^{10}$  neutrons par seconde et est intéressé par des comparaisons internationales de débits de fluence et de dosimétrie neutronique à ce niveau.

L'Institut de Métrologie D.I. Mendeleev, Leningrad, URSS, a une source de 14 MeV, de  $10^9$  neutrons par seconde, et le VNIIFTRI, Moscou, a une source de 14 MeV, de  $10^{10}$  neutrons par seconde. Ces deux laboratoires sont intéressés par les mesures de chambre à fission et de détecteurs à seuils. De plus, l'URSS a un programme de radiothérapie neutronique.

Le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Saclay, France, s'occupe de dosimétrie neutronique dans le but d'offrir des possibilités d'étalonnage en termes de kerma ou de dose absorbée aux utilisateurs qui travaillent en radioprotection et en radiothérapie. Le programme actuel comprend la réalisation d'étalons primaires: caractérisation d'une source de  $^{252}\text{Cf}$  en termes de kerma dans le matériau équivalent au tissu à l'air libre et la construction d'un calorimètre avec le matériau équivalent au tissu pour la mesure de doses absorbées dans des faisceaux neutroniques de cyclotron. Le LMRI est donc très intéressé par des comparaisons internationales qui seraient effectuées dans le laboratoire de dosimétrie neutronique du BIPM.

Le National Bureau of Standards, USA, travaille dans le domaine de la dosimétrie neutronique pour les réacteurs à fusion, en collaboration avec HEDL, Hanford, Washington. Des contrôles de détecteurs à seuils et de chambres à fission utilisés pour la dosimétrie à 14 MeV seraient du plus grand intérêt. L'étude d'un champ de référence neutronique de 14 MeV est en cours et fait partie du programme de fusion du Département de l'Energie. L'étude d'un étalon de dosimétrie pour un programme de thérapie neutronique commencera bientôt avec l'appui du National Cancer Institute. Des comparaisons de dosimétrie à 14 MeV présenteraient de l'intérêt dans deux ou trois ans.

Le National Physical Laboratory, Royaume-Uni, a installé un laboratoire de dosimétrie neutronique similaire à celui qui est proposé par le BIPM. Il espère atteindre un taux d'émission de  $10^{11}$  neutrons par seconde pour la source de neutrons de 14 MeV mais actuellement on a seulement  $4 \times 10^{10}$  neutrons par seconde. L'installation dans le courant de cette année d'une source d'ions du type duoplasmatron devrait permettre d'atteindre l'objectif souhaité. Entre-temps, le laboratoire s'équipe d'un système de détection afin de pouvoir offrir un service d'étalonnage pour les instruments de radiothérapie neutronique utilisés dans le pays. Le NPL accueille favorablement la proposition d'installer au BIPM un laboratoire qui lui permettra d'être le centre des comparaisons internationales dans ce domaine.

Le Conseil National de Recherches du Canada possède un générateur de neutrons de 14 MeV, de  $10^{10}$  neutrons par seconde. Il a commencé à mettre en oeuvre un programme de dosimétrie neutronique pour la radiothérapie au moyen de chambres d'ionisation et aimerait avoir la possibilité de faire des étalonnages au BIPM.

La Physikalisch-Technische Bundesanstalt, République Fédérale d'Allemagne, a une série de champs de neutrons monocinétiques et un cyclotron capable de produire des champs neutroniques intenses. Le programme de dosimétrie neutronique est actuellement orienté vers les problèmes de radiothérapie et de radioprotection. A l'avenir, il pourrait être étendu de façon à couvrir les besoins en données soulevés par la technologie de l'énergie nucléaire. La PTB aimerait prendre part aux comparaisons internationales de dosimétrie neutronique qui seraient organisées par le BIPM.

Dans d'autres pays, les hôpitaux et les services de biologie sont intéressés par des étalonnages pour contrôler leurs installations de radiothérapie neutronique. Deux de ces institutions sont le Radiobiological Institute TNO, Rijswijk, Pays-Bas (qui fait de la dosimétrie neutronique et de la radiobiologie liées à la thérapie neutronique) et le Cyclotron Neutron Radiation Therapy Treatment Facility, Louvain-la-Neuve, Belgique. Pour d'autres organisations intéressées, voir la Table 1.

