

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RADIATIONS IONISANTES
SESSION DE 1964

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

COMITÉ CONSULTATIF
POUR
LES ÉTALONS DE MESURE
DES RADIATIONS IONISANTES

5^e SESSION — 1964

(28-29 septembre)



PARIS
GAUTHIER-VILLARS & C^{ie}

IMPRIMEUR-ÉDITEUR DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

55, Quai des Grands-Augustins.

AVERTISSEMENT HISTORIQUE

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

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

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

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive d'un *Comité International des Poids et Mesures*, placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence Générale des Poids et Mesures*.

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 Métrique;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et 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 radiations ionisantes (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 radiations ionisantes.

⁽¹⁾ Au 31 décembre 1964, quarante États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Corée, Danemark, Dominicaine (Rép.), Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Arabe Unie, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Vénézuéla, 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 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 C. I. P. M.*, 31, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé d'un délégué des grands Laboratoires de métrologie et des Instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité International, ainsi que de membres individuels désignés également par le Comité International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de sept :

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité*, créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie*, créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie*, créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes*, créé en 1958.
7. Le *Comité Consultatif des Unités*, 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* ;
- *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (périodicité irrégulière).

Le Bureau International présente en outre à la Conférence Générale un Rapport sur les développements du Système Métrique dans le monde, Rapport publié sous le titre : *Les récents progrès du Système Métrique*.

Depuis 1965 le journal international *Metrologia*, édité 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 divers organismes issus de la Convention du Mètre.

Comité International des Poids et Mesures.

<i>Secrétaire</i>	<i>Vice-Président</i>	<i>Président</i>
J. DE BOER	L. E. HOWLETT	R. VIEWEG

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RADIATIONS IONISANTES

Président

A. V. ASTIN, Membre du Comité International des Poids et Mesures;
Director, National Bureau of Standards, *Washington*, D. C. 20 234.

Membres

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [P. T. B.], *Braunschweig*
(J. FRÄNZ, Directeur du Département pour la physique atomique).

DEUTSCHES AMT FÜR MESSWESEN UND WARENPRÜFUNG [D. A. M. W.],
Berlin (H. ROTHE).

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [N. B. S.], *Washington*, D. C. 20 234
(H. O. WYCKOFF, Chief, X-ray Standards Section).

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [N. R. C.], *Ottawa* (C. GARRETT, Chef
de la Section des Rayons X et Radiations Nucléaires).

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS [C. N. A. M.], *Paris*
(J. CHÂTELET, Chef du Service de Radioactivité au Laboratoire
d'Essais).

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [E. T. L.], *Tokyo*.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [N. P. L.], *Teddington* (P. J. CAM-
PION, Superintendent, Applied Physics Division).

- INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [I. M. M.], *Leningrad*
(Mme I. A. JARITZINA, Chef du Laboratoire de Mesures neutroniques).
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, *Wien* (H. HOUTERMANS).
- CENTRO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, *Madrid* (A. TANARRO, Jefe de la Seccion de Electronica de la Junta de Energia Nuclear).
- COMITATO NAZIONALE PER LE RICERCHE NUCLEARI, *Roma*.
- COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE, *Paris* (B. GRINBERG, Chef du Laboratoire de Mesure des Radioéléments, Centre d'Études Nucléaires de Saclay).
- COMMISSION FÉDÉRALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE YOUGOSLAVE, *Belgrade*
(non représentée).
- COMMISSION MIXTE DE RADIOACTIVITÉ APPLIQUÉE (non représentée).
- COMMONWEALTH X-RAY AND RADIUM LABORATORY, *Melbourne* (J. F. RICHARDSON).
- COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE [EURATOM] (J. SPAEPEN, Chef du Bureau Central de Mesures Nucléaires, *Geel*).
- INSTITUT DU RADIUM, *Paris* (M. LECOIN).
- INSTITUT FÜR RADIUMFORSCHUNG UND KERNPHYSIK, *Wien* (Mme B. KARLIK).
- INSTITUT SCIENTIFIQUE DES MESURES PHYSICOTECHNIQUES ET RADIO-TECHNIQUES DE L'U.R.S.S., *Moscou*.
- INSTITUT VOOR KERNPHYSISCH ONDERZOEK, *Amsterdam-O* (A. H. W. ATEN Junior, Directeur Scientifique de la Section Chimique).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL UNITS AND MEASUREMENTS (L. S. TAYLOR, Président).
- Le Directeur du BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, *Sèvres* (J. TERRIEN).
- G. BOLLA, Istituto di Fisica, Politecnico, *Milano*.
- R. THORAEUS, Radiofysiska Institutionen, *Stockholm* 60.
-

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Rapports du président du Comité Consultatif et des présidents des Groupes de travail.
 2. Activité de la section des radiations ionisantes du Bureau International.
 3. Comparaisons internationales (^{60}Co , ^{241}Am , $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, étalons de radium).
 4. Activités futures et composition des Groupes de travail.
 5. Proposition du Dr Wyckoff (organisation de symposiums au Bureau International).
 6. Coopération avec les laboratoires nationaux de métrologie.
 7. Unités et symboles des grandeurs de rayonnement.
 8. Questions diverses.
-

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RADIATIONS IONISANTES

5^e SESSION (1964)

RAPPORT

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par C. GARRETT, Rapporteur

La cinquième session du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes s'est tenue au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, au cours de trois séances les lundi 28 et mardi 29 septembre 1964.

Étaient présents : Mr ASTIN, président ; MM. ATEN, CAMPION, CHÂTELET, FRÄNZ, GARRETT, GRINBERG, HOUTERMANS, Mme JARITZINA, MM. LECOIN, SPAEPEN, TANARRO, TAYLOR, TERRIEN, WYCKOFF.

Excusés : Mme KARLIK, MM. RICHARDSON, ROTHE, THORAEUS.

Assistaient également à la session : MM. VIEWEG, président, et SIEGBAHN, membre, du Comité International des Poids et Mesures ; MM. ALLISY, NAGGIAR, RYTZ et Mlle GUÉGAN (Bureau International) ; Mr OBOUKHOV, interprète.

Excusés : Mme KARLIK (Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Wien), MM. RICHARDSON (Commonwealth X-Ray and Radium Laboratory, Melbourne), ROTHE (Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin) et R. THORAEUS (Stockholm).

Avant d'aborder l'ordre du jour, le PRÉSIDENT annonce qu'il a été informé du décès de Mr K. K. Aglintsev ; une minute de silence est observée à la mémoire de ce collègue disparu.

Mr Garrett est nommé rapporteur, assisté de Mr Allisy comme secrétaire.

Le PRÉSIDENT accueille Mr Vieweg qui souhaite la bienvenue aux membres du Comité Consultatif, et il présente Mr K. Siegbahn, nouveau membre du Comité International.

Le PRÉSIDENT fait part des décisions qui ont été prises par le Comité International des Poids et Mesures à la suite des recommandations faites par le Comité Consultatif lors de sa 4^e session (mai 1963) :

a. Une demande de subvention a été adressée aux gouvernements des États membres de la Convention du Mètre pour compléter l'équipement des laboratoires.

b. Le *curie* a été adopté comme unité spéciale d'activité, après une légère modification rédactionnelle de la Recommandation R 2 adoptée en 1963 (1).

c. Il a été reconnu que le *röntgen* sera utilisé comme unité spéciale d'exposition dans les travaux du Bureau International.

Adoption des Rapports des Groupes de travail

Les documents soumis par le Groupe de travail pour la *mesure des radionucléides* et le Groupe de travail des *mesures neutroniques* sont les rapports des réunions tenues depuis la 4^e session du Comité Consultatif. (Annexe 1, p. 17). Le Groupe de travail des *mesures de rayons X et γ* et le Groupe de travail des *étalons de radium* ne se sont pas réunis depuis cette date. Ces rapports contiennent :

1. Des discussions des résultats des comparaisons internationales qui ont été organisées par le Bureau International.
2. Des propositions de comparaisons futures.
3. Des suggestions pour des programmes de recherche en vue d'améliorer les mesures.

Le Groupe de travail pour la mesure des radionucléides a décidé de réduire le nombre des comparaisons annuelles, afin de pouvoir concentrer le travail de recherche sur les diverses techniques de mesure. Il est souhaitable que les comparaisons soient préparées en détail, que le but, la méthode, etc., en soient déterminés à l'avance.

Le Comité Consultatif adopte à l'unanimité les rapports des Groupes de travail.

Activité de la section des radiations ionisantes du Bureau International.

Inauguration des nouveaux laboratoires

MM. Allisy, Naggiar et Rytz font un compte rendu du travail effectué par la section des radiations ionisantes depuis la session de mai 1963. Les comparaisons internationales suivantes ont été organisées :

(1) *Note ajoutée aux épreuves*: La Douzième Conférence Générale des Poids et Mesures (octobre 1964) a finalement adopté la Résolution 7 suivante :

La Douzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

CONSIDÉRANT que depuis longtemps le *curie* est utilisé dans beaucoup de pays comme unité pour l'activité des radionucléides,

RECONNAISSANT que dans le *Système International d'Unités (SI)*, l'unité de cette activité est la seconde à la puissance moins un (s^{-1}),

ADMET que le *curie* soit encore retenu comme unité en dehors du *SI* pour l'activité, avec la valeur $3,7 \times 10^{10} s^{-1}$. Le symbole de cette unité est Ci.

Radionucléides. — Deux radionucléides ont été expédiés à un nombre important de laboratoires.

Radionucléide	Date	Laboratoire distributeur	Nombre de participants
^{241}Am	juillet 1963	National Bureau of Standards, Washington D.C., États-Unis d'Amérique	25
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	février 1964	Physikalisch - Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Allemagne	27

Trois rapports préliminaires contenant les résultats de comparaisons ont été préparés par le Bureau International et envoyés aux participants et aux membres du Comité Consultatif. Les résultats de la comparaison internationale de la méthode $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ au moyen de sources solides de ^{60}Co ont été envoyés en août 1963; le rapport préliminaire de la comparaison de ^{241}Am a été envoyé en janvier 1964. Les résultats de la comparaison de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ viennent d'être distribués ⁽¹⁾.

Le Comité Consultatif exprime ses remerciements au Bureau Central de Mesures Nucléaires et au National Physical Laboratory pour leur contribution à l'organisation de la comparaison de sources solides de ^{60}Co .

Mesures neutroniques. — La source de neutrons Ra-Be (α, n) du Conseil National de Recherches (N.R.C.), Canada, a été mesurée dans deux nouveaux laboratoires :

- Bureau Central de Mesures Nucléaires, Geel, Belgique, en juillet 1963.
- Atomic Energy Establishment Trombay, Inde, en février 1964.

La source NRC est actuellement à son laboratoire d'origine où une nouvelle mesure du taux d'émission a été effectuée.

Un rapport préliminaire sur la comparaison internationale du taux d'émission de la source NRC Ra-Be (α, n) N° 200-1 a été rédigé.

Radium. — L'étalon de radium Hönigschmid N° 5427 de l'U.R.S.S. a été comparé à plusieurs autres étalons de la série Hönigschmid. Ces mesures ont été effectuées à l'Institut du Radium (Paris, Mr Lecoin), à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig, Mr Weiss) et à l'Institut für Radiumforschung und Kernphysik (Wien, Mme Karlik). L'analyse des résultats de cette comparaison est donnée à l'Annexe 5, p. 103.

Mme JARITZINA remercie tous les laboratoires qui ont bien voulu entreprendre ce travail.

Les membres du Comité Consultatif ont visité les nouveaux laboratoires dont la construction vient d'être achevée. L'inauguration officielle a eu lieu le 29 septembre 1964 en présence du président du Comité International Mr Vieweg, du Comité Consultatif, de diverses personnalités et du personnel

⁽¹⁾ Les rapports définitifs des comparaisons du ^{60}Co et du ^{241}Am sont publiés aux Annexes 4, p. 67 et 3, p. 49.

du Bureau International. Le Comité Consultatif a exprimé sa vive satisfaction à la vue du travail accompli par Mr Allisy et ses collègues et une motion de félicitations au personnel a été approuvée à l'unanimité.

Activités futures des Groupes de travail

Mr TERRIEN fait part du souci des membres du Comité International des Poids et Mesures, qui se préoccupent de maintenir l'accord des programmes actuels de la section des radiations ionisantes avec les tâches assignées au Bureau International. Le PRÉSIDENT fait allusion à la note soumise par Mr Terrien au Comité International en octobre 1962 sur le rôle du Bureau International. Cette note est distribuée aux membres du Comité Consultatif. Afin que tous ceux qui sont intéressés par l'activité du Bureau International aient une idée de la politique générale sur laquelle est basé le travail du Comité Consultatif et des Groupes de travail, le PRÉSIDENT souligne les points suivants :

1. L'amélioration de la précision des étalons de base et des techniques de mesures dans le domaine des rayonnements ionisants, ce qui implique la détection et la séparation des sources d'erreurs, ainsi que leur réduction au moyen de recherches scientifiques appropriées. Une coopération étroite entre les laboratoires nationaux et le Bureau International est primordiale pour que cette politique soit appliquée en vue d'obtenir le maximum de résultats.

2. Le Comité Consultatif et les Groupes de travail ont également pour objectif d'augmenter le degré d'unification des mesures faites par les laboratoires nationaux et internationaux dans le monde entier.

Le PRÉSIDENT insiste sur le fait que la première tâche des Groupes de travail est de travailler en mettant l'accent sur le premier aspect de cette politique générale. Tous les membres sont d'accord sur ce point.

Mesures de rayons X et γ . — Les suggestions suivantes sont faites quant au programme futur de ce Groupe de travail :

a. Des instruments de transfert peuvent être mis à la disposition des laboratoires nationaux sur simple demande.

b. Une étude sera faite de l'état des différents facteurs de correction appliqués aux mesures d'exposition; ce travail sera entrepris par un petit nombre de laboratoires.

c. Une comparaison sera entreprise entre l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléev et le National Bureau of Standards dans le domaine d'énergie de 3 MeV.

Radionucléides. — Le programme de ce Groupe de travail est le suivant :

a. Aider à faire l'analyse des résultats d'une distribution de sources solides de ^{60}Co à un petit nombre de laboratoires compétents.

b. Entreprendre l'analyse des résultats de la comparaison du ^{54}Mn sur la base du rapport préliminaire qui sera établi par le Bureau International.

c. Étudier la proposition du Bureau International de distribuer simultanément une solution de $^{60}\text{Co}^{35}\text{SO}_4$ et de ^{60}Co .

- d.* Étudier les problèmes suivants pour arriver à des recommandations :
- différentes techniques de dépôt d'une masse déterminée de solution sur un film (aliquoting);
 - conductibilité des sources préparées et résistance entre la couche conductrice et la cathode du compteur proportionnel;
 - absorption du rayonnement β par la source et par le film (self-absorption, film absorption). Rôle de la rétention du solvant par le film plastique (solvent uptake);
 - adsorption et échange d'ions dans les ampoules.

Mesures neutroniques. — *a.* Une étude sera faite d'un projet de comparaison internationale de mesures de flux de neutrons thermiques. Si une telle comparaison est jugée nécessaire, le Groupe de travail l'organisera et en analysera les résultats.

b. La mesure de la source Ra-Be (γ , n) du Bureau International commencera, et une comparaison de cette mesure avec celles du National Physical Laboratory et du National Bureau of Standards est envisagée.

Étalons de Radium. — Étant donné que les mesures de comparaisons de l'étalon de radium de l'U.R.S.S. sont terminées, il semble que l'existence de ce Groupe de travail ne soit plus nécessaire. Les problèmes futurs concernant le radium pourront être traités par un échange de correspondance entre les experts dans ce domaine.

Réunions des Groupes de travail

Le Groupe de travail des mesures de rayons X et γ se réunira probablement en 1965.

Le Groupe de travail pour la mesure des radionucléides se réunira en 1965. La date de la réunion dépendra de la date à laquelle le rapport préliminaire sur la comparaison du ^{54}Mn sera terminé.

Le Groupe de travail des mesures neutroniques se réunira quand le besoin s'en fera sentir.

Propositions et questions diverses

Spectroscopie α , β et γ . — Mr SIEGBAHN soumet une proposition au Comité Consultatif pour examen. Il se demande si le Bureau International ne devrait pas s'engager dans le domaine de la spectroscopie α , β et γ , afin d'exprimer une opinion officielle sur l'énergie de certaines raies. Le Bureau International préparera sur ce sujet un rapport qui comprendra le rôle joué par d'autres organisations internationales dans ce domaine. La question sera étudiée par le Comité Consultatif lors de sa prochaine session.

Organisation de symposiums au Bureau International. — Mr WYCKOFF propose que de petits symposiums techniques soient organisés sur des problèmes de métrologie fondamentale, de préférence à l'occasion des réunions des Groupes de travail. Ces symposiums feraient le point de la situation dans le domaine considéré et pourraient également être un moyen d'aider les laboratoires nouvellement engagés dans l'étude des rayonnements ionisants. Mr TERRIEN souligne que de tels symposiums devraient sans

doute être organisés dans beaucoup de domaines d'activité du Bureau International. Ils contribueraient à fournir une réponse aux demandes d'aide et de conseils que le Bureau reçoit assez fréquemment de laboratoires de divers États.

Le Comité Consultatif approuve dans ce sens la recommandation suivante, avec une abstention :

RECOMMANDATION R 1

Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes recommande que le Comité International des Poids et Mesures autorise le Bureau International à organiser et à tenir des symposiums techniques sur des problèmes de métrologie fondamentale.

Programme de coopération avec les laboratoires nationaux de métrologie. — Les laboratoires de la section des radiations ionisantes étant terminés, il semble qu'il serait très profitable pour tous les travaux que des scientifiques d'autres laboratoires puissent passer quelque temps au Bureau International pour y effectuer des travaux de recherche en commun avec le personnel du Bureau International.

Le Comité Consultatif approuve en conséquence la recommandation suivante, avec une abstention :

RECOMMANDATION R 2

Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes recommande au Comité International des Poids et Mesures d'inviter les laboratoires nationaux et internationaux à étudier la possibilité d'envoyer des scientifiques au Bureau International pour y effectuer des travaux de recherche en collaboration avec le personnel du Bureau International.

Unités et symboles des grandeurs de rayonnement. — Des propositions du Laboratoire National d'Essais, Paris, et de l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléév, Leningrad, sont soumises à l'I.C.R.U. pour étude.

Carbone 14. — Une demande déjà présentée au Comité International en 1962 (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 30, p. 29), relative à la recherche de la meilleure valeur pour la période du ^{14}C , est soumise pour examen au Groupe de travail pour la mesure des radionucléides. Ce Groupe étudiera si de telles questions sont de la compétence du Bureau International.

(Sèvres, 30 septembre 1964)

ANNEXE 1

RAPPORTS DES GROUPES DE TRAVAIL

MESURES DES RADIONUCLÉIDES

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, du 9 au 11 avril 1964.

Étaient présents: MM. A. H. W. ATEN (I.K.O.), président, A. P. BAERG (N.R.C.), P. J. CAMPION (N.P.L.), B. GRINBERG (C.E.N.S.), W. B. MANN (N.B.S.), A. SPERNOL (Euratom), H. M. WEISS (P.T.B.).

Assistaient à la réunion: MM. J. TERRIEN, A. ALLISY, V. NAGGIAR, J. C. ROY, A. RYTZ (Bureau International); Mlle GUÉGAN, secrétaire.

Excusé: le délégué soviétique.

Mr TERRIEN indique que l'un des soucis majeurs du directeur du Bureau International est le choix des travaux qui doivent y être effectués et de ceux qui ne doivent pas l'être, surtout dans le domaine des radiations ionisantes qui est nouveau pour lui. Bien entendu, les décisions concernant le programme des travaux incombent au Comité International des Poids et Mesures; mais le directeur du Bureau et ses collaborateurs ont le devoir de renseigner le Comité International et de lui proposer un tel programme. C'est pourquoi il prendra le plus grand intérêt à tout ce qu'il entendra pendant la réunion de ce Groupe de travail.