#### PROPOSITION D'INSTALLATION AU BIPM

##### D'UNE SOURCE INTENSE ( $\geq 10^{11} \text{ s}^{-1}$ ) DE NEUTRONS DE 14 MeV

La proposition initiale du personnel du BIPM était l'achat d'un générateur haute tension et la construction d'un accélérateur similaire à l'installation du National Physical Laboratory. Cette proposition a soulevé deux problèmes majeurs. La superficie de l'actuel laboratoire de mesures neutroniques devrait être augmentée de  $100 \text{ m}^2$ , ce qui représenterait un coût de 600 kFF. De plus, une telle construction ne pourrait être entreprise sans une autorisation spéciale des autorités françaises et du Conservateur du Parc de Saint-Cloud. Les discussions pourraient être complexes et longues, sans que le succès soit garanti. En outre, le personnel du groupe de mesures neutroniques (1 physicien + 1 technicien) ne suffirait pas pour mener à bien une telle tâche d'ici deux ou trois ans.

Le BIPM a donc abandonné l'idée de construire lui-même son accélérateur et, après une étude du marché, a choisi un accélérateur Sames TB8 dont les caractéristiques sont les suivantes:

- Un générateur haute tension de 300 kV, 25 mA, fluctuations de la tension: 3 %.
- Un accélérateur d'ions monté dans un réservoir en acier avec du gaz SF<sub>6</sub> (pression: 250 kPa), très compact (1,85 m de long et 1,25 m de large).
- Une source d'ions du type duoplasmatron avec un courant d'ions maximal de 8 mA (40 % d'ions monoatomiques).

- La possibilité d'utiliser un aimant de déviation pour analyser le faisceau est à l'étude, pour épargner la durée de vie de la cible et en améliorer l'accès.

Le BIPM a choisi un générateur de neutrons de 300 kV (et non 150 kV) pour deux raisons:

- le courant maximal de la machine de 150 kV disponible est 2,5 mA ou moins,
- un meilleur rendement de neutrons de 14 MeV sera obtenu avec des deutons incidents de 240 keV (40 % d'ions monoatomiques) sur une cible épaisse de Ti-T.

Le générateur haute tension a la forme d'un cylindre vertical de 0,84 m de diamètre, 2,40 m de hauteur et 1,26 x 1,06 m au sol. L'accélérateur serait commandé à partir du bâtiment principal de la Section des rayonnements ionisants. Ceci réduirait au minimum la partie du budget consacrée à la protection du personnel. Les travaux à effectuer consisteraient essentiellement dans la construction d'un mur de béton de 1 m d'épaisseur et d'un trou de 1 m de diamètre dans le mur extérieur pour le faisceau. Le prix, avec la construction du bloc d'arrêt du faisceau, serait d'environ 100 kFF.