1. *Discussion des comparaisons internationales effectuées.*

a. ^{198}Au . — Le rapport sur cette comparaison a été rédigé par le National Physical Laboratory (C.C.E.M.R.I., 4^e session, 1963, p. 47). Le but de cette comparaison n'avait pas été défini auparavant, ce qui limite l'intérêt des résultats obtenus. Elle a toutefois permis de constater que, il y a deux ans, une solution de ^{198}Au pouvait déjà être étalonnée à ± 1 % près.

b. ^{60}Co (1962). — Le Groupe de travail exprime ses remerciements aux chercheurs de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléév qui ont entrepris le travail préparatoire à cette comparaison (C.C.E.M.R.I., 4^e session, 1963, p. 53). La précision des résultats s'est montrée inférieure à celle qui

a été obtenue pour la comparaison de ^{198}Au . La faible quantité d'entraîneur avait été choisie intentionnellement par le laboratoire distributeur pour en vérifier l'utilité, bien entendu après une longue série d'expériences préliminaires.

Le sens des termes anglais *precision* et *accuracy* est discuté. Des définitions de ces termes se trouvent dans le NBS Handbook 80 (1). Le Groupe de travail est d'accord avec les traductions suivantes :

<i>anglais</i>	<i>français</i>
accuracy	exactitude
precision	reproductibilité, fidélité, précision.

L'utilité de la méthode de la chambre d'ionisation est discutée. C'est surtout la chambre $4\pi\gamma$ qui donne de très bons résultats. L'appareil du N.B.S. donne une précision de 0,04 % et se montre linéaire entre 0,4 et 2 MeV. (Évidemment, toutes les mesures avec des chambres d'ionisation étant relatives, les appareils doivent être étalonnés.) On pourrait même considérer une recommandation concernant l'usage de cette méthode pour faire des contrôles par les laboratoires participant à des comparaisons internationales.

c. ^{204}Tl . — Cette comparaison (*C.C.E.M.R.I.*, 4^e session, 1963, p. 59) a été la première à être analysée par les spécialistes du B.I.P.M. Il y avait trois sources d'erreurs importantes, celles inhérentes à :

1^o la méthode du traceur; 2^o la conductibilité des supports; 3^o l'interprétation du schéma de désintégration.

La correction due à la capture électronique dépend fortement de la source et du compteur. Ces corrections sont mieux connues aujourd'hui, mais ne sont pas applicables d'une façon générale. Des expériences avec deux traceurs seraient souhaitables.

Le Groupe de travail discute le principe que, dans le cas d'auto-absorption appréciable, les mesures d'activité les plus élevées sont les meilleures. De toute façon il ne semble pas utile de prendre des valeurs moyennes dans ces cas.

Le Groupe de travail demande si l'on peut indiquer la meilleure méthode pour étalonner des émetteurs β purs. En principe, le thallium ne devrait pas constituer un cas très difficile. Apparemment il y a certains effets fondamentaux qui ne sont pas suffisamment connus. Il est désirable de dresser un inventaire des problèmes à résoudre et il faudrait trouver les laboratoires nationaux prêts à entreprendre les expériences nécessaires. Un de ces problèmes est l'absorption qui, dans le cas d'ampoule en verre, serait provoquée par des réactions d'échange d'ions (K, Na), peut-être en fonction de l'acidité. Il s'agit là de questions qui ne peuvent être résolues par des comparaisons internationales.

d. ^{35}S . — Les écarts entre les résultats des différents laboratoires sont très appréciables, de l'ordre de 5 %. L'analyse statistique des résultats

(1) Les définitions dans le texte (p. 2) sont les suivantes : « *Accuracy* expresses the degree of agreement with the true value of the quantity being measured and is subject to the influence of unknown systematic errors. *Precision* expresses the degree of reproducibility of measurements. The standard deviation of a set of measurements is often used as the criterion of precision ».

est incertaine, aussi il ne semble pas utile de discuter des moyennes. Les corrections d'auto-absorption ne peuvent être jugées sans connaître les conditions dans lesquelles celles-ci étaient trouvées. L'analyse critique du B.I.P.M. est très utile pour le Groupe de travail, que l'on soit d'accord ou non sur les vues qui y sont exprimées. On discute s'il est utile d'ajouter des résultats qui sont manifestement erronés, mais qui peuvent cependant présenter un intérêt.

Le Groupe de travail est d'accord sur la façon de procéder suivante :

1. Le B.I.P.M. continuera à demander l'accord des laboratoires avant la publication des résultats.

2. Il demandera aux participants s'ils sont d'accord avec la présentation des données fournies au B.I.P.M.

3. Les laboratoires participants et les membres du Groupe de travail feront part de leurs suggestions sur les rapports et laisseront aux auteurs toute latitude pour en tenir compte.

Le rapport définitif sur cette comparaison est publié p. 28.

e. ^{60}Co (1963). — Tous les membres estiment que cette comparaison (Annexe 4, p. 67) orientée principalement vers la reproductibilité d'une seule méthode a fourni des résultats très satisfaisants pour les sources solides. (La dispersion des résultats est deux fois plus petite que dans la première comparaison (1962) de ^{60}Co .) Le président remercie le B.C.M.N. et le N.P.L. de leur travail important.

Cette comparaison semble être très utile pour les mesures neutroniques. Peut-être la méthode $4\pi\beta$ (CP)- γ pourrait être aussi la plus exacte pour le ^{56}Mn . On discute si les coïncidences γ - γ ou les coïncidences β - γ avec plastique scintillant ou scintillateur liquide sur papier filtre comme détecteur β ne donneraient pas une exactitude comparable à celle du compteur proportionnel en coïncidence avec un compteur γ .

La comparaison ne montre pas si le dosage par évaporation (pesage de goutte) ou par pycnomètre pesé est préférable. Les résultats obtenus au N.P.L. semblent indiquer que le pycnomètre donne la meilleure précision. La poussée de l'air mérite beaucoup d'attention.

On suggère qu'une comparaison internationale de l'emploi des traitements par ludox, insuline et catanac serait très utile. Il est constaté que la notion de « masse surfacique » (superficial density) n'est pas sans ambiguïté et devrait être mieux définie.

f. ^{241}Am . — Le rapport préliminaire de cette comparaison est discuté assez rapidement. Le désaccord qui existe entre la masse surfacique calculée et mesurée met en cause la méthode du sandwich. Ce point mérite d'être examiné de plus près. Peut-être serait-il utile d'utiliser des feuilles de plastique saturées d'humidité pour déterminer la correction pour l'absorption.

Au B.C.M.N. on espère qu'il sera possible d'obtenir une exactitude de 0,01 % dans les mesures par la méthode de l'angle solide défini.

Le rapport sur cette comparaison est publié p. 49.

g. *Conclusions*. — Il est suggéré de concentrer les efforts dans les domaines suivants :

1. Étude de plusieurs des méthodes et techniques utilisées.

2. Choix et étude de techniques qui pourraient être recommandées par le B.I.P.M.

3. Indication des domaines où des recherches détaillées sont nécessaires.

Il est difficile de considérer le point 3 parce qu'un petit nombre seulement des laboratoires qui s'occupent d'étalonnages est représenté dans le Groupe de travail.

Une étude des différentes techniques et méthodes semble être prématurée, mais on se met d'accord sur les conclusions suivantes :

1. Aucune recommandation concernant les différentes méthodes ou techniques à employer ne peut être faite dès maintenant.

2. Les problèmes spéciaux à étudier sont en particulier :

— les différentes techniques de dépôt d'une masse déterminée de solution sur un film (aliquoting);

— la conductibilité des sources préparées et la résistance entre la couche conductrice et la cathode du compteur proportionnel;

— l'absorption du rayonnement β par la source et par le film (self-absorption, film absorption); rôle de la rétention du solvant par le film plastique (solvent uptake);

— l'adsorption et l'échange d'ions dans les ampoules de stockage.

2. *Activités du B.I.P.M. dans le domaine de l'étalonnage des radionucléides.*

Le groupe des radionucléides du Bureau International sera presque exclusivement occupé jusqu'à fin 1964 par les trois rapports à établir (^{60}Co , ^{241}Am , ^{90}Sr) et par le déménagement dans ses nouveaux laboratoires. Le Groupe de travail est d'avis de publier le rapport de la comparaison du ^{35}S après accord des participants sur la présentation et l'interprétation de leurs résultats (voir Annexe 2 p. 28).

Le Bureau International pourra recevoir la documentation et les informations des laboratoires spécialisés concernant les quatre problèmes spéciaux à étudier mentionnés dans le paragraphe 1. g. 2 ci-dessus.

Il serait vivement souhaitable que les laboratoires envoient des stagiaires à Sèvres, comme l'a fait le N.B.S. avec Miss Cavallo.

3. *Discussion des buts des comparaisons futures.*

Il est décidé de réduire le nombre de comparaisons par année et d'étudier plutôt des techniques que des radionucléides particuliers. Il est demandé que le Groupe de travail ne dresse pas simplement une liste des radionucléides à inscrire au programme des comparaisons, mais qu'il précise dans chaque cas pourquoi ce radionucléide doit être mesuré et quel problème spécial doit être approfondi.

Il est jugé désirable que le Groupe de travail se réunisse plus souvent pour resserrer ses liens avec le B.I.P.M.

4. *Programme de comparaisons internationales futures.*

Il est évident que l'exactitude des étalonnages est actuellement aussi bonne que celle de la détermination de la masse du liquide déposé sur le

support. Cela veut dire que les comparaisons de radionucléides faciles à étalonner ne seront pas utiles pour le présent. Il est demandé que des radionucléides se désintégrant par capture K soient inscrits au programme. Le nombre réduit de laboratoires intéressés ne devrait pas être une raison pour ne pas entreprendre les mesures. On peut prévoir une dispersion, parmi les grands laboratoires, de l'ordre de 3 %.

Le Groupe de travail décide de renoncer provisoirement à la comparaison envisagée de ^{137}Cs jusqu'à nouvel avis.

Finalement, le ^{54}Mn est retenu comme radionucléide pour une comparaison internationale qui aura lieu au début de 1965. Le Centre d'Études Nucléaires de Saclay s'occupera de la distribution des solutions et de la préparation des formulaires en liaison avec d'autres laboratoires. Les résultats seront rassemblés par le B.I.P.M. qui rédigera un rapport préliminaire. Le formulaire pour la comparaison de la méthode $4\pi\beta$ (CP)- γ au moyen du ^{60}Co pourrait être pris comme modèle.

Une proposition de faire une petite comparaison de sources solides de ^{60}Co déjà existantes est acceptée et aura lieu après l'installation des nouveaux laboratoires du B.I.P.M. Les laboratoires suivants seront invités à prendre part à cette comparaison :

Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, Canada.

Bureau Central de Mesures Nucléaires, Geel, Belgique.

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad, U.R.S.S.

National Bureau of Standards, Washington, États-Unis d'Amérique.

National Physical Laboratory, Teddington, Grande-Bretagne.

Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Allemagne.

Une proposition de distribuer simultanément une solution de $^{60}\text{Co}^{35}\text{SO}_4$ et de ^{60}Co retient l'attention du Groupe de travail. Un projet détaillé sera préparé par le B.I.P.M., envoyé aux membres du Groupe de travail et discuté par correspondance.

La fréquence des comparaisons internationales la plus convenable semble être trois comparaisons en deux ans. Le Groupe de travail estime qu'il y a intérêt à proposer ces comparaisons internationales à tous les laboratoires qui désirent y participer, pourvu que, parmi ceux-ci, il y ait quelques-uns des laboratoires les plus expérimentés.

5. *Questions diverses.*

Le Groupe de travail ne désire pas recommander au Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes un élargissement de sa composition. Aucun des membres présents ne désire être relevé de ses fonctions.

Au cours de cette réunion plusieurs rapports très intéressants ont été distribués aux participants. L'utilité de ces rapports aurait été augmentée encore si les spécialistes du Groupe de travail avaient pu les étudier avant d'arriver à Sèvres. On insiste pour que les rapports parviennent aux membres avant leur départ pour la réunion.

Au cours de la réunion les membres ont visité les nouveaux laboratoires du Bureau International en cours de construction et ont constaté avec satisfaction les progrès des travaux.

MESURES NEUTRONIQUES

Le Groupe de travail s'est réuni à Sèvres les 30 juin et 1^{er} juillet 1964.

Étaient présents : MM. K. W. GEIGER (N.R.C.), président, E. J. AXTON (N.P.L.), R. S. CASWELL (N.B.S.), G. VON DROSTE (P.T.B.), F. NETTER (C.E.N.S.).

Assistaient à la réunion : MM. J. TERRIEN, A. ALLISY, V. NAGGIAR, A. RYTZ (Bureau International); Mlle GUÉGAN, secrétaire.

Mme I. A. JARITZINA (I.M.M.), souffrante, s'était excusée.

Introduction du Président. — La circulation de la source Ra-Be(α , n) du N.R.C. est terminée; Mr NAGGIAR a rassemblé et normalisé les résultats, afin que toutes les constantes et toutes les corrections soient utilisées de la même manière. L'examen de ces constantes et corrections sera la principale tâche de cette réunion. Il faudra ensuite voir s'il y a dans les mesures neutroniques d'autres champs d'activité d'une importance suffisante pour retenir l'attention du B.I.P.M. et du Groupe de travail. Celui-ci voit la tâche du laboratoire du B.I.P.M. de la façon suivante : conservation des étalons, organisation des comparaisons quand le besoin réel s'en fait sentir, développement d'un programme de recherche indépendant du Groupe de travail. La tâche du Groupe de travail serait d'unifier les mesures, ce qui consiste avant tout à analyser soigneusement dans chaque série de comparaisons les corrections introduites. Cette analyse doit conduire à des recommandations particulières pour éviter des erreurs et améliorer les mesures.

Rapport d'activité présenté par V. Naggiar. — Le rapport préliminaire sur la comparaison internationale du taux d'émission de la source N.R.C. et sur l'état actuel de la mesure au B.I.P.M. d'une source Ra-Be (α , n) devant servir d'étalon international, contient l'essentiel de l'activité du groupe de mesures neutroniques du Bureau International. Il faut y ajouter la préparation de la mesure de la deuxième source étalon du B.I.P.M. qui est une source Ra-Be (γ , n), et quelques expériences de diffusion de protons de 60 à 150 keV sur des cibles d'or pour étudier le fonctionnement de l'accélérateur d'ions positifs qui servira de générateur de neutrons après son installation dans le nouveau laboratoire.

1. *Mesure de sources.*

Comme il est apparu que la méthode du bain de manganèse donne la plus grande exactitude dans l'étalonnage absolu, et comme tous les laboratoires qui ont participé à cette comparaison l'ont pratiquée, on a préféré limiter la discussion essentiellement à cette méthode. Les problèmes à examiner étant assez complexes, il avait été demandé aux membres du Groupe de se documenter plus particulièrement sur un sujet déterminé à l'avance. Les rapports des membres sont utilisés comme base de cette discussion. Ces rapports manuscrits contiennent les valeurs les plus récentes, tirées de la littérature, nécessaires au calcul du taux d'émission d'une source. Des copies de ces rapports sont conservées dans les dossiers du B.I.P.M.

1. Mr CASWELL examine les sections efficaces dont les plus importantes sont les sections efficaces de capture du manganèse et de l'hydrogène en neutrons thermiques. Seul le rapport $\sigma_{\text{H}}/\sigma_{\text{Mn}}$ est nécessaire à la mesure et peut être mieux connu que le rapport calculé à partir de chacune des deux

sections efficaces. Cependant il n'existe pas de mesure de ce rapport en dehors de celle de WUNDERER et de celle d'AXTON à l'occasion de l'éta-
lonnage de sources. D'après les dernières données sur les sections efficaces
(Brookhaven Nat. Lab., Report 325, 1958), on a

$$\sigma_H/\sigma_{Mn} = \frac{0,332}{13,2} = 0,025\ 15 \pm 1\ \%$$

C'est la valeur qui est utilisée par la plupart des laboratoires.
AXTON obtient

$$\sigma_H/\sigma_{Mn} = 0,024\ 98 \left\{ \begin{array}{l} \pm 0,3\ \% \text{ erreur statistique} \\ \pm 0,3\ \% \text{ erreur systématique.} \end{array} \right.$$

D'autres mesures directes seraient nécessaires.

La capture des neutrons rapides par l'oxygène est également un facteur important dans les corrections. Le Groupe estime que les mesures effectuées jusqu'ici pour déterminer cette correction sont incertaines. Il vaut mieux effectuer le calcul du taux de capture des neutrons rapides dans la solution. Le N.B.S. a l'intention d'utiliser une méthode de Monte Carlo pour ce calcul; au Laboratoire d'Aldermaston des calculs utilisant l'équation de diffusion sont en cours. McTAGGART (*Reactor Science and Technology*, **14**, 1961, p. 212), a fait le point sur ce sujet. Au N.P.L. une détermination expérimentale de cette correction est en cours, utilisant trois milieux différents de ralentissement: sulfate de manganèse, nitrate d'indium et un composé organique d'indium ne contenant pas d'oxygène. On espère que la détermination de la correction contribuera pour $\pm 0,3\ \%$ sur le taux d'émission de la source.

2. Mr AXTON examine la capture des neutrons dans la source et dans la deuxième enveloppe pour protéger la source du bain de manganèse. Pour cette deuxième enveloppe, les mesures effectuées au B.I.P.M. ont montré que le téflon doit être écarté à cause de l'absorption importante qui serait due à la réaction $^{19}\text{F}(n, \alpha)$. Le polyéthylène convient et ce matériau est utilisé au N.R.C. sous forme de sachets pesant seulement 0,6 g. Une cavité autour de la source réduit le flux thermique et par suite les corrections; cependant elle introduit une absorption supplémentaire et réduit les dimensions du bain. Mais souvent la composition de la cavité est mieux connue que celle de la source et son emploi est alors justifié. Les mesures effectuées à la P.T.B. et dans d'autres laboratoires ont montré que le spectre au centre est riche en neutrons de résonance, mais cela ne peut nécessiter qu'une faible correction. Quoique la correction de capture des neutrons par la source soit difficile à évaluer, il est heureux que celle-ci soit en général faible.

3. Mr VON DROSTE examine la perte de neutrons hors de la solution. La distribution des neutrons est en $(1/r^2) \exp(-r/l)$. Les mesures tendent à sous-estimer l ; Mr VON DROSTE recommande de prendre $l = 9,6$ ou $9,7$ cm. Il faut considérer qu'il y a non seulement perte de neutrons rapides mais aussi perte de neutrons thermiques. Pour réduire la perte de neutrons thermiques on suggère d'entourer la cuve contenant la solution par une cuve contenant de l'eau. Le Groupe estime que les mesures de perte de neutrons avec un long compteur sont incertaines du fait de la géométrie et en raison de la méconnaissance du spectre de neutrons sur les parois.

Il serait préférable d'utiliser un bain de grandes dimensions pour lequel la perte serait très réduite.

4. Mr GEIGER examine la capture des neutrons de résonance du manganèse. Ici encore il apparaît que la correction est mieux calculée que mesurée. L'erreur dans le calcul est due en majeure partie à l'incertitude sur la probabilité pour le neutron d'échapper à la résonance. Il est possible que la nouvelle valeur de l'intégrale de résonance de $8,0 \pm 0,5$ barns, contribution en $1/\nu$ déduite (Macklin, cité par Coté, *Phys. Rev.*, **134**, 1964, B 1047), remplacera la valeur $7,8 \pm 0,8$ barns adoptée par WESTCOTT *et al.* Il semble également qu'il faut tenir compte de l'effet d'écran dans l'absorption à la résonance.

5. Le Groupe considère que, quelle que soit la méthode, la précision de la mesure relative de l'activité de la solution de ^{56}Mn et de la mesure absolue de cette activité est suffisante. D'après les mesures de comparaison des sources solides de ^{60}Co entre laboratoires on admet que l'erreur systématique sur le taux de désintégration du ^{56}Mn est de $\pm 0,2$ %.