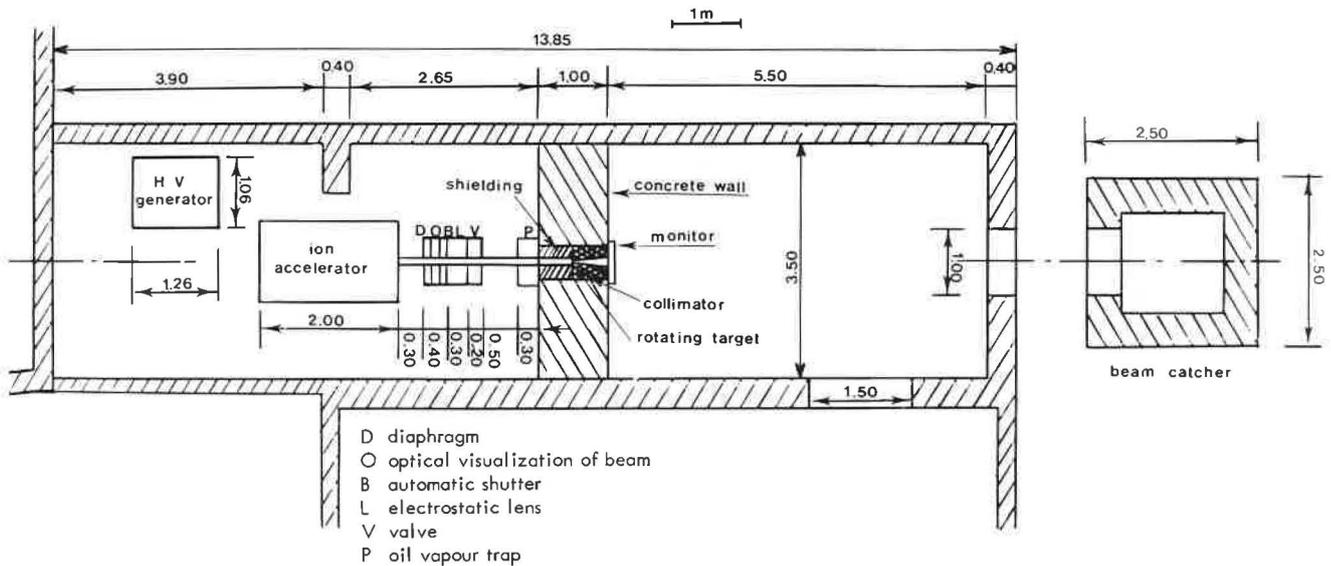
Grâce aux dimensions réduites de l'accélérateur et à la pression du gaz SF<sub>6</sub>, il serait possible d'installer la nouvelle source de neutrons de 14 MeV ( $\geq 10^{11} \text{ s}^{-1}$ ) dans le bâtiment existant, tout en conservant l'installation actuelle pour les mesures de débit de fluence de neutrons rapides et pour les étalonnages de sources (bain de manganèse). La figure 1 donne le schéma proposé pour la nouvelle installation. Le bloc d'arrêt du faisceau (K sur la figure 1) est formé d'un premier absorbeur en acier qui dégrade l'énergie neutronique par diffusion inélastique; il est suivi de béton et de paraffine pour éliminer les neutrons de faible énergie.

En ce qui concerne les autres parties nécessaires de la nouvelle source de neutrons, telles que la cible tournante, les collimateurs, les moniteurs, le bloc d'arrêt du faisceau, etc., les plans ont été fournis par le NPL, ce qui permettrait au BIPM de les construire et d'économiser du temps et de l'argent.

En conclusion, la principale dépense qu'entraînerait l'installation de la nouvelle source est l'achat d'un générateur de neutrons Sames TB8. Le prix en était de 740 FF en avril 1978, auquel s'ajoute une augmentation de 5 % tous les six mois. Le délai de livraison est de 8 mois.

Ce type de générateur de neutrons est déjà en service dans plusieurs laboratoires:

- Strahlenzentrum der Universität, Leihgersternsweg 217, D-6300 Giessen,
- Kernforschungsanlage Institut für Reaktorentwicklung, Postfach 1913, D-517 Jülich,
- National Radiological Protection Board, Harwell Didcot, Oxfordshire OX11 ORQ, Royaume-Uni.



Plans for the installation of the new source

Scale: 0.02

L'Université de Giessen a fourni des informations encourageantes sur le fonctionnement de son générateur. A Jülich, l'expérience semble satisfaisante aussi. On obtient facilement un courant de 8 mA. On a rencontré quelques difficultés mineures au début avec le système de refroidissement de l'eau mais elles ont été surmontées. Le laboratoire de Harwell semble éprouver quelque peine à obtenir des courants d'ions élevés et le service après-vente laisse à désirer. Cependant, le BIPM n'a jamais eu de problèmes de ce type avec Sames jusqu'à présent.

Avec une source de neutrons de 14 MeV ( $\geq 10^{11} \text{ s}^{-1}$ ), le BIPM disposerait d'un faisceau étalonné en termes de kerma ou de dose absorbée. Ceci lui permettrait d'organiser des comparaisons internationales de dosimètres utilisés en radiothérapie et en biologie médicale, et d'y participer. Le BIPM construirait des pilotes et étudierait un ou plusieurs étalons ionométriques de dose absorbée ayant une bonne stabilité à long terme en profitant de l'expérience acquise par le groupe de rayons X et  $\gamma$  du BIPM dans la mesure de l'exposition et de la dose absorbée par la méthode ionométrique. L'un des pilotes de faisceau neutronique serait placé contre la face externe du collimateur; il est du même type que la chambre de transmission cylindrique mise au point au NPL (dimensions extérieures: 24 cm de diamètre et 4,7 cm d'épaisseur).