6. La mesure du rapport de concentration H/Mn peut présenter des difficultés. Le N.R.C. a trouvé que la solution contenait du $(\text{NH}_3)_2\text{SO}_4$, de sorte que la détermination de la concentration d'après la densité de la solution est entachée d'erreur et la pesée de MnSO_4 après évaporation de l'eau est douteuse du fait de la formation possible de sels complexes. Une analyse chimique quantitative est nécessaire. Le N.P.L. procède comme suit : après une première pesée de la solution, celle-ci est maintenue à 100 °C pendant 24 heures et on admet que le sel est alors sous forme de $\text{SO}_4\text{Mn}, 1 \text{ H}_2\text{O}$; on effectue une deuxième pesée puis le sel est maintenu à 300 °C pendant 48 heures; on admet que le sel est alors complètement anhydre et on effectue une troisième pesée. Ces trois pesées déterminent deux mesures de concentration dont l'accord est une indication de pureté du composé.

Il ne semble pas que la valeur de la période du ^{56}Mn soit contestée. Toutes les mesures s'accordent avec $T = 2,580 \pm 0,002$ h.

Conclusion. — Le tableau I présente les erreurs estimées pour les différents facteurs intervenant dans la mesure d'une source Ra-Be (α, n) par la méthode du bain de manganèse.

TABLEAU I

	Erreur	Erreur sur la mesure*	Observations
Sections efficaces	± 1 %	$\pm 0,5$ %	
Capture de neutrons rapides		$\pm 0,5$	AXTON espère $\pm 0,3$ %
Absorption dans la source		$\pm 0,1$	dépend de la source
Pertes de neutrons		$\pm 0,3$	pour une sphère de 1 m de diamètre
Capture par les résonances	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	
Tous les comptages		$\pm 0,4$	} $\pm 0,2$ % écart-type } $\pm 0,3$ % erreur systématique
Concentration H/Mn	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	

* Pour des solutions de MnSO_4 voisines de la saturation.

On constate que durant ces dernières années seules les erreurs de comptage ont pu être réduites. Les valeurs des constantes utilisées dans le calcul du taux d'émission sont encore sujettes à modification. On a considéré peu sage d'adopter des valeurs fixes actuellement puisqu'il est facile de recalculer le taux d'émission avec d'autres constantes. C'est ce qui a été effectué dans le rapport de Mr NAGGIAR, où les mêmes constantes sont utilisées pour permettre la comparaison des résultats.

7. Toutes les autres méthodes de mesure du taux d'émission de source sont moins précises. Les méthodes de particule associée semblent encourageantes et ne dépendent pas de la connaissance des sections efficaces. Le rapport envoyé par Mme JARITZINA a été discuté. Le problème essentiel semble être la détermination de l'efficacité relative du détecteur dans l'empilement de graphite pour une source T (d, n) et la source à mesurer. Des informations supplémentaires sur les détecteurs alpha et neutron seraient utiles. On espère obtenir ces renseignements par correspondance.

Les avantages d'autres méthodes de particule associée sont discutés. Il est cité ^{51}V (p, n) ^{51}Cr ; ^7Li (p, n) ^7Be au N.P.L.; ^{19}F (α , n) ^{22}Na et ^{10}B (α , n) ^{13}N au N.R.C.; D (γ , n) H à Oxford; il ne semble pas que des progrès aient été réalisés dans la méthode d'analyse quantitative de ^9Be (γ , n) 2 ^4He .

La mesure par intégration de la densité de neutrons dans tout le volume d'une cuve à eau n'est pas aussi précise que la mesure par la méthode du bain de manganèse et nécessite la connaissance des sections efficaces. Elle est cependant intéressante car elle donne la distribution des neutrons dans le milieu modérateur.

2. Comparaison des mesures avec la source N.R.C.

1. Si les sources à comparer sont du même type, il est avantageux d'utiliser une petite cuve. Si les sources sont de types différents, la comparaison par une méthode de ralentissement est préférable à la comparaison des sources dans l'air avec un long compteur. La comparaison des sources de Pu-Be (α , n) par la méthode de ralentissement présente des difficultés dues aux corrections d'absorption dans la source. Il faut citer également la méthode de comparaison dans un empilement de graphite. Au N.P.L. une solution organique d'indium permet d'effectuer des mesures plus rapides du fait que la période de l'indium est plus courte que celle du manganèse; l'absence d'oxygène et de soufre facilite les corrections de capture de neutrons rapides. La solution est constituée de In (CH_3 (CH_2) $_6$ CO) $_3$ dans $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$.

2. Le rapport sur la comparaison des mesures est examiné par le Groupe; Mr NAGGIAR pourra le modifier, plus particulièrement à la suite des discussions exposées dans le paragraphe 1. Un seul point peut être mentionné ici: le taux de croissance de la source de neutrons Ra-Be (α , n) se détermine d'après la période du ^{210}Pb (Ra D). Cette période est mal connue et pourrait être de 23 ans; cependant on adopte la valeur $19,4 \pm 0,35$ ans, l'erreur introduite étant négligeable.

Conclusion. — Les résultats de la comparaison sont présentés dans le tableau II. Il est agréable de constater que les résultats sont moins dispersés quand on effectue les corrections d'après un même mode de calcul. L'écart par rapport à la moyenne est de ± 1 %, bien inférieur aux erreurs estimées

par chaque laboratoire. Cependant cet écart de $\pm 1 \%$ ainsi obtenu est dû surtout aux erreurs de mesure d'activité dans chaque laboratoire. L'erreur dans la détermination de la correction est grande et il est clair qu'un effort doit être effectué dans ce domaine plutôt que de poursuivre des comparaisons de mesures entre laboratoires.

TABLEAU II

Laboratoires	Résultats communiqués rapportés à un même		Facteur de normalisation des corrections	Résultats à comparer
	$\sigma_n/\sigma_{Mn} = \frac{0,332}{13,2} = 0,025$	15		
	et à janvier 1962 (10^6 n/s)			
E.T.L., Tokyo	$3,32_2 \pm 3,1 \%$		0,981	$3,25_9$
I.K.O., Amsterdam..	$3,16_0 \pm 4 \%$		1,006 5	$3,18_1$
I.M.M., Leningrad ..	$3,24_5 \pm 1,5 \%$		—	$3,24_5$
C.E.N.S., Saclay	$3,27_8 \pm 1,5 \%$		0,995	$3,26_2$
N.R.C., Ottawa	$3,26_0 \pm 1,6 \%$		0,994	$3,24_0$
S.R.E., Rehovoth ..	$3,22_7 \pm 1,7 \%$		0,989	$3,19_2$
N.P.L., Teddington..	$3,19_2 \pm 1 \%$		1	$3,19_2$
B.I.P.M., Sèvres	$3,19_9 \pm 1 \%$		1	$3,19_9$

3. Flux de neutrons thermiques.

La demande de mesures de flux de neutrons thermiques est particulièrement importante au N.B.S., à la P.T.B. et au N.P.L., et les laboratoires désirent des comparaisons internationales. Il y a également une demande à ce sujet de la Commission à l'Énergie Atomique d'Israël. Par ailleurs, certains laboratoires considèrent que l'empilement étalon de flux thermiques est plus fondamental qu'une source étalon de neutrons car le spectre γ est mieux défini.

En conclusion, MM. Axton et Caswell vont élaborer, dans les six mois à venir, un projet de comparaison internationale de mesures de flux de neutrons thermiques. Ce projet sera soumis au Groupe de travail pour étude.

4. Autres domaines.

Il n'est pas envisagé actuellement de comparaison de mesures de flux de neutrons rapides. La mesure de la source Ra-Be (γ, n) du B.I.P.M. va commencer et une comparaison de cette mesure avec celles du N.P.L. et du N.B.S. est envisagée par l'expédition au B.I.P.M. de sources (γ, n) de ces deux laboratoires.

5. Relations avec d'autres organismes.

Grâce au voisinage du Centre Européen de Compilation de données neutroniques installé à Saclay, le B.I.P.M. peut avoir communication rapide des résultats les plus récents sur les sections efficaces importantes. En premier lieu viennent les mesures de sections efficaces de capture thermique de H, Mn, Au, et les sections efficaces intégrales de résonance de Mn et Au, et plus directement la mesure du rapport σ_{Mn}/σ_{Au} .

6. *Composition du Groupe de travail.*

Il n'y a pas de changement majeur à suggérer. Le Groupe mentionne seulement le nom d'autres spécialistes :

Mr L. Medveczky, Institut de Recherches Nucléaires, Debrecen, Hongrie, pour sa compétence en spectrométrie neutronique;

Mr E. Teranishi, Electrotechnical Laboratory, Tokyo, pour sa compétence dans la mesure des sources;

MM. G. P. Felcher, E. Germagnoli, M. Musci, Laboratori C.I.S.E., Istituto di Fisica del Politecnico, Milano, également pour leur compétence dans la mesure des sources.

Aucun membre du Groupe ne connaissant personnellement ces physiciens, une correspondance et d'éventuelles rencontres à des congrès sont envisagées. Il est remarqué que l'on peut inviter de tels spécialistes à une réunion du Groupe où seraient discutés les problèmes de leur compétence, sans qu'ils en soient membres.

7. *Fréquence des réunions du Groupe.*

Il vaut mieux convenir de se réunir quand le besoin réel s'en fait sentir, ce dont la section des radiations ionisantes du B.I.P.M. sera en mesure de se rendre compte. La réunion peut se tenir à l'occasion d'un congrès en Europe, ce qui facilite les déplacements. Le Bureau International est également intéressé par ces réunions, car il bénéficie de la contribution apportée par chaque membre du Groupe.

8. *Divers.*

Les membres du Groupe de travail ont effectué une visite des nouveaux bâtiments de la section des radiations et plus particulièrement du laboratoire des mesures neutroniques.

MM. Axton, Von Dröste, Caswell et Geiger ont présenté des rapports sur les travaux scientifiques en cours dans leurs laboratoires.

ANNEXE 2

ANALYSE DES RÉSULTATS DE LA COMPARAISON INTERNATIONALE DU SOUFRE ^{35}S

(Juin 1962)

Par J. C. ROY et A. RYTZ

Bureau International des Poids et Mesures

Abstract. — The specific activity of a ^{35}S solution has been measured by 15 laboratories using 6 different methods. The 20 results obtained show a considerable spread and are evidence of the presence of important systematic errors. The different methods are discussed separately and various sources of errors are analyzed. Different techniques of special treatment of supports and sources are examined in detail. A calculation of the most probable value of the specific activity is not possible without rejecting more or less arbitrarily some of the results. Further measurements are needed before definite conclusions about the standardization of this low-energy pure β -emitter are possible.

I INTRODUCTION

Quinze laboratoires (tableau I) ont participé à la comparaison internationale du ^{35}S en juin 1962. Les échantillons ont été distribués par le Laboratoire de Mesure des Radioéléments du Centre d'Études Nucléaires de Saclay, France, pour le compte du Bureau International des Poids et Mesures.

Un rapport préliminaire, contenant les résultats soumis à la date du 1^{er} septembre 1962, a déjà été adressé aux laboratoires. En décembre 1962, le Bureau International demandait à chaque participant de bien vouloir remplir un formulaire spécial destiné à compléter les informations déjà reçues sur les résultats de la comparaison. Une première analyse des résultats et des renseignements obtenus ultérieurement a été effectuée en novembre 1963 par J. C. Roy et soumise aux laboratoires participants. Cette analyse a été discutée par le Groupe de travail pour la mesure des radionucléides en avril 1964. Elle a soulevé une série de critiques suivies d'échanges de vues fort intéressants. Nous avons essayé de tenir compte des différents

points de vue en modifiant certaines parties de cette analyse et en éliminant les erreurs signalées par plusieurs laboratoires. Le présent rapport remplace donc la version diffusée en novembre 1963. Vingt résultats y seront discutés puisque le B.C.M.N. et l'I.A.R. ont respectivement effectué des mesures par quatre et trois méthodes différentes; les treize autres laboratoires n'ont utilisé qu'une seule méthode. La répartition des résultats représentés graphiquement à la figure 1 (p. 47) est la suivante :

- A. 5 par la méthode du traceur en utilisant un compteur 4π ;
 - B. 9 par la méthode du compteur 4π ;
 - C. 3 par la méthode du liquide scintillant (LS);
 - D. autres méthodes :
 - 1. 1 par comptage interne du soufre à l'état de composé gazeux;
 - 2. 1 par estimation théorique de l'auto-absorption à l'aide d'un traceur;
 - 3. 1 par la méthode du traceur, en utilisant un liquide scintillant pour mesurer l'activité bêta.
- L'analyse des résultats se fera dans cet ordre.

TABLEAU I

Liste des laboratoires ayant participé à la comparaison.

1 AECL	Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, Canada.
2 BCMN	Bureau Central de Mesures Nucléaires (Euratom), Geel, Belgique.
3 CENS	Centre d'Études Nucléaires de Saclay, Gif-sur-Yvette, France.
4 CNAM	Conservatoire National des Arts et Métiers (Laboratoire National d'Essais), Paris, France.
5 ETL	Electrotechnical Laboratory, Tokyo, Japon.
6 IAR	Institut für Angewandte Radioaktivität, Leipzig, Allemagne.
7 IKO	Institut voor Kernfysisch Onderzoek, Amsterdam, Pays-Bas.
8 IPA	Institut de Physique Atomique, Bucarest, Roumanie.
9 ISN	Institut de Sciences Nucléaires Boris Kidrich, Belgrade, Yougoslavie.
10 NBS	National Bureau of Standards, Washington, États-Unis d'Amérique.
11 NPL	National Physical Laboratory, Teddington, Grande-Bretagne.
12 NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud.
13 NRC	Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada.
14 PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Allemagne.
15 UVVVR	Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioisotopů, Prague, Tchécoslovaquie.

II ANALYSE DES RÉSULTATS

A. Méthode du traceur.

Les méthodes et les techniques utilisées par les cinq laboratoires ayant effectué les mesures par la méthode du traceur sont décrites en détail au tableau II. Tous ont utilisé du ^{60}Co comme traceur et du CoSO_4 comme entraîneur en quantités suffisantes pour favoriser l'échange chimique entre le soufre inactif et le ^{35}S qui était lui-même sous forme d'ion sulfate en concentration inférieure à $1 \mu\text{g/ml}$ de la solution originale. Ces cinq laboratoires ont donc rempli les conditions essentielles pour obtenir en principe de bons résultats avec la méthode décrite par *Campion et al* [1] :

1. utilisation d'un traceur adéquat; en effet *Merritt et al* [2] ont montré que le ^{60}Co est un bon traceur pour le ^{35}S ;
2. incorporation des deux activités dans un même composé chimique.

TABLEAU II

MÉTHODE DU TRACEUR, RÉSULTATS, MÉTHODES ET TECHNIQUES DE PRÉPARATION DES SOURCES

Laboratoire	A E C L	E T L	I A R	N P L	N R C
Traceur	^{60}Co $\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	^{60}Co CoCl_2	^{60}Co $\text{CoSO}_4 + \text{CoCO}_3$	^{60}Co CoSO_4	^{60}Co CoSO_4
Solution I	$150 \mu\text{g/g}$ de solution $51,7 \mu\text{Ci/g}$ de solution	$200 \mu\text{g/g}$ de HCl $0,1 \text{ N}$ $5,71 \times 10^4 \text{ dps/g}$ de solution	$3,28 \mu\text{Ci/g}$	$50 \mu\text{g/g}$ de HCl 1 N $100 \mu\text{Ci/g}$ de solution Cette solution fut diluée à 1:24 et 1:12 avec la solution A	$10 \mu\text{g/g}$ de HCl $0,5 \text{ N}$ $168,077 \pm 0,622 \text{ dps/mg}$ de solution
Entraîneurs	A: $(30 \mu\text{g CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ + $1 \mu\text{g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ par g de HCl $0,1 \text{ N}$ B: autres solutions ayant des concentrations jusqu'à 1 mg de $\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ par goutte de solution	A : CoSO_4 $0,2 \text{ mg/g}$ de solution B : CoSO_4 $1,0 \text{ mg/g}$ de solution		A: CoSO_4 $50 \mu\text{g/g}$ HCl 1 N B : " $500 \mu\text{g/g}$ " C : " $1500 \mu\text{g/g}$ " D : " $5000 \mu\text{g/g}$ "	CoSO_4
Ampoules utilisées (n°)	1 et 2	7	17 et 18	27 et 28	15 et 16
Préparation de la solution contenant le traceur et le ^{35}S	Des aliquotes de la solution I de l'entraîneur A et de la solution provenant de l'ampoule 1 ou 2 sont ajoutées et pesées tour à tour dans un flacon qui a été pesé.	La solution provenant de l'ampoule 7 est d'abord diluée avec HCl . Des aliquotes de cette solution, de la solution I et de $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ sont ensuite mélangées pour donner la solution II.	La solution provenant de l'ampoule 17 ou 18 a été mélangée à la solution I.	$250 \mu\text{g}$ de CoSO_4 à l'état cristallin sont d'abord ajoutés à chacune des ampoules 27 et 28 (pour prévenir, selon NPL, l'adsorption du ^{35}S sur les parois). Ensuite ces solu- tions ont été diluées à 1:5 et 1:2 respectivement avec la solution A. Des volumes égaux des sol. I et II sont mélangés; dil. 1:24 avec dil. 1:5 dil. 1:12 avec dil. 1:2.	Des aliquotes de la solution I et de la solution provenant de l'ampoule 15 ou 16 et de HCl $0,5 \text{ N}$ sont ajoutées et pesées tour à tour dans un flacon volumétrique.
Facteur de dilution du ^{35}S pour une ampoule donnée	n° 1 8,963 n° 2 10,064	n° 7 15,17	n° 17 ≈ 6	n° 27 ≈ 10 n° 28 ≈ 4	n° 15 7,2495 n° 16 9,0217
Composition chimique de la solution II contenant le traceur et ^{35}S	$(33 \mu\text{g CoSO}_4$ + $1 \mu\text{g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ par g de HCl $0,1 \text{ N}$	$8 \mu\text{g CoSO}_4$ par g de HCl $0,1 \text{ N}$		$50 \mu\text{g CoSO}_4$ par g de HCl 1 N	$1,5 \mu\text{g CoSO}_4$ par g de HCl $0,5 \text{ N}$
Support	VYNS $5 \mu\text{g/cm}^2$ Au $\approx 15 \mu\text{g/cm}^2$	VYNS + Au : $25 \mu\text{g/cm}^2$	VYNS + Au : $10 \mu\text{g/cm}^2$	VYNS $10 \mu\text{g/cm}^2$ Au $10 \mu\text{g/cm}^2$	VYNS $5 \mu\text{g/cm}^2$ Au sur les 2 côtés $\approx 20 \mu\text{g/cm}^2$

TABLEAU II (suite)

Laboratoire	A E C L	E T L	I A R	N P L	N R C
Préparation des sources	20 sources Une goutte d'une des solutions d'entraîneurs est d'abord déposée sur un support de VYNS traité à l'insuline. Ensuite une aliquote de la solution II est déposée dans cette goutte. Deux sources furent préparées en utilisant seulement la solution II. Séchage à l'infra-rouge. Sandwich.	6 sources Une aliquote de la solution II fut déposée sur un film de VYNS; 2 gouttes de Ludox furent ajoutées à chaque source. Pour les sources 3 et 4, addition d'une goutte de solution A. Pour les sources 5 et 6, addition d'une goutte de solution B.	12 sources L'aliquote est déposée sur un support pesé; on corrige pour l'évaporation. Addition d'alcool polyvynilique (PVA). Séchage à l'infra-rouge. 4 séries de sources ont été préparées.	20 sources pour chaque ampoule Environ 20 mg de la solution II furent déposés sur le côté doré d'un film de VYNS. Un agent mouillant est ajouté à chaque source. Sources: 1-5 : 20 mg sol. II 6-10 : 20 mg sol. II + 20 mg sol. B 11-15 : 20 mg sol. II + 20 mg sol. C 16-20 : 20 mg sol. II + 20 mg sol. D	20 sources 10 sources furent préparées à partir de la solution II et leur activité mesurée. Ensuite $\approx 100 \mu\text{g}$ de CoSO_4 furent ajoutés à chacune d'entre elles. Pour favoriser la redissolution et le mélange, les sources étaient placées sur une plaque tournante. Un agent mouillant fut ajouté (Catalnac).
Domaine de E_β pour chaque dilution ou ampoule Valeur moyenne de E_β pour une quantité d'entraîneur donnée	n° 1 : 0,673-0,958 n° 2 : 0,693-0,930 0,95 sans entraîneur 0,83 pour 100 μg d'entraîneur	source 1 : 92,1 2 : 90,7 3 : 88,7 4 : 83,1 5 : 82,5 6 : 77,6	série 1 : 0,88 2 : 0,86 3 : 0,85 4 : 0,83	n° 27 : 0,78-0,94 n° 28 : 0,81-0,92 sources: n° 27 n° 28 1-5 : 0,91 0,91 6-10 : 0,88 0,88 11-15 : 0,86 0,87 16-20 : 0,82 0,83	n° 15 série 1: 0,85-0,95 série 2: 0,78-0,81 n° 16 série 1: 0,92-0,94 série 2: 0,66-0,84 n° 15 série 1: 0,93 série 2: 0,79 n° 16 série 1: 0,93 série 2: 0,76
Pente $\frac{N^1 - N^2}{N^1}$ 355 $\frac{E_\beta^1 - E_\beta^2}{E_\beta^1}$ trace.	1,729	1,763		1,59	1,8
Activité moyenne 22.6.62 14 h 00 T.U. microcuries/g de la solution originale	14,42	14,87	15,1	13,94	14,70
Écart-type (standard deviation) de l'intersection*	0,2%	0,8%	1,0%	1,2%	0,52%
Erreur totale calculée dans la ligne m du tableau III	1,6	2,9	3,5	2,9	1,6
Erreur totale indiqués par chaque laboratoire	1,5	3,0	5,0	3,0	1,5

* Cet écart-type a été déterminé par la plupart des laboratoires par la méthode des moindres carrés.

Considérons maintenant en détail certaines techniques qui ont pu avoir une influence sur la précision des résultats. Notons d'abord que le N.P.L. a ajouté 240 μg de CoSO_4 à chacune des ampoules pour prévenir, selon les commentaires du laboratoire, l'adsorption du ^{35}S sur les parois. Si l'adsorption avait été importante et si ce traitement l'avait éliminée, le N.P.L. aurait dû obtenir une activité plus élevée que la moyenne de ce groupe; or il a obtenu la plus faible valeur. Ce traitement semble donc avoir été superflu et il a même pu être la cause de complications.

Pour améliorer la précision du résultat obtenu par la méthode du traceur, il est recommandable de préparer plusieurs sources couvrant un domaine assez étendu d'efficacité bêta. Il est certain que la précision des résultats

de l'E.T.L. et de l'I.A.R. a été de beaucoup diminuée parce que le premier n'a utilisé que six sources et que le second n'a fait varier l'efficacité bêta des sources que de 0,8 à 0,9.

Il est évident que l'accord entre les résultats de ces cinq laboratoires ne peut être meilleur que celui obtenu pour l'étalonnage du ^{60}Co , puisque l'utilisation d'un traceur avec période longue requiert la connaissance exacte de son taux de comptage. Il est donc intéressant d'examiner dans le tableau IX (p. 46) la dispersion des résultats pour cette comparaison et pour celle du ^{60}Co qui ont eu lieu en janvier 1962 [3] et au début de l'année 1963 (soit avant et après les mesures du ^{35}S). On remarque que l'I.A.R. a obtenu pour les deux comparaisons de ^{60}Co des valeurs d'activité sensiblement plus élevées que les autres laboratoires; ce qui donne lieu à une dispersion et un écart-type assez considérables, spécialement pour les résultats de la comparaison de janvier 1962. Toutefois, si l'on fait abstraction de cette valeur, l'accord entre les quatre autres laboratoires s'améliore et devient même excellent pour la comparaison de 1963. On peut donc conclure que pour ces quatre laboratoires l'étalonnage du traceur, en l'occurrence le ^{60}Co , a peu contribué à la dispersion des résultats obtenus pour la comparaison du ^{35}S .

La tendance de l'I.A.R. à obtenir une valeur élevée pour le ^{60}Co devrait normalement se traduire par une valeur faible pour le ^{35}S , puisque l'activité de l'émetteur bêta pur est obtenue par soustraction de l'activité du traceur. Au contraire, l'I.A.R. a obtenu la valeur la plus élevée du groupe. Il faut probablement en conclure :

1. qu'une forte erreur doit être associée au résultat de ce laboratoire (en fait une erreur totale de 5 % a été signalée);

2. que l'obtention de résultats systématiquement élevés est probablement due dans les trois comparaisons à une même opération qui introduit une erreur systématique.

L'A.E.C.L. et le N.R.C. ont à la fois utilisé un mode opératoire et appliqué la méthode du traceur de façon à obtenir les résultats avec toute la précision dont est capable la méthode. Ceci est illustré par l'écart-type de l'intersection qui est respectivement de 0,2 et 0,52 %, et l'erreur totale qui est de 1,5 %. Ces erreurs, données aux tableaux II et III, sont beaucoup plus élevées pour les autres laboratoires.

Au moyen du tableau III, où se trouvent consignées les erreurs attribuées aux résultats individuels, essayons de déterminer la précision maximale dont est capable la méthode du traceur. Les corrections décrites de (a) à (d) introduisent des erreurs négligeables; elles sont d'ailleurs comprises dans l'erreur totale (e) associée à la détermination de l'activité du traceur, dont il faut tenir compte et qui est pour le ^{60}Co , selon la plupart des laboratoires qui ont pris part à la récente comparaison de la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$ (CP) à l'aide de ce radionucléide (1963), d'environ 0,2 %. La partie II du tableau IX (p. 46) confirme cette valeur pour les quatre laboratoires mentionnés.

L'écart-type du taux de comptage (f) est donné par l'expression $\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$, où σ_1 et σ_2 représentent respectivement les écarts-types du taux de comptage du traceur et du taux de comptage total dans la voie bêta. Cet écart-type est, pour un choix approprié du taux et du temps de comptage, de l'ordre de 0,1 à 0,2 %. Prenons 0,2 % pour cette analyse.

TABLEAU III

MÉTHODE DU TRACEUR. CORRECTIONS (%) ET ERREURS (%) ATTRIBUÉS AUX RÉSULTATS INDIVIDUELS

Laboratoire	A E C L		E T L		I A R		N P L		N R C	
	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E
Corrections introduisant des erreurs statistiques, et erreurs statistiques										
a) décroissance	0 - 0,8		2,0		2,0 - 5,0		0,1		3,2	
b) mouvement propre β γ	0,1 0,3 - 0,6		0,2 5,0 0,3		0,3 1,0		0,05 0 - 2,0		0,02 1,5	
c) temps mort	0,7 - 1,2						0,1 - 1,0		1,0	
d) coïncidences fortuites	0,3 - 0,5		0,8				0,8 0,1		0,3	
e) erreur totale sur la détermination de l'activité du traceur			0,2				0,3			
f) fluctuations statistiques ou soustraction de l'activité du traceur de celle du ^{35}S			0,1		0,1		0,5		0,3	
g) dilution et préparation des solutions									0,5	
h) pesée					0,1				0,2	
i) erreur statistique totale $\sqrt{\sum \Delta^2}$	0,2		0,3		0,5		0,4		0,6	
Erreurs systématiques										
j) erreur correspondant à une erreur possible dans l'estimation de l'efficacité bêta du traceur	0,4									
k) extrapolation à efficacité 100% ou erreur systématique possible en supposant que l'extrapolation est linéaire	1,0						1,5		1,0	
l) erreur systématique due à la méthode			0,6		3,0		1,0			
m) erreur totale; addition des erreurs de j à m	1,6		0,9		3,5		2,9		1,6	
n) erreur totale indiquée par chaque laboratoire	1,5		3,0		5,0		3,0		1,5	

L'erreur due à la préparation des solutions (g) dépend du mode opératoire suivi pour effectuer les dilutions. Sous cette rubrique le N.R.C. a considéré qu'une erreur de 0,5 % est probable dans le cas où les solutions du traceur et du ^{35}S ne sont pas intimement mélangées. Quoique cette erreur semble élevée, nous l'acceptons comme erreur maximale possible.

La pesée (h) qui se réfère ici à la technique utilisée pour déterminer la masse d'une aliquote déposée sur le support introduit une erreur de l'ordre de 0,1 % pour des gouttes de 20 à 40 mg prélevées au moyen d'un pycnomètre et pesées par différence sur une microbalance. Les autres techniques de prélèvement peuvent introduire une erreur plus considérable. Il est bien entendu que quelle que soit la technique utilisée pour déterminer la masse de la goutte, cette dernière doit correspondre à un poids réel;

on doit tenir compte de la poussée de l'air qui conduit ici à une correction d'un peu plus de 0,1 %.

Si l'on considère que ces erreurs sont de nature statistique et si on les combine suivant la loi $\sqrt{\Sigma\Delta^2}$, l'erreur statistique totale devient 0,6 % pour le système $^{60}\text{Co}^{35}\text{SO}_4$.

En ce qui concerne les erreurs systématiques, l'A.E.C.L. a estimé qu'une erreur possible de 0,2 % dans la détermination de l'efficacité bêta du traceur conduisait à une erreur de 0,4 % sur la valeur finale de l'activité du ^{35}S (*j*). Comme la détermination de l'efficacité bêta requiert la connaissance de l'efficacité du compteur 4π pour les rayons gamma, qui est souvent mal connue, il faut tenir compte de cette erreur et la considérer comme erreur systématique due à la méthode.

L'extrapolation à efficacité 100 % (*k*) entraîne une erreur. Comme le principe de la méthode du traceur est bien établi, puisque Campion *et al* ont montré théoriquement et expérimentalement qu'il y avait une relation linéaire entre les efficacités de plusieurs paires d'émetteurs bêta lorsque leurs énergies maximales et la forme de leur spectre bêta sont comparables, cette erreur ne peut être trop considérable. Pour le système $^{60}\text{Co}^{35}\text{SO}_4$ elle est due : 1. au tracé de la droite ; 2. à la supposition que l'extrapolation est linéaire.

L'écart-type de l'intersection définit la première partie de l'erreur, tandis que la seconde partie doit être considérée comme une erreur systématique due à la méthode. L'A.E.C.L., le N.P.L. et le N.R.C., qui ont obtenu respectivement 0,2, 1,2 et 0,52 % pour l'écart-type de l'intersection, ont assigné une erreur globale de 1,0, 1,5 et 1,0 % pour l'extrapolation. 1 % apparaît donc comme la valeur minimale qu'il convient de retenir.

Il ne semble pas nécessaire, pour compléter ce tableau, de tenir compte d'erreurs systématiques autres que celles déjà décrites. Selon cette analyse, basée sur les données du tableau III, l'erreur maximale associée à l'étalement du ^{35}S par la méthode du traceur sera, d'après le système de combinaisons d'erreurs utilisées dans ce rapport, la somme des éléments suivants :

1. erreur statistique totale	$\pm 0,6$
2. efficacité du traceur	$\pm 0,4$
3. extrapolation	$\pm 1,0$
	$\pm 2,0$
erreur maximale	$\pm 2,0$

Le B.C.M.N. a obtenu une valeur de 14,10 $\mu\text{Ci/g}$ (le 22.6.1962, à 14 h 00 T. U.) par une estimation théorique de l'auto-absorption à l'aide d'un traceur qui était le ^{60}Co . La partie expérimentale de cette méthode est exactement celle du traceur décrite dans ce chapitre, mais au lieu d'extrapoler le taux de comptage du ^{35}S pour la valeur unité de l'efficacité bêta du traceur, ce taux de comptage a été extrapolé pour la valeur unité de l'efficacité bêta du ^{35}S . L'efficacité bêta du ^{35}S est calculée à partir des dimensions des cristaux dans la source. Ces dimensions sont calculées à partir de l'efficacité bêta du traceur en appliquant une formule due à Schweidler [4].

Le N.P.R.L. a effectué des mesures par la technique du traceur en utilisant la méthode du LS pour déterminer l'activité bêta du ^{35}S et du traceur. Les opérations se rapportant au LS, ainsi que les résultats des

mesures, sont présentés dans la dernière colonne du tableau VII (p. 44). Les corrections et les erreurs des résultats individuels sont données dans la dernière colonne du tableau VIII (p. 45).

Nous allons maintenant décrire la partie de la méthode qui se rapporte aux mesures d'activité. L'activité bêta d'une source contenant du ^{95}Nb comme traceur a été d'abord mesurée pour six valeurs différentes du seuil de discrimination. Ensuite le taux de comptage, N_3 , est porté sur un graphique en fonction du rapport N_c/N_γ , où N_c et N_γ représentent respectivement les taux de comptage dans les voies de coïncidences et gamma. La droite ainsi obtenue est extrapolée à $N_c/N_\gamma = 1$ pour obtenir le taux de désintégration de la source de ^{95}Nb . Une aliquote de la solution de ^{95}Nb est dissoute dans le LS contenant déjà le ^{95}Nb . On mesure l'activité du mélange et on porte de nouveau sur un graphique les valeurs de N_3 en fonction de N_c/N_γ . La droite ainsi obtenue est extrapolée à $N_c/N_\gamma = 1$ pour obtenir le taux de désintégration du mélange. Par soustraction de l'activité bêta

TABLEAU IV

COMPTEUR 47. RÉSULTATS, MÉTHODES ET TECHNIQUES DE PRÉPARATION DES SOURCES

(Le CENS a utilisé un compteur GM, les autres laboratoires des compteurs proportionnels)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports	Solutions			Résultats					Sources			
		1	2	3	1	2	3	4	5				
	1. nature 2. masse surfacique 3. traitement	1. diluant 2. facteur de dilution 3. nombre de sources	1. activité moyenne* 2. s. d. de la moyenne** 3. s. d. résultat individuel*** 4. erreur totale (colonne 1 du tableau V) 5. erreur totale indiquée par laboratoire					1. masse des gouttes 2. diamètre 3. masse surfacique 4. séchage	1. méthode utilisée pour prélever la solution et en déterminer la masse 2. traitement de la source				
BCMN	9 10	1 $\mu\text{g H}_2\text{SO}_4$ par ml de HCl 0,1 N 1 $\mu\text{g/cm}^2$ a) 0,01% sol. TEG b) 0,00001% c) 1% sol. insuline d) 0,1% 20 mg sol. placés sur support et séchés	23,564 2,921 3,695 3,530	2 2 20 3	15,14 13,88 13,87 13,83					4,2 et 3,1	3,6	1. 12-29 mg 2. 6-9,5 mm 3. 3,5-3700 $\mu\text{g/cm}^2$ 4. infra-rouge	1. dépôt par micropipette et pesée par la méthode décrite dans la note 1. 2. a) SO_4^{--} précipité avec BaCl_2 b) Ludox dilué à $1:10^4$ et à $1:10^5$ ajouté à la solution de ^{95}S déjà sur le support, puis addition de BaCl_2^{--} pour précipiter le SO_4
CENS	34 36	acétate de cellulose doré 20 $\mu\text{g/cm}^2$	24,818 24,970 24,949	20	14,00	0,3	1,3	1,2	1,6	1. 2. 3. 4.	5-10 mm infra-rouge	1. méthode gravimétrique (note 1) 2. agents mouillants: Tween et Ludox	
IAR	17 18	3 diluants contenant respectivement 0,5, 1,0 et 2,0% d'alcool polyvinyle VYNS doré sur un côté 8 $\mu\text{g/cm}^2$	47,85 49,94	9 9	14,88 14,68 14,8	0,2 0,3 0,2	0,6 0,9 0,8	3,1	4,0	1. 2. 3. 4.	\approx 20 mg 8 mm infra-rouge	1. dépôt par pipette sur le côté doré du film; pesée par méthode décrite dans note 1. 2. 3 sources par diluant et par ampoule; l'extrapolation à masse zéro d'alcool de polyvinyle a donné la correction d'auto-absorption.	
IPA		polystyrène aluminé sur les deux côtés 30 $\mu\text{g/cm}^2$ 1 goutte d'insuline diluée à 1:3 avec de l'eau fut déposée sur le support et retirée après quelques secondes	aucun	sol. mère	3	13,0	0,4	0,7	5,6	5,0	1. 2. 3. 4.	2 mg 3-4 mm 0,03 $\mu\text{g/cm}^2$ source 40 $\mu\text{g/cm}^2$ insuline air	1. \approx 2 mg de la solution radioactive sont extraits de l'ampoule avec une micropipette traitée à l'huile de silicone et ensuite déposés sur le support. Pesée par méthode décrite dans note 1.

* en microcuries par gramme de la solution originale, le 22.6.1962, à 14 h 00 T.U.

** s. d. (standard deviation)écart-type de la moyenne.

*** s. d. (standard deviation)écart-type de chaque résultat individuel.

Note 1. Le support est pesé, puis une aliquote de la solution y est déposée; le support et la solution sont ensuite pesés à des intervalles de temps réguliers. La correction pour l'évaporation est obtenue en extrapolant au temps zéro les masses trouvées en fonction du temps.

TABLEAU IV (suite)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports			Solutions			Résultats					Sources			
	1. nature	2. mass. surfacique	3. traitement	1. diluant	2. facteur de dilution	3. nombre de sources	1. activité moyenne* 2. s. d. de la moyenne** 3. s. d. résultat individuel*** 4. erreur totale (colonne j du tableau V) 5. erreur totale indiquée par laboratoire					1. masses des gouttes	1. méthode utilisée pour prélever la solution et en déterminer la masse		
				1	2	3	1	2	3	4	5	2. diamètre	2. traitement de la source		
ISN	21 22	YVNS doré sur les deux côtés 40-50 µg/cm ² 1 mg d'insuline 40 UI dilué à 1:2 fut déposé sur le support et séché	HCl 0,05 N	22,083	4	14,35	1,0	2,0				9,8	5,9	1. 30-60 mg 2. 9 mm 3. 600-800 µg/cm ² 4. air et infra-rouge	1. dépôt au moyen d'un pycnomètre en verre pesé avant et après prélèvement des gouttes. 2. a) sources séchées à l'air, puis redissoutes dans de l'eau et séchées à l'infra- rouge dans une atmosphère ammoniacale. b) sources séchées à l'infra- rouge, puis redissoutes dans de l'eau et séchées à l'infra-rouge dans une atmosphère ammoniacale.
				22,781	4	14,12	1,5	3,0							
CNAM	20	acétate de cellulose doré sur les deux côtés 50 µg/cm ² ; 1 goutte d'insuline 20 UI fut déposée sur le support puis retirée avec du papier filtre	H ₂ O	9,860	3	13,88						4,0	1. 16-46 mg 2. 11 mm 3. 60-10 mg/cm ² 4. infra-rouge	1. La solution est prélevée au moyen d'un capillaire en verre pesé avant et après prélèvement. 2. 1 g d'ammoniaque 0,1 N est ajouté à la source pour neutraliser le HCl.	
				9,852	4	14,19			2,0	5,3					
NBS	23	collodion doré 33 µg/cm ²	HCl 0,5 N	1. 25	6	14,60	0,4	1,0	0,8	0,9		0,9	1. 20-50 mg 2. 6-7 mm 3. - 4. air et infra-rouge	1. dépôt sur le support avec une microburette. 2. a) aliquotes de chacune des 5 dilutions déposées sur le côté doré du support; addition de 2 gouttes de Ludox à 1:10 ⁴ ; séchage à l'air puis à l'infra-rouge. b) 20 mg de dilution+2 gouttes H ₂ O + 2 gouttes de Ludox; séchage lent à l'infra-rouge sur plaque tournante, puis séchage rapide à l'infra- rouge.	
				H ₂ O	2. 25	c.f.									
				sol. Li ₂ SO ₄	3. 25	note									
				25 µg/ml	4.	1									
				HCl 0,5 N	4. 50	note									
HCl 0,5 N	5. 100	VI													
PTB	20	YVNS doré sur les deux côtés insuline 1:20 déposé sur le support puis retiré; résidu: ≈ 0,8 µg	HCl 1 N	5,041	15	14,67	0,3	1,2	4,8	2,1	2,1	1. 10-20 mg 2. 4-6 mm 3. 4 µg/cm ² 4. Infra-rouge	1. dépôt sur le support par la méthode décrite dans la note 1 2. aucun		
UVVVR	31 32	YVNS doré sur un côté; mg d'insuline 40 UI dilué à 1:10 déposés sur le support puis retirés; séchage sous P ₂ O ₅ dans dessiccateur	HCl 0,05 N contenant 4,5 µg/ml SO ₄ ²⁻	13,587	4	13,86	1,3	2,6		+5,0	2,3	1. 20-30 mg 2. 7-9 mm 3. 10-12 µg/cm ² 4. P ₂ O ₅ dessiccateur chauffé à l'infra-rouge	1. dépôt sur le côté métallisé avec pycnomètre en polyéthylène pesé avant et après dépôt.		
				15,504	10	14,07	0,7	2,1		-3,0					

du ⁹⁵Nb mesurée lors du premier comptage, on obtient l'activité du ³⁵S. La valeur moyenne rapportée par le N.P.R.L. est la plus élevée de toutes.