La réalisation et la conservation au BIPM d'étalons de dose absorbée ayant une bonne stabilité à long terme (comparable aux étalons du groupe de rayons X et  $\gamma$  pour la source intense de cobalt-60) lui permettrait de disposer, entre les comparaisons internationales à grande échelle, d'une référence permanente à laquelle les laboratoires pourraient comparer leurs propres étalons à leur convenance.

(Avril 1979)

---



# TABLE DES MATIÈRES

## COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS 8<sup>e</sup> Session (1979)

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre .....	v
Liste des membres .....	vii
Ordre du jour .....	x
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par R. S. Caswell</b> .....	<b>R 1</b>
Abstract. Résumé .....	1
Introduction .....	2
Rapports d'activité des trois Sections du CCEMRI et travaux connexes du BIPM :	
— Section I : Rayons X et $\gamma$ , électrons (Problème du passage des étalons d'exposition aux étalons de kerma dans l'air; expression des incertitudes dans les certificats d'étalonnage; création de trois groupes de travail pour étudier le passage de l'exposition à la dose absorbée dans l'eau, le passage de la dose absorbée dans le graphite à la dose absorbée dans l'eau et pour organiser une comparaison internationale de dosimètres Fricke; unités SI en dosimétrie) .....	2
Travaux du BIPM (Comparaisons internationales d'exposition et de dose absorbée; calcul de $G$ , correction pour le rayonnement de freinage; étude des différences de masse volumique du graphite utilisé dans les mesures de dose absorbée; calcul concernant les facteurs de conversion $C_E$ et $C_A$ ; travaux relatifs à $W$ ) .....	4
— Section II : Mesure des radionucléides (Comparaisons internationales de $^{139}\text{Ce}$ , $^{137}\text{Cs}$ et $^{134}\text{Cs}$ ; comparaison de $^{55}\text{Fe}$ ; comparaison de sources ponctuelles d'émetteurs gamma; comparaisons futures) .....	4
Travaux du BIPM (Participation aux comparaisons internationales; système international de référence pour le rayonnement gamma; mesure des énergies de particules alpha; statistiques de comptage) .....	5
— Section III : Mesures neutroniques (Comparaisons internationales de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques et de mesures d'une source de $^{252}\text{Cf}$ ; comparaison restreinte d'une source intense de $^{252}\text{Cf}$ ; préparation d'une nouvelle comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides) .....	6
Travaux du BIPM (Participation aux comparaisons internationales; mesures du rapport des sections efficaces $\sigma_H/\sigma_{Mn}$ ; correction à appliquer pour le comptage des particules associées) .....	7
Composition des Sections du CCEMRI .....	8
Proposition d'installation au BIPM d'une source intense de neutrons de 14 MeV pour dosimétrie neutronique (Développement de la thérapie neutronique; nécessité d'augmenter l'exactitude des mesures; besoin de comparaisons internationales; présentation de l'équipement nécessaire; coût approximatif; discussion du financement de l'opération) .....	8

Autres activités et discussions : Rapports du Président du CCEMRI au CIPM et à la CGPM; prochaines réunions du CCEMRI et des Sections; démission de Mr Champion de la présidence de la Section II et présentation de son successeur, Mr Weiss . . . . .	10
<i>Recommandation R(III)-1 (1979) (Installation au BIPM d'une source de neutrons de 14 MeV pour dosimétrie neutronique) . . . . .</i>	11
<b>Annexes</b>	
R 1. <i>Documents de travail présentés à la 8<sup>e</sup> Session du CCEMRI . . . . .</i>	12
R 2. <i>Rapport du Président du CCEMRI au Comité International des Poids et Mesures, par E. Ambler . . . . .</i>	13
R 3. <i>Projet d'installation d'une source de 14 MeV pour dosimétrie neutronique au Bureau International des Poids et Mesures, par Section III, CCEMRI . . . . .</i>	40

---

IMPRIMERIE DURAND  
28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal, Imprimeur, 1980, n° 3732  
ISBN 92-822-2062-1

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 31 OCTOBRE 1980

Imprimé en France