B. Compteurs 4π.

1. *Discussion générale des résultats.* — Les méthodes et techniques utilisées pour préparer les sources, et les résultats obtenus pour les mesures effectuées avec les compteurs 4π, sont exposés dans le tableau IV. Les valeurs moyennes d'activité sont représentées graphiquement au centre de la figure 1. Compte tenu de la diversité et de la nature des traitements que les différents laboratoires ont fait subir aux supports ou aux sources,

la dispersion pour huit des neuf résultats n'est pas trop mauvaise. La valeur moyenne de ce groupe de mesures se situe entre celles obtenues par les méthodes du traceur et du LS. La faible valeur de l'I.P.A. s'explique par le fait que ce laboratoire n'a pas appliqué de correction d'auto-absorption, qui devrait être d'au moins 10 % comme nous le verrons plus loin.

Le tableau V présente les corrections et les erreurs attribuées aux résultats individuels. De ces données nous ne discuterons que celles qui se rapportent à l'absorption dans le support et la source, parce que ce sont ces deux corrections qui ont indiscutablement le plus d'influence sur l'exactitude des résultats. Le tableau VI contient les renseignements permettant d'analyser ces deux points.

2. *Absorption et rétrodiffusion des électrons dans le support.* — Il semble que la déformation du spectre bêta du ³⁵S par l'auto-absorption, les caractéristiques des supports et la méthode de détermination de la correction soient trois des principaux paramètres qu'il convient d'examiner dans une

TABLEAU V
COMPTEUR 411. CORRECTIONS (%) ET ERREURS (%) ATTRIBUÉES AUX RÉSULTATS INDIVIDUELS

Laboratoire	Corrections (%)				Erreurs (%)									Erreur totale addition des erreurs de (f) à (i) (j)	Erreur totale indiquée par le laboratoire	
	décroissance	temps mort	mouvement propre	absorption film auto-	Statistiques					Systématiques						
					temps mort (a)	fluct. statist. (b)	dilution (c)	pesée (d)	autres (e)	statist. totale $\sqrt{\sum \Delta^2}$ (f)	absorption film auto- (g)	autres (h)	autres (i)			
BCM N	0 à 18,0	0,7 à 6,0	0,6	2,5 à 7,0	0,2	0,1					0,2	0,2	3,0	0,2*	3,6	max. 4,2 statist. 3,1
CENS	0 à 0,8	1,0 à 5,0	1,0	0,5 à 2,0	0,1	0,1					0,14	0,1	1,0		1,2	1,6
IAR	6,0 à 8,0		0,1			0,1					0,1		3,0		3,1	4,0
IPA	≈35,0	≈3,0	≈2,0	2,0	aucune	0,1		1,0			0,14		5,0	0,5	5,6	5,0
ISN	0 à 4,0	1,0	0,13	2,0 à 2,5	15,0 à 25,0	2,0	0,3	0,1	0,1	1,0**	2,3	1,5	5,0	1,0*	9,8	5,9
CNAM		0,6	0,25	12,4												4,0
NBS	2,0 à 6,0	0,7 à 2,2	0,2 à 0,4	4,0	1,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3		0,8	0,9
PTB	0 à 1,0	0,2 à 2,7	0,05	1,5	8,0	0,3	0,2		0,2	1,2	1,3	0,5	2,0		3,8	2,1
UVVVF	11,9	0,6 à 1,7	0,4 à 1,0	1,3	7,7	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,5	+4,5 -2,5		+ 5,0 - 3,0		2,3

* erreur due à l'efficacité du compteur

** erreur due au mouvement propre

analyse des corrections appliquées pour l'absorption des bêtas dans un support de sources.

On peut considérer que la nature du support, les épaisseurs relatives du film plastique et de l'agent conducteur, et la surface sur laquelle est effectué le dépôt (côté plastique ou conducteur) sont quelques-uns des facteurs qui agissent sur l'absorption et la rétrodiffusion des électrons. Nous ne nous intéressons évidemment qu'à la fraction des électrons du spectre du ^{35}S qui sont susceptibles de perdre la plus grande partie de leur énergie dans les supports ayant des masses surfaciques de 10 à 50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. L'énergie de ces électrons s'étale du seuil de détection du compteur (quelques paires d'ions) jusque vers 8 keV. Dans ce domaine d'énergie la rétrodiffusion est importante et augmente avec le numéro atomique du rétrodiffuseur [5]. Par exemple, les électrons rétrodiffusés, qui sont finalement comptés au lieu d'être absorbés dans le film supportant la source, ont perdu une fraction plus ou moins importante de leur énergie initiale. Si alors on place sur la

TABLEAU VI
COMPTEUR 4m. ÉPAISSEUR DES SUPPORTS ET DES SOURCES,
CORRECTION D'ABSORPTION DANS LE SUPPORT ET CORRECTION D'AUTO-ABSORPTION

Labo- rotation	Supports			Sources			Méthode de détermination de la correction
	1. nature 2. agent conducteur 3. masse surfacique totale	1. absorption 2. erreur: (%)	masse de la solution radio-actives	1. quantité de solides dans les sources 2. masse surfacique 3. diamètre	1. auto-absorption 2. erreur: (%)	1. support 2. auto-absorption	
BCMN	VYNS 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Au 30 " 40 "	2,3 $\pm 0,2$	12 b 29 mg	1. sources 0,01 à 0,03 μg ; quantités variables de l'un et/ou l'autre de ces produits ajoutées aux sources; Ludox: $\approx 0,5 \mu\text{g}$, Tétrahéthylène glycol (TEG): 0,2 à 200 μg , Insuline: 0,1 à 10 μg , B_2Cl_2 : $\approx 2-3 \mu\text{g}$ 2. 3,5 à 3700 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. 6 à 9,5 mm	6,0 à 7,0 $\pm 3,0$	1. Expérimentalement par méthode d'absorption. 2. Par addition de quantités variables d'agents mouillants ou d'entraineurs.	
CENS	acétate de cellulose 6 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Au 14 " 20 "	0,5 $\pm 0,1$		1. Tween et Ludox: quantités non mentionnées 3. 5 à 10 mm	1,0 à 2,0 $\pm 1,0$		
IAR	VYNS 2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Au 3 " 5 "		20 mg	1. 3 séries de 3 sources par ampoule; à chaque série furent ajoutés respectivement 100, 200 et 400 μg d'alcool polyvinylique 3. ≈ 8 mm	8,0 $\pm 3,0$	2. Addition de quantités variables d'alcool polyvinylique, et extrapolation à masse zéro.	
IPA	poly-styrène 20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Au 10 " 30 "	2,0 0,0	2 mg	1-2. les sources avaient une masse surfacique de 0,025 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ sur une couche d'insuline de 40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. 3 à 4 mm	aucune $\pm 5,0$	1. Courbes d'absorption publiées dans littérature. 2. Aucune correction. IPA a estimé que la limite supérieure de la correction était 5% et cette valeur a été donnée comme erreur.	
ISN	VYNS 20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Au 20 à 30 " 40 à 50 "	2,0-2,5 $\pm 1,5$	30 à 60 mg	1. Insuline: $\approx 150 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ NH_4Cl produit par neutralisation de HCl avec NH_3 : 450 à 650 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 2. 600 à 800 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. 9 mm	15,0 à 25,0 $\pm 5,0$	1. Méthode du sandwich 2. Etablissement d'une courbe d'auto-absorption pour des masses surfaciques variant de 200 à 1200 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ obtenues par addition d'insuline aux sources.	

TABLEAU VI (suite)

Labo- ratoire	Supports		Sources			Méthode de détermination de la correction	
	1. nature 2. agent conducteur 3. masse surfacique totale	1. absorption 2. erreur (%)	masse de la solution radio- active	1. quantité de solides dans les sources 2. masse surfacique 3. diamètre	1. auto-absorption 2. erreur (%)	1. support 2. auto-absorption	
CNAM	acétate de cellulose 30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$		16 à 46 mg	1. insulines: $\sim 10 \mu\text{g}$ 2. $\sim 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. 11 mm		Une valeur unique de 12,4% a été donnée pour la correction d'absorption dans le support et la correction d'auto-absorption. La méthode des deux sources en sandwich (Baptista, Metrology of Radionuclides) a été utilisée pour faire la correction d'absorption dans le support.	
	Au 20 "						
	50 "						
NBS	collodion 8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	4,0	20 à 50 mg	1. sources: $< 0,01 \mu\text{g}$; quelques unes avec 0,5 μg Li_2SO_4 ; ces dernières montraient une auto-absorption nettement supérieure aux sources sans Li_2SO_4 et par conséquent ces résultats furent rejetés; Ldsoxi: 0,5 μg 3. 6 à 12 mm	1,7 $\pm 0,3$	1. Méthode du sandwich pour toutes les sources. 2. (voir Note 1). Par l'intersection avec l'axe des X d'une droite passant par les 6 points considérés dans la moyenne, plus 4 points formant le maximum de la distribution. La valeur ainsi obtenue était de 1,7% supérieure à la moyenne arithmétique des 6 valeurs les plus élevées.	
	Au 25 "	$\pm 0,2$					
	33 "						
PTB	VVNS 15 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	1,5	10 à 20 mg	1. sources: $< 0,01 \mu\text{g}$ Insuline: $\approx 0,8 \mu\text{g}$ 2. 4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. 4 à 6 mm	8,0 $\pm 2,0$	1. Expérimentalement par la méthode d'absorption. 2. Courbes de Merritt et al (Can. J. Chem., 37, 1109, 1959)	
	Au 24 "	$\pm 0,5$					
	39 "						
UVVVR	VVNS 7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	1,3	20 à 30 mg	1. insuline: 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ SO_4 : 0,3 " 12 " 3. 7 à 9 mm	7,7 $+ 4,5$ $- 2,5$	1. Courbes d'absorption publiées dans la littérature. 2. Préparation de 2 types de sources de même activité en ajoutant 4,5 mg/l de Na_2SO_4 a) traitement à l'insuline, b) sur couche homogène de BaCO_3 . Examen des cristaux au microscope électronique. Diam. moyen des cristaux de BaSO_4 : 0,4 μm , d'auto-correction d'auto-absorption de 2%. Taux de comptage a) plus petit que celui de b) de 5,7%. Finalement, des sources sans entraîneur (supports traités à l'insuline) donnaient un taux supérieur à a) de 3,5%.	
	Au 15 "	$\pm 0,0$					
	22 "						

Note 1. Les sources préparées à partir de l'une ou l'autre des 4 dilutions (à l'exception de celle contenant le Li_2SO_4 qui n'est d'ailleurs plus considérée) ont donné des résultats qui ne semblent dépendre ni de la dilution ni du diluant. Tous les résultats ont été groupés par accroissements successifs de 2%, et la moyenne de chaque accroissement fut considérée comme un résultat individuel. La mise en graphique des moyennes en fonction de la fréquence a donné une distribution dont le maximum était fortement déplacé vers les valeurs d'activité les plus élevées (à l'inverse d'habitude). Il a été conclu qu'une telle distribution provenait d'une auto-absorption très inégale dans les sources. Il a été considéré que la moyenne arithmétique des 6 valeurs les plus élevées donnait la meilleure valeur d'activité.

source un deuxième film de même épaisseur que le support, la plupart des électrons rétrodiffusés seront absorbés en plus des électrons émis par la source dans la direction de ce deuxième film. Lorsque cette méthode, dite du sandwich, est utilisée pour estimer la perte des électrons dans le support initial, une correction trop élevée est obtenue.

Intuitivement, il semble que la rétrodiffusion qui se produit à la surface ou dans les premières couches moléculaires du support soit celle qui contribue le plus à diminuer l'absorption des électrons dans le support. Cette rétrodiffusion est peu modifiée par l'addition sous le film initial d'autres films de même nature. Il est donc possible que cette méthode (dite de l'absorption) de détermination de la perte des électrons dans le support initial conduise aussi à une correction légèrement trop élevée.

On peut croire que la perte des électrons dans des films minces est plus petite qu'on ne l'admet généralement. A cause de la rétrodiffusion

elle est difficile à déterminer expérimentalement. La meilleure solution est peut-être de diminuer le plus possible cette correction en utilisant des films très minces, ayant des masses surfaciques de 10 à 20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Il devient alors évident que l'utilisation de courbes publiées dans la littérature pour effectuer cette correction est très aléatoire.

3. *Préparation des sources et auto-absorption.* — Pour améliorer l'homogénéité des sources il faut faire subir aux supports ou aux sources des traitements qui nécessitent l'addition de matières solides; en revanche, pour diminuer l'auto-absorption des sources contenant du ^{35}S , il est absolument essentiel de réduire la quantité de solides au minimum. Pour cette comparaison, où la solution originale avait déjà une concentration très faible en sels ($< 1 \mu\text{g}/\text{g}$), la quantité de solides dépend avant tout de la nature et de l'application du procédé employé pour augmenter l'efficacité des sources. La correction d'auto-absorption, et par suite la précision des mesures, sera donc fortement influencée par le traitement appliqué aux supports ou aux sources, questions que nous allons discuter maintenant.

Six laboratoires ont préalablement traité le support avec une solution d'insuline, et l'un d'entre eux (B.C.M.N.) avec du tétraéthylène glycol (TEG). Le TEG est surtout utilisé dans la préparation des sources alpha déposées sur des supports métalliques. Sous l'influence de la chaleur le TEG se polymérise partiellement et forme une pellicule qui favorise l'évaporation uniforme de la solution. Déposé sur un support de VYNS qui ne peut pas supporter une température élevée, le TEG sera efficace dans la mesure où il se polymérise à environ 50-60 °C.

L'efficacité du traitement à l'insuline dépend beaucoup des conditions dans lesquelles il a été appliqué [6]. Rappelons que les solutions d'insuline dont nous disposons ont été le plus souvent préparées à des fins thérapeutiques et contiennent plusieurs ingrédients. Ainsi le produit qui est vendu en France sous le nom d'Endopancreine, et qui contient 20 U.I. d'insuline par ml de solution, a la composition suivante :

- 1 mg/ml d'insuline (≈ 24 U.I. = 1 mg d'insuline cristallisé),
- 2 mg/ml de phénol,
- 17,5 mg/ml de glycérine.

Pour mouiller l'aire d'un cercle de 1 cm de diamètre, il faut déposer sur la surface environ 100 mg de solution, ce qui ajouterait 300 μg de solides et 1 750 μg de glycérine en utilisant directement une solution d'insuline de 20 U.I. Pour réduire la quantité de solides il est donc essentiel de diluer cette solution, et ensuite d'en retirer une certaine quantité après qu'elle a été en contact avec le support. Les laboratoires qui ont le plus de succès dans l'application du traitement diluent une solution de 20 U.I. par un facteur 20 environ, déposent ≈ 100 mg de cette solution sur le support, la laissent en contact avec ce dernier pendant une dizaine de minutes, et en retirent une certaine quantité avec une pipette ou un papier filtre. Nous avons trouvé que cette dernière opération est facilitée par l'emploi d'un pycnomètre en polythène dont le col effilé fait office de pipette. En supposant qu'on laisse environ 20 % de la solution sur le support, il reste 3 μg de solides et 17 μg de glycérine. Dans les quelques minutes qui suivent, la solution radioactive est déposée sur la pellicule d'insuline

qu'elle recouvre entièrement. Certains laboratoires font sécher la pellicule d'insuline avant d'y déposer la solution radioactive. Il y a alors deux cas à considérer :

— l'insuline contient de la glycérine; dans ce cas il est probable que la glycérine, dont le point d'ébullition est 290 °C, ne s'évapore pas ou peu au séchage; elle forme plutôt sous l'action de la chaleur une pellicule semi-solide dans laquelle se dissout la solution radioactive;

— l'insuline ne contient pas de glycérine; le séchage conduit à un dépôt de particules solides d'insuline; il est alors probable que l'insuline ait perdu partiellement ses propriétés d'agent mouillant. En effet, l'abaissement de la tension superficielle par l'insuline ou tout autre agent mouillant est un phénomène interfacial qui requiert la présence de deux phases liquides.

Cinq des six laboratoires ayant utilisé ce procédé ont rapporté des activités moyennes relativement faibles. Le résultat de la P.T.B. a été obtenu en appliquant une correction de 8,0 %, telle qu'elle est suggérée par les travaux de Merritt *et al* [6], pour des sources ayant des masses surfaciques moyennes de 4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Une correction de 8 % apparaît comme la correction minimale à appliquer aux sources de ^{35}S préparées par ce procédé ou à l'aide d'un autre agent mouillant. Cette correction augmentera de façon variable avec l'épaisseur des sources et la précision des mesures en sera diminuée.

L'I.P.A. n'a pas fait de correction d'auto-absorption, parce qu'il a considéré que la pellicule de 40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ formée par le séchage de l'insuline servait de support au dépôt radioactif au même titre que le polystyrène aluminé. A cause des raisons évoquées au début de ce paragraphe en discutant le traitement à l'insuline, il apparaît raisonnable de considérer le résidu dû à l'insuline comme partie intégrante de la source. Une correction d'au moins 10 % s'impose pour une masse surfacique moyenne de 40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, ce qui ramènerait l'activité rapportée par l'I.P.A. à 14,4 $\mu\text{Ci}/\text{g}$, qui est voisine de la valeur moyenne du groupe (fig. 1).

D'après notre calcul le C.N.A.M. aurait ajouté environ 10 à 20 μg de solides et 50 à 100 μg de glycérine en appliquant le traitement à l'insuline (ce laboratoire a utilisé l'Endopancrine). De plus, 1 g d'une solution d'ammoniaque a été ajouté à la source pour neutraliser l'acide chlorhydrique. traitement superflu dans le cas présent et qui ne contribue qu'à augmenter le poids du résidu par la formation de NH_4Cl . Quoique la correction d'auto-absorption soit à peu près correcte pour un résidu d'insuline de 10 à 20 μg , elle ne tient pas compte de la contribution de la glycérine et du NH_4Cl .

L'U.V.V.V.R. a déterminé expérimentalement que le traitement à l'insuline et l'addition d'ions SO_4^{2-} , qui ont donné des résidus de 10 et 2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, entraînaient des corrections de 5,0 et 2,0 % respectivement. Il a toutefois reconnu qu'elles étaient des valeurs minimales puisque des erreurs de + 4,5 et - 2,5 % ont été associées aux corrections. L'activité moyenne rapportée par ce laboratoire, 14,0 $\mu\text{Ci}/\text{g}$, nous laisse à penser que la correction a été sous-estimée.

Bien que le résidu provenant de l'insuline ait largement contribué à la masse surfacique moyenne des sources préparées par l'I.S.N., c'est surtout le traitement à l'ammoniaque qui a donné naissance à des masses surfaciques moyennes de l'ordre de 600 à 800 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Pour de telles quan-

tités de solides il devient pratiquement impossible d'évaluer la correction d'auto-absorption, et toute estimation de cette dernière sera certainement accompagnée d'une très grande erreur. Une précipitation lente et homogène du Co^{++} comme $\text{Co}(\text{OH})_2$ sous l'influence du gaz NH_3 peut améliorer l'efficacité des sources contenant du ^{60}Co , mais entre l'ion sulfate contenant le ^{35}S et le gaz NH_3 il n'y a aucune réaction susceptible d'améliorer l'homogénéité de la source. Le traitement conduit souvent à la formation de sels d'ammonium augmentant ainsi la quantité de matières solides, ce qu'il faut surtout éviter dans la préparation de sources contenant du ^{35}S .

Différents procédés ont été utilisés par le B.C.M.N. Une dizaine de sources ont été préparées en déposant la solution sur des supports traités au TEG ou à l'insuline, les autres par addition de « Ludox » au dépôt radioactif; la quantité de solides ainsi ajoutée a varié d'environ 0,01 à 4 μg (1 % TEG : 2 μg , 1 % d'insuline : 4 μg). De plus, environ 0,1 μg de BaCl_2 en solution a été ajouté à la plupart des sources dans le but de précipiter l'ion sulfate sous forme de BaSO_4 . Pour que la précipitation ait lieu, il faut que le produit de la concentration des ions Ba^{++} et SO_4^{--} (exprimée en moles par litre) soit plus grand que le produit de solubilité du BaSO_4 qui est de 2×10^{-10} à 50 °C (à peu près la température obtenue par séchage à l'infrarouge). La concentration de l'ion SO_4^{--} était de 0,02 μg pour une goutte de 20 μl , et en supposant que le volume de la goutte contenant 0,1 μg de BaCl_2 soit également de 20 μl , le volume du mélange serait de 40 μl . Pour ces conditions initiales le produit des ions est de $2,2 \times 10^{-11}$, soit dix fois plus petit que le produit de solubilité du BaSO_4 . Il n'y aura donc pas précipitation; elle ne commencera que lorsque le volume du mélange aura atteint $\approx 13 \mu\text{l}$ et, même à ce point, on peut se demander jusqu'à quel degré il y aura précipitation, car une goutte de quelques microlitres étalée sur une surface d'environ 40 mm^2 présente des conditions favorables pour la cristallisation indépendante de chacune des espèces chimiques, plutôt que pour une précipitation. Il est donc peu probable que l'addition de BaCl_2 ait amélioré l'efficacité des sources; en revanche elle n'a pas augmenté de beaucoup la quantité de solides.

Le C.E.N.S. a jugé que l'auto-absorption n'était en moyenne que de 1,0 à 2,0 % pour l'ensemble des 20 sources utilisées dans le calcul de la valeur moyenne. Il n'a pas encore été prouvé de façon satisfaisante que l'usage du « Tween » et du « Ludox » améliore l'efficacité des sources contenant du ^{35}S au point que l'auto-absorption soit de cet ordre de grandeur. D'après les travaux de Le Gallic [7], le « Tween » et l'insuline sont deux agents mouillants de même valeur. Or le traitement à l'insuline appelle une correction minimale de 8 %. L'addition de « Ludox » peut améliorer davantage l'efficacité des sources et réduire la correction à 6-7 % selon les travaux de Merritt *et al* [6].

L'I.A.R. a préparé des sources à partir de dilutions contenant des quantités considérables d'alcool polyvinylique, substance polymère non-ionique, qui a été vraisemblablement utilisé comme agent mouillant. Si ce polymère forme au séchage un résidu solide, ce qui est probable, la masse surfacique moyenne des sources a varié de 200 à 800 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Pour de telles valeurs une correction d'auto-absorption de 8 % paraît suffisante. Il est possible évidemment que l'alcool polyvinylique, même

pour la quantité mise en jeu, donne des sources d'une grande efficacité. La possibilité qu'une même erreur systématique se glisse dans les mesures de l'I. A. R. a déjà été mentionnée en discutant un autre résultat par la méthode du traceur; c'est une autre explication plausible.

Le N.B.S. a préparé et mesuré l'activité de 46 sources, mais il n'a utilisé pour le calcul de la valeur moyenne que les 6 sources ayant donné les activités les plus élevées. Ce choix a été effectué après une analyse statistique de tous les résultats, qui est brièvement décrite dans le tableau VI ainsi que la méthode utilisée pour obtenir la correction d'auto-absorption de 1,7 %. Il est tout à fait concevable que sur 46 sources il y en ait quelques-unes dont l'efficacité soit très bonne, et en choisissant les meilleures on doit appliquer une correction plus faible que celle qui devrait être appliquée pour l'ensemble des sources préparées par une technique donnée. Quoique cette correction semble faible à première vue, elle apparaît justifiée par les travaux publiés antérieurement par le N.B.S. [8].

Puisque l'auto-absorption est considérable, et souvent très inégale pour une série de sources préparées par un même procédé (l'écart-type pour chaque source, tableau VI, donne une idée de cette variation), l'analyse statistique des résultats est une façon rationnelle de déceler l'importance de la correction d'auto-absorption. Une telle analyse pourrait être envisagée lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser la méthode du traceur pour résoudre les problèmes posés par l'étalonnage d'une solution de ^{35}S .

C. *Liquide scintillant.*

Les données qui ont caractérisé les mesures effectuées par la méthode du liquide scintillant sont groupées dans les tableaux VII et VIII. Cette technique a donné des valeurs moyennes d'activité qui sont systématiquement plus basses que celles obtenues par les deux autres méthodes déjà discutées. L'application de cette méthode, qui semble attrayante à première vue pour l'étalonnage d'émetteurs bêta de faible énergie, soulève en fait plusieurs problèmes qu'il convient d'examiner avant de l'utiliser de préférence à la méthode du traceur ou du compteur 4π .

Le premier problème à résoudre consiste à trouver les conditions donnant une solution homogène de deux préparations qui n'ont l'une pour l'autre aucune affinité chimique ni physique, d'un côté la substance radioactive en milieu acide, de l'autre le LS en milieu organique. L'alcool éthylique ou le dioxane sont souvent utilisés comme solvants intermédiaires pour favoriser le passage du radionucléide dans le LS. Même après avoir obtenu un mélange homogène, il faut s'assurer qu'il reste stable au cours des mesures et qu'il n'y a pas de précipitation de particules solides ou séparation des phases aqueuses et organiques. Une instabilité du mélange scintillant entraînerait une perte d'impulsions qui se traduirait finalement par une valeur moyenne d'activité trop faible.

Le second problème à résoudre consiste à connaître l'influence du milieu organique et du solvant intermédiaire sur les propriétés scintillantes du milieu organique. Les corps inorganiques peuvent diminuer l'efficacité du LS de plusieurs façons, dont voici quelques-unes :

1. en coupant le transfert d'énergie du solvant au scintillateur,
2. en coupant la fluorescence du scintillateur,

TABLEAU VII

LIQUIDE SCINTILLANT. MÉTHODE, TECHNIQUES ET RÉSULTATS

Laboratoire	B C M N		I A R		I K O		N P R L*
	9	10	17	18	11	12	
Composition du liquide scintillant	I. 5 g PPO et 0,5 g POPOP par litre d'une solution de 85% de toluène et 15% d'éthanol II. 5 g p-therphenyl et 0,5 g POPOP par litre d'une solution de toluène et d'éthanol		10 g PBD, 0,4 g POPOP et 50 g naphthalène par litre de dioxane		4 g PPO et 0,4 g POPOP par litre d'une solution de 80% de toluène et 20% d'éthanol		14 g PPO et 0,5 g POPOP par litre d'une solution de 85% de xylène et 15% d'éthanol
Traitement subi par la solution originale avant de l'ajouter au LS Quantité de solution ajoutée au LS	Dilution de la solution originale; préparation d'une solution avec 0,1 ml de la dilution et 5 ml d'éthanol; addition de cette préparation au récipient qui sert à contenir le LS pour effectuer les mesures		Diluant 1:50; addition de 40 mg de cette dilution au LS		Dilution 1:4 avec du HCl 2 N auquel on ajoute 2 mg de Na ₂ SO ₄ par gramme de solution; addition de 50 mg de cette préparation au LS		Dilution avec du HCl 3 N; addition d'environ 40 mg de cette solution à 12 ml de LS
Normalité de la solution ajoutée au LS	1,7 - 1,9 N		0,1 - 0,01 N		2 N		3 N
Quantité et nature de l'entraîneur ajouté au LS	6 - 60 µg H ₂ SO ₄				100 µg Na ₂ SO ₄		aucun
Volume ou masse de la préparation utilisée pour effectuer les mesures	20 ml		5 ml		15 ml		12 ml
Détails sur la linéarité des courbes provenant de l'extrapolation à zéro des taux de comptage obtenus en fonction de l'amplitude des impulsions	Linéarité assez bonne de 5 à 45 volts		L'extrapolation à zéro s'est effectuée sur un parcours égal à 20% du taux de comptage de la source mesurée		Les courbes ne sont pas linéaires. L'extrapolation à zéro s'est effectuée sur un parcours égal à 25% du taux de comptage de la source mesurée		Voir section D-3
Erreur due à l'extrapolation	0,7%		1,5%		3,0%		
Nombre de sources pour chaque traitement	3 LS-I 2 LS-II	3 LS-I 2 LS-II	4	4	5	5	16
Activité moyenne le 22.6.1962, à 14 h 00 T.U (microcuries/gramme)	13,84	13,70	13,6	14,0	12,38	12,96	15,33
Ecart-type de la valeur moyenne (%)	0,16		1,0	1,0	1,5	1,0	0,13
Erreur totale calculée dans la ligne (k) du tableau VIII	1,7		3,5		3,0		0,2
Erreur totale rapportée par chaque laboratoire	1,3		5,0		3,0		1,0

PPO : 2,5 diphenyloxazole
 POPOP : 2,2 p-phenylenebis (5-phenyloxazole)
 PBD : phenyl-biphenyloxadiazole

* Le N. P. R. L. a effectué ses mesures par la technique du traceur, en utilisant toutefois la méthode du LS pour déterminer l'activité bêta du ³⁵S et du traceur. Ce tableau donne seulement les données se rapportant au LS; l'autre partie de la technique est décrite dans la section A.

3. en absorbant les photons avant qu'ils n'atteignent la cathode du photomultiplicateur.

L'amplitude des impulsions enregistrées à la cathode est proportionnelle au nombre des photons émis par le passage des bêtas à travers le liquide scintillant. Si par le jeu de ces mécanismes le nombre de photons atteignant la cathode est diminué, deux cas peuvent être envisagés :

TABLEAU VIII

LIQUIDE SCINTILLANT. CORRECTIONS (%) ET ERREURS (%) ATTRIBUÉES AUX RÉSULTATS INDIVIDUELS

Laboratoire	B C M N		I A R		I K O		N P R L	
	C	E	C	E	C	E	C	E
Corrections introduisant des erreurs statistiques, et erreurs statistiques								
a) Décroissance	0-20,0		1,0		0-15,0		3,0-10,0	
b) Mouvement propre	0,5-7,0	0,2	10,0		0-8,0		0,1-1,0	
c) Temps mort	0,4-2,3							
d) Fluctuations statistiques		0,05		0,5				0,2
e) Dilution								
f) Pesée								
g) Autres		0,2						
h) Erreur statistique totale $\sqrt{\sum E_{ij}^2}$		0,3		0,5				0,2
Corrections introduisant des erreurs systématiques, et erreurs systématiques								
i) Extrapolation		0,7		1,5		3,0	1,5*	
j) Autres	$\approx 1,1^{**}$	0,2** 0,5***		1,5				
k) Erreur totale; addition des erreurs de h à j		1,7		3,5		3,0		0,2
l) Erreur totale indiquée par chaque laboratoire		1,3		5,0		3,0		1,0****

- * Extrapolation à efficacité $\beta = 1$
- ** Correction pour la non-linéarité de l'extrapolation
- *** Instabilité de la source
- **** Selon expériences ultérieures

1. si le nombre de photons est inférieur à celui qui est caractéristique du mouvement propre de l'appareil, il y a perte d'impulsions et l'efficacité du système devient inférieure à 100 %;

2. si le nombre de photons est diminué, mais reste supérieur à celui dû au mouvement propre, l'allure des courbes donnant l'amplitude des impulsions en fonction du taux de comptage se trouve modifiée et l'extrapolation à amplitude zéro devient une opération hasardeuse.

L'extrapolation est en fait un autre problème qu'il faut envisager. Les courbes amplitude-taux de comptage sont ordinairement des droites aux hautes et moyennes amplitudes, mais restent rarement linéaires; en s'approchant de l'amplitude zéro elles deviennent concaves ou convexes. Pour effectuer l'extrapolation avec une certaine précision il faudrait déterminer l'allure de la courbe près de l'amplitude zéro, domaine où les mesures sont

difficiles et souvent impossibles. Dans le cas du soufre, où l'extrapolation porte sur 20 à 25 % de l'activité de la source, il est évident qu'une telle opération devient imprécise.

TABLEAU IX

ÉTALONNAGE DU ^{60}Co PAR LA MÉTHODE DES COÏNCIDENCES $4\pi\beta\gamma$
ET DU ^{35}S PAR LA MÉTHODE DU TRACEUR

Comparaisons internationales			
Laboratoire	^{60}Co	^{35}S	^{60}Co
	janvier 1962	juin 1962	début 1963
désintégrations par seconde par milligramme de la solution originale			
AECL	172,75	533,5	1511,8
ETL	169,20	550,2	1517,4
IAR	185,7	559	1563,5
NPL	173,31	515,8	1513,7
NRC	172,38	543,9	1510,9
I - Tous les résultats			
moyenne	174,68	540,6	1523,5
dispersion	9,3%	7,9%	3,4%
écart-type (standard deviation)	3,6%	3,1%	1,5%
II - Résultats de l'AECL, ETL, NPL et NRC			
moyenne	171,90	535,8	1513,4
dispersion	2,4%	6,4%	0,5%
écart-type (standard deviation)	1,1%	2,6%	0,2%

D. Comptage interne du ^{35}S à l'état de gaz SO_2 .

Le B.C.M.N. a obtenu une valeur moyenne d'activité de 14,15 $\mu\text{Ci/g}$ (le 22.6.1962, à 14 h 00 T. U.) par comptage interne de trois préparations de ^{35}S sous forme de gaz SO_2 . L'écart-type de la valeur moyenne a été de 0,4 %; des corrections dues au mouvement propre et au temps mort, chacune étant inférieure à 1 %, ont été appliquées aux résultats individuels. Le B.C.M.N. a estimé que les erreurs sur les résultats individuels étaient

formées des éléments suivants :

fluctuations statistiques	± 0,1 %
adsorption et absorption du gaz	+ 2,0 %
rendement en gaz SO ₂	+ 1,0 %
seuil de détection	+ 1,0 %
dilution	± 0,5 %
effets de bouts	± 0,5 %
autres	± 0,5 %

III. DISCUSSION ET CONCLUSION

La grande dispersion des résultats (*fig. 1*) met en évidence la présence d'erreurs systématiques importantes. Pour arriver à une valeur de référence de l'activité massique de la solution de ³⁵S distribuée, il faudrait calculer une moyenne pondérée. Cependant l'attribution des poids sera toujours très arbitraire si on vise à une valeur raisonnablement définie. Si on prend, par exemple, la moyenne arithmétique des 20 résultats, on trouve 14,21 μ Ci/g. La moyenne pondérée (poids inversement proportionnels aux carrés des erreurs indiquées) serait de 14,48, tandis que l'écart-type de la moyenne serait de 1,1 %. Ce dernier chiffre est 2,5 fois plus grand que l'erreur combinée des 20 résultats. Mais en multipliant toutes les erreurs par 2,5 la plupart des résultats perdraient leur intérêt.

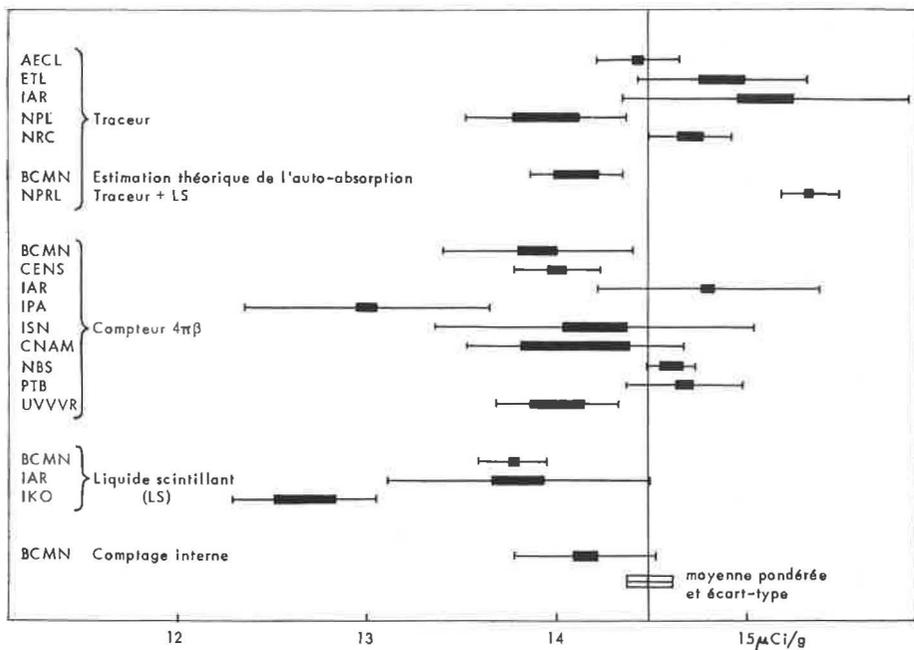


Fig. 1. — Résultats de la comparaison internationale de ³⁵S (22 juin 1962 à 14 h 00 T.U.).

Les rectangles noirs représentent les écarts-types des moyennes.

Les traits horizontaux correspondent aux erreurs totales indiquées par les laboratoires.

Comme l'information contenue dans les formulaires n'est pas assez précise pour rejeter certains résultats, il n'est pas possible d'arriver à une valeur de référence à moins de se limiter à une seule méthode, celle qui semble être la moins susceptible d'introduire des erreurs. Dans le cas du ^{35}S , ce serait certainement la méthode du traceur. Il y a certaines raisons pour rejeter les deux résultats les plus élevés. Même ainsi, on a encore une dispersion de 6,5 %. La moyenne pondérée des quatre résultats restants est de 14,45. Si l'on va encore plus loin on peut ne pas tenir compte des résultats obtenus par le B.C.M.N. et le N.P.L. pour des raisons indiquées plus haut, ce qui conduirait à 14,56 $\mu\text{Ci/g}$. Ces valeurs ne seraient pas trop incompatibles avec les résultats obtenus par comptage $4\pi\beta$, mais en contradiction totale avec les résultats LS.

Cette comparaison montre que le comptage absolu de rayons bêta de faible énergie n'était pas encore bien résolu en 1962.

(1^{er} février 1965)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CAMPION (P. J.), TAYLOR (J. G. V.) and MERRITT (J. S.), *Int. J. A. Rad. Isotopes*, **8**, 1960, p. 8-19. Metrology of Radionuclides, Proceedings IAEA, Vienna, Austria, 1960, p. 227.
 - [2] MERRITT (J. S.), TAYLOR (J. G. V.), MERRITT (W. F.) and CAMPION (P. J.), *Anal. Chem.*, **32**, 1960, p. 310.
 - [3] *C.C.E.M.R.I.*, 4^e session, 1963, p. 53.
 - [4] SCHWEIDLER (E. Von), *Phys. Zeits.*, **13**, 1962, p. 453-4.
 - [5] MANOUKIAN (P.), La rétrodiffusion des particules bêta. Commissariat à l'Énergie Atomique, Rapport CEA — Bibliographie n° 30, 1962, p. 12.
 - [6] MERRITT (J. S.), TAYLOR (J. G. V.) and CAMPION (P. J.), *Can. J. Chem.*, **37**, 1959, p. 1109.
 - [7] LE GALLIC (Y.), Mesure absolue de l'activité des émetteurs β au compteur 4π , Rapport CEA 1229, 1960.
 - [8] SELIGER (H. H.), MANN (W. B.) and CAVALLO (L. M.), *J. Research N.B.S.*, **60**, 1958, p. 447.
-

ANNEXE 3

RAPPORT SUR LA COMPARAISON INTERNATIONALE DE L'AMÉRICIUM 241

(Juillet 1963)

Par A. RYTZ

Bureau International des Poids et Mesures

Abstract. — Twenty-one laboratories have taken part in this first international comparison of the solution of an α -emitter. Similar problems regarding source preparation as for β -radiators seem to exist, but no dilutions were necessary. As much as 39 more or less independent results have been reported, 23 of which were used in a calculation of the most probable value of the specific activity: $11.29 \text{ s}^{-1} \text{ mg}^{-1} \pm 0,2 \%$.

Au début de juillet 1963 une solution de $^{241}\text{AmCl}_3$ a été distribuée par le National Bureau of Standards, Washington, dans le cadre des comparaisons internationales de radionucléides organisées par le Bureau International des Poids et Mesures. Vingt-cinq laboratoires ont reçu deux ampoules de verre scellées contenant chacune 5 ml de solution. L'activité massique était de $11 \text{ s}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ environ et la solution contenait $1 \mu\text{g}$ de EuCl_3 par ml de $0,1 \text{ N HCl}$. Les impuretés émetteurs α étaient, selon l'avis du N.B.S., inférieures à $0,1 \%$.

Dix-neuf laboratoires ont soumis leurs résultats à la date du 1^{er} décembre 1963. Un rapport préliminaire contenant pratiquement tous les renseignements obtenus leur a été remis à la fin de la même année. Deux laboratoires ont pu être ajoutés à la liste des participants; leurs résultats figurent à la fin des tableaux correspondants.

La faible activité massique de la solution distribuée n'a pas permis d'utiliser de dilutions. De même, elle était responsable d'inexactitudes dues à un mouvement propre relativement trop important (A.E.C.L.), ou de la quantité trop petite de solution disponible (B.C.M.N.).

En général, l'adsorption aux parois des ampoules ne semble pas avoir été une source d'erreur. Le B.C.M.N. et le N.B.S. l'ont estimée en se basant sur des mesures par scintillateur liquide ou par spectroscopie γ , et trouvent des limites inférieures à $0,1$ et $0,02 \%$ respectivement. En

revanche, le N.P.L. a obtenu des résultats complémentaires indiquant des différences entre deux ampoules qui dépassent 1 %.

Les procédés utilisés normalement pour obtenir des sources à haute efficacité β sont également valables pour les émetteurs α . D'ailleurs, les sources n'ayant subi aucun traitement ont donné des valeurs trop faibles. Le plus souvent, la correction d'absorption obtenue, soit par comptage par coïncidences, soit par des mesures ou calculs auxiliaires, ne dépassait pas 0,5 %. Dans toutes les conditions de mesure envisagées ici, l'influence des électrons de conversion est complètement négligeable. En revanche, si l'efficacité α tombe en dessous de 99 %, un compteur proportionnel peut les détecter séparément, ce qui explique le palier β superposé au palier α à partir d'une certaine tension. Il convient donc de choisir, pour la méthode $4\pi\alpha-\gamma$, une tension de travail au-dessous de ce seuil.

L'importante correction pour le mouvement propre γ dans les mesures par coïncidences a conduit l'A.E.C.L. à utiliser une méthode différente pour déterminer l'efficacité α des sources mesurées par la méthode $4\pi\alpha$ (CP). Ce laboratoire a préparé une série de sources intenses dont l'efficacité ϵ_α pouvait être mesurée avec grande précision, et a déterminé les taux de comptage A et B au-dessous et au-dessus du seuil de détection des électrons de conversion. Il a pu établir la relation suivante :

$$\frac{B - A}{A} (1,67 \pm 0,08) = 1 - \epsilon_\alpha$$

d'où il a déduit ϵ_α des sources faibles.

Les informations obtenues concernant les différentes sources d'erreurs sont contenues dans les tableaux II et IV. Il nous a paru intéressant de demander aux laboratoires participants comment ils arrivent à la valeur de l'erreur sur le résultat final. D'après les commentaires reçus, à peu près la moitié des laboratoires s'est prononcée pour la simple addition $A + B$, où A représente l'erreur statistique totale estimée $(\Sigma\Delta^2)^{1/2}$ (tableaux II et IV) et B la limite estimée des erreurs systématiques. D'autres propositions ont été faites sous forme de $(A^2 + B^2)^{1/2}$, $A + 3B$, $A + \frac{B}{3}$, $\left(\frac{A^2}{n} + B^2\right)^{1/n}$ (n = nombre de sources).

Une étude plus approfondie a été faite par le N.B.S. qui a utilisé les méthodes $4\pi\alpha$ et $4\pi\alpha-\gamma$, et qui a déterminé l'erreur finale dans les deux cas. Les sources mesurées par $4\pi\alpha$ donnaient 38 paires de valeurs x et y représentant la masse et l'activité de chaque source. L'activité massique était obtenue par la pente d'une droite passant le plus exactement possible entre les points (x, y) . Une droite passant par l'origine fournit la valeur $11,301 \pm 0,019$, tandis que la méthode des moindres carrés, sans passer par l'origine, conduit à

$$\text{pente} = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x\Sigma y}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} = 11,282 \pm 0,018.$$

On évite que ces deux méthodes donnent plus de poids aux sources lourdes en prenant la moyenne des activités moyennes par ampoule :

$$11,307 \pm 0,006 \quad \text{ou encore} \quad \frac{\Sigma y}{\Sigma x} = 11,303 \pm 0,005.$$

La moyenne des deux dernières valeurs est considérée comme la valeur la plus probable. En outre, la dispersion de ces quatre résultats,

$$\frac{11,307 - 11,282}{11,305} = 0,22 \%,$$

est prise comme erreur sur la moyenne générale.

Pour la méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma$, le N.B.S. a déterminé la moyenne pondérée (poids inversement proportionnels aux carrés des écarts-types mesurés) et son erreur. Pour arriver à la valeur de la dernière colonne du tableau II, il y a ajouté l'erreur systématique estimée, attribuée à l'adsorption (0,02 %).

La figure 1 (p. 66), qui rassemble tous les résultats obtenus, met en évidence le fait que l'étalonnage d'une solution d'un émetteur α peut être faite avec une exactitude remarquable sans recourir à des méthodes compliquées. Pour arriver à une valeur moyenne de l'activité, il a été nécessaire de rejeter certains résultats, en premier lieu ceux qui ne sont pas corrigés pour l'absorption. En outre, deux autres résultats de l'I.K.O. ont été écartés pour ne pas donner trop de poids à un seul laboratoire. Les 23 résultats restants ont une moyenne arithmétique de 11,283 et une moyenne pondérée ($\sim \sigma^{-2}$) de 11,290. L'écart-type de cette moyenne est de 0,059 %, alors que l'erreur combinée, $\left(\sum \frac{1}{\sigma_i^2}\right)^{1/2}$, est de 0,048 %. Nous considérons que la valeur la plus probable de l'activité massique de la solution de ^{241}Am distribuée est, à la date du 1^{er} août 1963,

$$11,29 \text{ s}^{-1} \text{ mg}^{-1} \pm 0,2 \%.$$

(22 décembre 1964)

LISTE DES LABORATOIRES AYANT SOUMIS LEURS RÉSULTATS ET NOMS DES PERSONNES
AYANT EFFECTUÉ LES MESURES

- 1 AAEC Australian Atomic Energy Commission, Lucas Heights, Australie
(G.C. Lowenthal, J.K. Parry)
- 2 AECL Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, Canada
(J.G.V. Taylor, J.S. Merritt)
- 3 AIEA Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne, Autriche
(H. Houtermans)
- 4 BIPM Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France
(J.C. Roy)
- 5 BCMN Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom, Geel, Belgique
(E. de Roost, O. Lerch, W. van der Eijk, R. Vaninbrouckx, A. Spagnol)
- 6 DAECRE Danish Atomic Energy Commission, Roskilde, Danemark
- 7 ETL Electrotechnical Laboratory, Tokyo, Japon
- 8 IAR Institut für Angewandte Radioaktivität, Leipzig, Allemagne
(Leistner, Schindler, Wangermann)
- 9 IKO Instituut voor Kernfysisch Onderzoek, Amsterdam, Pays-Bas
- 10 IMM Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad, U.R.S.S.
(A.A. Konstantinov, F.M. Karavaev)
- 11 IRK Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne, Autriche
(P. Hille: 4π, H. Spenke: liquide scintillant)
- 12 ISN Institut de Sciences Nucléaires "Boris Kidrich", Belgrade, Yougoslavie
(D. Novković, Lj. Dobrilović, Dj. Bek-Uzarov)
- 13 JEN Junta de Energia Nuclear, Madrid, Espagne
(C.E. Granados, F. Sagastibelza)
- 14 LNE Laboratoire National d'Essais, Paris, France
(R. Touzin)
- 15 NBS National Bureau of Standards, Washington, Etats-Unis d'Amérique
(W. B. Mann)
- 16 NPL National Physical Laboratory, Teddington, Grande-Bretagne
(A. Williams)
- 17 NPRL National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud
(J. Steyn, A.S.M. de Jesus)
- 18 NRC Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada
(A.P. Baerg, G.C. Bowes)
- 19 OMH Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest, Hongrie
(K. Zsdánsky)
- 20 PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Allemagne
(H.M. Weiss, H. Ramthun)
- 21 UVVVR Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioisotopů, Prague, Tchécoslovaquie
(I. Bučina, P. Jasanovský, J. Zderadička)

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I. — Méthodes et techniques de préparation des sources pour la solution de ^{241}Am

méthodes $\left\{ \begin{array}{l} 4\pi\alpha(\text{CP}) \\ 4\pi\alpha(\text{GM}) \\ 4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{CP}) : \text{coïncidences} \\ (\text{AS}) : \text{angle solide défini} \\ (\text{CI}) : \text{chambre d'ionisation} \\ (\text{sc. pl.}) : \text{scintillateur plastique} \end{array} \right.$

TABLEAU II. — Corrections appliquées aux résultats individuels; erreurs; résultats finaux

méthodes : $4\pi\alpha(\text{CP})$, $4\pi\alpha(\text{GM})$, $4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{CP})$, (AS), (CI), (sc. pl.).

TABLEAU III. — Méthodes et techniques de préparation des sources pour la solution de ^{241}Am

méthodes $\left\{ \begin{array}{l} (\text{LS}) : \text{liquide scintillant} \\ 4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{LS}) \\ (\text{GS}) : \text{gel scintillant} \\ (\text{PF}) : \text{papier filtre.} \end{array} \right.$

TABLEAU IV. — Corrections appliquées aux résultats individuels; erreurs; résultats finaux

méthodes : (LS), $4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{LS})$, (GS), (PF).

TABLEAU I

MÉTHODES ET TECHNIQUES DE PRÉPARATION DES SOURCES POUR LA SOLUTION DE ^{241}Am
MÉTHODES $4\pi\alpha(\text{CP})$, $4\pi\alpha(\text{GM})$, $4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{CP})$, (AS), (C1), (sc. pl.)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports	Sources			Méthode de mesure	
	1. nature et masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 2. traitement	1. masse déposée (mg) 2. diamètre (mm) 3. masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. nombre de sources par ampoule 3. traitement de la source	Temps écoulés: 1. entre la préparation des solutions et des sources 2. entre la préparation et la mesure des sources	caractéristiques des compteurs	plateau a 1. longueur (volts) 2. pente (% par 100 V) 3. gaz utilisé
AAEC 48 49	1. VYNS 8 à 20 + Au 8 à 25, sur un côté, pour chaque demi-sandwich 2. Teepol pendant 2 minutes, résidu solide $\approx 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	1. A 48 95 à 200 A 49 95 à 403 2. 5 à 20 3. $\approx 10,1$ agrégats de $> 100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 4. infra-rouge et ventilateur	1. Solution radioactive déposée sur le côté non conducteur du support placé sur la balance, correction pour évaporation 2. A 48 6 A 49 7 3. - aucun - méthode du sandwich	1. 24 heures max. 2. 3 à 20 jours	Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{CP})$, compteur $4\pi\alpha(\text{CP})$ type "pill box", longueur ≈ 5 cm, anode: fil $25 \mu\text{m}$, longueur 4 cm, compteur γ : 2 cristaux NaI 75×25 mm, système à coïncidences rapides-lentes pour éliminer les photons hors de la gamme 40-80 keV.	1. 200 2. $< 0,05$ 3. Argon +10% CH_4
AECL 60 61	1. VYNS ≈ 5 + Au ≈ 15 évaporé sur un côté 2. aucun	1. 30 à 110 (4 πCP) 75 à 110 (4 $\pi\alpha\text{-}\gamma$) 2. ≈ 10 3. < 1 4. infra-rouge	1. pesée 2. A 60: 7(4 πCP), 4(4 $\pi\alpha\text{-}\gamma$) A 61: 5(4 πCP), 4(4 $\pi\alpha\text{-}\gamma$) 3. La moitié des sources furent déposées sur le côté doré d'une double épaisseur de VYNS, les autres furent montées en sandwich entre 2 films de VYNS. Les 2/3 des sources furent préparées avec de l'insuline, 1/3 par précipitation avec NH_3 .	1. - 2. 2 heures à 44 jours	Méthodes $4\pi\alpha(\text{CP})$ et $4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{CP})$, compteur type "pill box", longueur $\approx 7,6$ cm, hauteur $\approx 2,5$ cm, anode: fil d'acier inox. $13 \mu\text{m}$, compteur γ : 2 cristaux NaI 76×76 mm	1. 400 2. 0,05 3. CH_4
AIEA 8	1. a) VYNS 10 + Au 15 sur un côté b) disque plastique 2. a) traité avec 20 mg de Teepol (1:200), puis séché b) aucun	1. a) 80 à 130 b) 40 à 120 2. ≈ 10 3. inconnue 4. air	1. Solution déposée avec un pycnomètre pesé avant et après prélèvement. 2. a) 8 b) 6 3. Après dépôt de la solution addition de 20 mg de Ludox 1:200	1. - 2. de 1 jour à 4 semaines	a) Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma(\text{CP})$ compteur a type "pill box" en laiton, longueur 60 mm, hauteur 2 x 20 mm, anode fil $25 \mu\text{m}$, temps mort 12 μs , compteur γ : cristal NaI 50×45 mm. b) Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (sc. pl.) compteur as: scintillateur plastique (2 disques en sandwich), 36 mm, épaisseur totale 1,8 mm, $T_a = 11 \mu\text{s}$, compteur γ : cristal NaI 38×2 mm avec une fenêtre de Be de 0,2 mm d'épaisseur. $T_y = 6 \mu\text{s}$ $T_R = 1,16 \mu\text{s}$ $T_C = 16 \mu\text{s}$ seuil a: 1360 keV $\sqrt{8/\gamma}$ (270) seuil γ : 37 keV	

TABLEAU I (suite)

Laboratoire et numéros ampoules	Supports		Sources			Méthode de mesure	
	1. nature et masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 2. traitement	1. masse déposée (mg) 2. diamètre (mm) 3. masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. nombre de sources par ampoule 3. traitement de la source	Temps écoulés 1. entre la préparation des solutions et des sources 2. entre la préparation et la mesure des sources	caractéristiques des compteurs	plateau a 1. longueur (volts) 2. pente (% par 100V) 3. gaz utilisé	
BIPM 46 47	1. VYNS ≈ 5 + Au $10 \text{ à } 12$ sur un côté 2. aucun	1. A 46 30 à 45 A 47 28 à 42 2. A 46 a) 9 A 47 b) 8 c) 9 3. A 46 a) 2,0 A 47 b) 1,3 c) 2,1 4. air (sources gardées dans une étuve à 35°C avant et après comptage)	1. Pycnomètre en polythène pesé avant et après prélèvement de la solution. Dépôt sur la surface plastique. 2. A 46 5 A 47 b) 5 c) 6 3. a) $40\mu\text{l}$ d'une solution d'albumine d'oeuf contenant $1,0\mu\text{g}$ d'albumine solide furent ajoutés à la solution déjà placée sur le support. b) $40\mu\text{l}$ d'une solution de "Ludox" SM diluée $1:10^4$ furent ajoutés à la solution déposée sur le support. c) $40\mu\text{l}$ d'une solution de "Ludox" SM diluée $1:10^4$ plus $40\mu\text{l}$ d'une solution d'albumine d'oeuf contenant $1,0\mu\text{g}$ d'albumine solide furent ajoutés à la solution déposée sur le support.	1. ≈ 1 heure 2. plusieurs semaines	Méthode 4πa(CP), compteur type "pill box" longueur $\approx 4,5$ cm, hauteur 3 cm, anode: fil d'acier inox. $50\mu\text{m}$, longueur 4 cm, compteur γ: 2 cristaux NaI 50×45 mm, $\tau = 6,5\mu\text{s}$	1. 600 2. 0,02 3. CH ₄	
BCMN 33	1. VYNS $10 \text{ à } 20$ + Au $2 \times 10 \text{ à } 20$ 2. aucun	1. 59 à 122 2. ≤ 8 3. ≤ 200 4. séchage à 40°C	1. Micropipette; correction de la pesée pour évaporation. 2. 4 3. ≈ 20 mg de solution + ≈ 20 mg de Ludox SM dilué $1:10^4$. Pas de montage sandwich.	1. ≈ 3 heures 2. 14 jours à 1 mois	Méthode angle solide défini, deux distances différentes définissant des angles solides de 1:50 et de 1:1000, deux détecteurs plastiques (épaisseur ≤ 1 mm). Pente du plateau $\leq 0,1\%$. Reproductibilité: mieux que 0,1%.	1. - 2. $\leq 0,1$ 3. -	
33	1. VYNS $10 \text{ à } 20$ + Au $2 \times 10 \text{ à } 20$ 2. aucun	1. 18 à 129 2. 4 à 8 3. 100 à 500 4. 35 à 40°C sous lampe infra-rouge	1. " id. " 2. 7 3. " id. "	1. 1 à 4 heures 2. 0 à 21 jours (majorité des mesures le premier jour)	Méthode 4πa(CP) compteur a: longueur ≈ 4 cm hauteur ≈ 5 cm, anodes: boucles 20 mm en fil de molybdène $50\mu\text{m}$	1. ≈ 1000 2. $\leq 0,05$ 3. -	
33:	1. VYNS $10 \text{ à } 13$ + Au $2 \times 10 \text{ à } 30$ 2. aucun	1. 60 à 130 2. ≤ 8 3. 100 à 400 4. 35 à 40°C sous lampe infra-rouge	1. Micropipette; correction de la pesée pour évaporation. 2. 6 3. addition immédiate de ≈ 20 mg de Ludox SM dilué $1:10^4$. Pas de montage sandwich.	1. ≈ 1 heure 2. de plusieurs heures à plusieurs jours	Méthode 4πa-γ(CP) $\tau_a = \tau_\gamma = 5\mu\text{s}$ $\tau_R = 1\mu\text{s}$	1. 400 2. $\leq 0,3$ 3. -	

TABLEAU 1 (suite)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports	Sources			temps écoulés:	Méthode de mesure	
	1. nature et masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 2. traitement	1. masse déposée (mg) 2. diamètre (mm) 3. masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. nombre de sources par ampoule 3. traitement de la source	caractéristiques des compteurs		plateau α 1. longueur (volts) 2. pente (% par 100V) 3. gaz utilisé	
DAECRE 24 25	1. VYNS ≈ 100 + Ag ≈ 15 2. évaporation sous lampe infra-rouge	1. 50,7 2. 7 3. 0,12 4. lampe infra-rouge	1. Dépôt par pipette sur le côté conducteur du support. 2. 4 au total 3. aucun	1. 0 2. 20 jours	Méthode de l'angle solide défini $\approx 0,1\%$ de 4π , ouverture diaphragme $\approx 141\text{mm}$, distance de la source $\approx 100\text{mm}$, détecteur à jonction de silicium.		
ETL 12	1. Acétate de polyvinyle ≈ 10 + Au ≈ 15 évaporé sur un côté 2. aucun	1. 87 à 133 2. ≈ 9 3. 0,2 à 0,3 4. séchage dans un dessiccateur (gel de silice)	1. Dépôt par micropipette sur le côté non conducteur du support. 2. 4 3. Addition d'une quantité égale de Ludox 1;10 ⁴ . Pas de montage sandwich.	1. ≈ 12 heures 2. 2 jours	Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (CP), compteur type "pill box", dimensions 95 x 50 x 50 mm, anode: fil acier inox 50 μm , compteur γ : cristaux NaI 50 x 45 mm, fenêtre γ de 55 keV à 250 keV. $\tau_a = \tau_\gamma = 3,3\mu\text{s}$; $\tau_c = 2,5\mu\text{s}$ $\tau_R = 2\mu\text{s}$	1. 350 2. négligeable 3. CH ₄	
IAR 28 29	1. VYNS 5 + Au 2 x 5 2. aucun	1. 20 à 30 2. 8 3. 0,06 4. lampe infra-rouge	1. Dépôt du côté conducteur, évaporation puis séchage. 2. 6 3. aucun	1. 1 heure 2. 1 jour	Méthode $4\pi\alpha$ (CP) $\tau_a = 3\mu\text{s}$ anode en forme de boucle	1. 1000 2. 0,1 3. C ₃ H ₈	
	1. " id. " 2. " id. "	1. 10 à 20 2. " id. " 3. 0,04 4. " id. "	1. " id. " 2. 6 3. aucun	1. 1 heure 2. 1 jour	Méthode $4\pi\alpha$ (GM) $\tau_a = 1,05\text{ms}$ (imposé), compteur GM à circulation gazeuse continue.	1. 250 2. 1 3. argon + isobutanol	
IMM 34 35	1. Celluloid 10 à 15 + Au 20 à 30 sur les deux côtés 2. insuline	1. 30 à 120 2. ≈ 10 3. ≈ 10 4. dans une étuve en présence de CaCl ₂	1. Dépôt avec pipette de 1 à 4 gouttes sur la couche conductrice, pesée, correction pour évaporation. 2. 10 3. - aucun, - méthode du sandwich utilisée.	1. - 2. 3 à 4 jours	Méthode $4\pi\alpha$ (CP) compteur 80 mm, anodes fil en constantan 100 μm	1. 500 2. $\approx 0,1$ 3. C ₃ H ₈ (sous 200 mm Hg)	

TABLEAU I (suite)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports	Sources			Méthode de mesure	
	1. nature et masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 2. traitement	1. masse déposée (mg) 2. diamètre (mm) 3. masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. nombre de sources par ampoule 3. traitement de la source	temps écoulé: 1. entre la préparation des solutions et des sources 2. entre la préparation et la mesure des sources	caractéristiques des compteurs	plateau a 1. longueur (volts) 2. pente (% par 100V) 3. gaz utilisé
IRK 56	1. VVNS + Au ≤ 10 sur un côté 2. ouicon	1. 10 à 20 2. ≈ 1 3. ≤ 10 4. dessiccateur	1. Dépôt par pipette sur le côté conducteur du support. 2. 4 3. ouicon	1. - 2. 1 jour	Méthode 4Ba(CP) compteur type "pill box", longueur 15 cm, hauteur 2 x 4 cm, anodes fil 30 μm .	1. 30 à 50 2. ≤ 2 3. -
ISN 30 31	1. Platine (0,8 mm) 2. polissage + nettoyage chimique, chauffage	1. 19,5 à 42 2. 7,2 à 9,2 3. 16,7 à 40,9 4. air à la température ambiante	1. Pesée. 2. - 3. [Après les mesures deux sources furent traitées avec HNO ₃ concentré, évaporées et chauffées à nouveau, sans modification du taux de complage.]	1. - 2. 24 heures	Méthode de la chambre d'ionisation 2 π à impulsions avec grille (Frish), anode 70 mm, distance entre les électrodes 55 mm, capacité d'entrée 11 pF. Chaque mesure fut effectuée sur trois niveaux de discrimination de façon simultanée.	1. - 2. - 3. Argon à 2x10 ⁵ N/m ²
JEN 14	1. VVNS 7 + 3 + Au 2 (20 ± 3) 2. 3 supports traités insuline 40 U.l. (1:30), excédent retiré après 5 min.	1. 25,5 2. 5 3. - 4. air	1. 2 gouttes déposées avec micro-pipette sur le côté conducteur du support et pesées immédiatement. 2. 11 3. 1 source redissoute et précipitée en atmosphère de NH ₃ , 1 source fut montée en sandwich (Au $\approx 20\mu\text{g}/\text{cm}^2$).	1. - 2. 10 jours en moyenne	Méthode 4Ba(CP) compteur cylindrique, anodes: boucles en acier, 2 amplificateurs non saturables, signaux ≤ 120 V, bruit de fond 1,5 V, temps mort imposé (11 + 1) μs , mesure indépendante de chaque demi-compteur et soustraction des coïncidences entre les deux.	1. 500 2. 0,1 3. -
LNE	1. Collodion I + Au 10 sur un côté 2. dépôt de 0,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ d'insuline retiré avant dépôt du 241Am.	1. ≈ 50 2. 9 à 10 3. 1 4. air	1. Pycnomètre en verre pesé avant et après dépôt de la goutte sur le côté non conducteur du support. 2. 8 3. Addition de Ludox SM (1:10 ⁴) après dépôt du 241Am 0,8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.	1. 1 source toutes les 20 min, la première environ 15 min après ouverture de l'ampoule. 2. 24 à 48 h	Méthode 4Ba- γ (CP) anodes: fil d'acier inox. 50 μm , longueur 65 mm, distance source-fil ≈ 10 mm $\tau_a = 4,2\mu\text{s}$ $\tau_\gamma = 4,5\mu\text{s}$ $\tau_c = 2\mu\text{s}$ $\tau_R = 1,2\mu\text{s}$ seuil at ≤ 30 eV.	1. 1200 2. $< 0,07$ 3. CH ₄

TABLEAU I (suite)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports	Sources			temps écoulés:	Méthode de mesure	
	1. nature et masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 2. traitement	1. masse déposée (mg) 2. diamètre (mm) 3. masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. nombre de sources par ampoule 3. traitement de la source	caractéristiques des compteurs		plateau a 1. longueur (volts) 2. pente (% par 100V) 3. gaz utilisé	
NBS 62	1. Collodion ⁸ + Au \approx 20 sur un côté 2. aucun	1. 39 à 62 2. 6 à 9 3. 0,06 à 0,22 4. sources séchées à l'air et gardées sous infra-rouge jusqu'à la mesure (1 à 15 jours)	1. Pycnomètre en polyéthylène pesé avant et après dépôt de la solution sur le support, - gouttes des ampoules 62, 64 et 65 déposées sur la surface non conductrice, - gouttes des ampoules 4 et 5 déposées sur la surface dorée.	1. - 2. A 62, 64: 3 jours, A 65: 1 à 15 jours, A 4, 5: 1 à 4 jours	Méthode 4 $\pi\alpha$ (CP) compteur sphérique, diamètre intérieur 5,87 cm, anodes: boucles 0,5 cm en fil d'acier inox. 25 μm , seuil α à 500 keV, $\tau = 23\mu\text{s}$, tension 2600 V.	1. 800 2. < 0,5 3. CH ₄	
64	" id. "	1. 41 à 72 2. 6 à 9 3. 0,06 à 0,26 4. " id. "	2. ampoules 62 et 64: 7 autres : 6 3. - ampoules 62, 65A, 4 et 5: 2 gouttes de solution de LuIox SM 1:10 ⁴ fraîchement préparée ajoutées au ²⁴¹ Am aussitôt après le dépôt, - ampoules 64 et 65B; id. + 3 gouttes d'eau très pure, - les sources préparées à partir des ampoules 65A, 65B, 4 et 5 furent montées en sandwich,				
65 A	" id. "	1. 19 à 37 2. 5 à 8 3. 0,04 à 0,19 4. " id. "	- correction pour épaisseur moyenne du film appliquée aux résultats à partir des ampoules 62 et 64.				
65 B		1. 26 à 33 2. 9 à 11 3. 0,03 à 0,05 4. " id. "					
4	" id. "	1. 29 à 32 2. 6 à 8 3. 0,06 à 0,11 4. " id. "					
5	" id. "	1. 30 à 49 2. 6 à 8 3. 0,06 à 0,17 4. " id. "					
62	" id. "	" id. "	1. " id. "	les mêmes sources furent utilisées	Méthode 4 $\pi\alpha$ - γ (CP) même compteur α , seuil α à 500 keV, compteur γ : cristal NaI 25 x 6,3 mm, fenêtre γ : de 50 à 70 keV.	1. - 2. - 3. Argon 90% CH ₄ 10%	
65			2. 1 3. " id. "				

TABLEAU I (suite)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports	Sources		Méthode de mesure		
	1. nature et masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 2. traitement	1. masse déposée (mg) 2. diamètre (mm) 3. masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. nombre de sources par ampoule 3. traitement de la source	temps écoulés: 1. entre la préparation des solutions et des sources 2. entre la préparation et la mesure des sources	caractéristiques des compteurs	plateau α 1. longueur (volts) 2. pente (% par 100V) 3. gaz utilisé
NPL 1 2	1. VYNS 10 + Au \approx 10 sur un côté 2. aucun	1. 70 à 100 2. 10 3. 0,5 à 0,8 4. air	1. Pycnomètre et pesée, dépôt sur côté conducteur du support. 2. A 1: 5 A 2: 6 3. Dépôt d'environ 30 mg d'une dilution d'agent mouillant (0,1 $\mu\text{g}/\text{g}$) sur chaque source. Pas de montage sandwich.	1. \approx 15 min 2. 4 à 5 jours	Méthode 4 $\pi\alpha$ - γ (CP), anode: fil rectiligne 75 μm , mesures effectuées à l'extrémité inférieure du plateau α où la sensibilité du compteur aux électrons de conversion est négligeable.	1. 300 2. 0,1 3. -
I et 2	1. " Id. " mélange de 4 g de solution de chaque ampoule, chauffage par lampe infra-rouge et évaporation jusqu'à ce qu'il reste 0,8 g	1. 25 à 100 2. 10 3. 1,5 à 4,4 4. air	1. " Id. " 2. 12 3. Agent mouillant sur chaque source avant séchage, résidu solide \approx 0,4 μg , pas de montage sandwich.	1. 3 jours pour concentration 2. 4 à 5 jours	Méthode 4 $\pi\alpha$ - γ (CP) " Id. "	" Id. "
NPRL 53	1. VYNS + Au sur les 2 côtés 2. aucun	1. 100 à 200 2. \approx 15 3. non déterminée 4. lampe infra-rouge dans l'air	1. Micropipette et pesée 2. 5 3. Aucun, pas de montage sandwich.	1. - 2. 1 à 3 jours	Méthode 4 $\pi\alpha$ - γ (CP) compteur proportionnel cylindrique et deux photo-multiplicateurs placés de part et d'autre pour la vote γ .	
NRC 58 59	1. VYNS 5 à 10 + Au 2 x \approx 20 2. aucun	1. 79 à 143 2. \approx 10 3. \approx 5 4. lampe infra-rouge dans l'air	1. Pycnomètre en polyéthylène pesé avant et après le dépôt de la solution. 2. 8 3. 5 μg d'agent mouillant (Cotanao SN) ajoutés à la source avant séchage, pas de montage sandwich.	1. 0 2. \approx 1 heure	Méthode 4 $\pi\alpha$ - γ (CP) compteur type "pill box": longueur 3,81 cm, hauteur \approx 5 cm, anode: fil 13 μm , compteur γ : 2 cristaux NaI 76 x 76 mm, fenêtre γ : 55 à 65 keV, $\tau_R = 0,85\mu\text{s}$, $\tau_\alpha = \tau_\gamma = 2,3\mu\text{s}$ tension 1500V.	1. 1000 2. - 3. CH ₄

TABLEAU I (suite)

Laboratoire et numéro ampoule	Supports	Sources			Méthode de mesure	
	1. nature et masse surfacique, ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 2. traitement	1. masse déposée (mg) 2. diamètre (mm) 3. masse surfacique ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. nombre de sources par ampoule 3. traitement de la source	temps écoulé: 1. entre la préparation des solutions et des sources 2. entre la préparation et la mesure des sources	caractéristiques des compteurs	plateau α 1. longueur (volts) 2. pente (% par 100V) 3. gaz utilisé
PTB	1. VYNS 10 à 15 + Au 2 x 15 2. goutte d'insuline diluée 1:20 déposée puis retirée, ensuite séchage à l'infra-rouge	1. 15 à 30 2. ≈ 5 3. a) normale; 1, résidu solide: insuline, b) auto-absorption augmentée: 700, résidu solide: Ludox 4. lampe infra-rouge	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte, correction pour évaporation. 2. 16 3. Après les mesures quelques sources furent redissoutes dans du Ludox 1:20 et remesurées avec auto-absorption augmentée, pas de montage sandwich.	1. — 2. 1 heure à 1 jour	Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (CP) compteur type "pill box", variation de E_{α} de 94 à 99%, extrapolation à 100% (voir Houtermans et Miguel, JARI 13, 137, 1962), détecteur γ : NaI 110 x 50 mm, fenêtre γ : 51 à 70 keV, $N_{\gamma} = 3,7 \cdot 10^{-1}$ $N_{\beta} = 1,4 \cdot 10^{-1}$ durée de comptage: source 15 heures, mouvement propre 4 heures.	1. 1200 2. < 0,2 3. CH ₄
UVVVR 42 43	1. VYNS ≈ 7 + Au 7 à 8 sur un côté 2. ≈ 40 mg de sol. d'insuline (0,2 U.l./ml) déposés sur le film puis retirés et séchés	1. 90 à 110 2. 9 à 12 3. 2,1 4. avec H ₂ SO ₄ dans un dessiccateur sous lampe infra-rouge	1. Solution déposée avec un pycnomètre en polythène sur le côté conducteur du film. 2. 5 3. Aucun.	1. 1 heure maximum 2. ≈ 3 heures	Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (CP) compteur type "pill box", longueur 70 mm, hauteur 2 x 20 mm, anodes fil de molybdène 50 μm , longueur 50 mm, seuil 295 keV, compteur γ : cristaux 50 x 45 mm seuil $\gamma \approx 30$ keV, $T_{\alpha} = 12,0 \mu\text{s}$, $T_{\gamma} = 12,0 \mu\text{s}$, $T_R = 2,15 \mu\text{s}$, paroi entre compteurs α et γ : 0,5 mm Al.	1. 800 2. 0,1 3. CH ₄
IKO 21	1. VYNS 40 + Au 2 x 5 2. aucun	1. 100 2. 8 3. 0,7 4. air	1. correction pour évaporation 2. 6 3. adjonction d'une goutte de Ludox SM 1:10 ⁴	1. < 12 h 2. 4 jours	Méthode $4\pi\alpha$ (CP) compteur type "pill box", longueur 80 mm, fil de molybdène 30 μm	1. 1100 2. — 3. —
	id.	id.	id.	id.	Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (CP) rayons γ acceptés entre 45 et 77 keV	id.
	scintil. plastique diamètre 2 cm épaisseur 0,1 mm	1. 100 2. 8 3. 1,3 4. air	1. — 2. 4 3. adjonction d'une goutte de Ludox SM 1:10 ⁴	1. < 12 h 2. 3 jours	Méthode $4\pi\alpha$ (sc.pl.)	
21	id.	id.	2. 5 3. id.	id.	Méthode $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (sc.pl.) fenêtre γ de 45 à 75 keV	
OMH 51	1. VYNS 10 à 15 + Au 2 x 10 2. aucun	1. 20 à 40 2. 10 3. — 4. infra-rouge	1. — 2. — 3. —	1. — 2. 2 jours	Méthode $4\pi\alpha$ (GM)	

TABLEAU 11
CORRECTIONS APPLIQUÉES AUX RÉSULTATS INDIVIDUELS; ERREURS; RÉSULTATS FINAUX
MÉTHODES 4π α (CP), 4π α (GM), 4π α - γ (CP), (AS), (CI), (sc.pl.)

laboratoire et numéro d'ampoule	méthode de mesure	corrections (%)				erreurs statistiques (%)							limites des erreurs systématiques (%)	résultat final au 1.8.1963 ($s^{-1}mg^{-1}$)	
		mouvement propre	temps mort	absorp- tion	autres	mouvement propre	temps mort	fluct. statist.	pesée des gouttes	absorp- tion	autres	erreur statist. totale		1	2
AAEC 48 49	4π α - γ	$\alpha < 0,002$ $\gamma < 5$	0,05	-	0,1 δ 0,9 (a)*	0,05	<0,03	0,1	<0,04	-	0,03 (a)*	0,12	-	11,298 11,320	0,12 0,12
AECL 60 61	4π α (CP)	<0,01	0,06 δ 0,3	0,2 δ 1,0	0,105 (b)*	<0,01	0,04	0,08	<0,01	0,10	-	0,14	0,10 (c)*	11,269 11,271	0,17 0,17
60 61	4π α - γ	1,5	0,003	-	0,105 0,09 (a)*	0,09	0,003	0,09	<0,01	-	0,03	0,13	0,2	11,281 11,275	0,24 0,24
AIEA 8	4π α - γ (CP)	2,465	0,01	-	-	0,07	0,02	0,13	0,05	-	-	0,16	-	11,287	0,16
8	4π α - γ (scint.pl.)	2,57	0,1	-	-	0,08	0,05	0,2	0,05	-	-	0,23	0,1	11,269	0,2
BIPM 46 47	4π α (CP)	-	0,2	0,04	0,106 (b)*	-	0,01	0,06	0,1	0,2(g)* 0,01 (h)*	-	0,15	0,05	11,266 11,260	0,20 0,20
BCMN 33	(AS)	30(γ)	<0,1	<0,1	0,65	0,7	<0,1	0,2	0,1	0,1	<0,05	0,8	-	11,303	0,8
33	4π α (CP)	0,01	0,3	0,45 +(d)*	-	-	0,01	0,15	0,1	0,09 +(d)*	0,10 (c)*	0,22	-	11,319	0,22
33	4π α - γ	1,8 δ 9	0,05 δ 1	<0,05 δ 0,16 (a)*	0,07 δ 0,16 (a)*	0,9 δ 1,8	0,02 δ 0,03	0,04 δ 0,12	0,1	-	0,01 δ 0,03 et 0,05 δ 0,20 (e)*	1,12 δ 2,28	-	11,305	1,2
DAECRE 24 25	(AS)	0,12	0	0	-	0,02	-	0,3	0,2	-	0,4 (AS)	0,6	-	11,21	0,6
ETL 12	4π α - γ	3 δ 4,5	néglig.	-	0,1(a)* 0,6 (b, f)*	0,11	néglig.	0,27	0,1	-	-	0,31	0,1	11,22	1,03
IAR 28 29	4π α (CP)	2	-	-	-	0,2	-	0,2	0,3	-	0,4 (c)*	0,5	-	10,99 11,19	0,6 0,5
28 29	4π α (GM)	3	16	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	-	0,4	0,5	-	11,47 11,58	0,6 0,5

- | | | | |
|------|------------------|------|-------------------------------------|
| (a)* | N_{acc} | (f)* | évaporation |
| (b)* | poussée de l'air | (g)* | auto-absorption |
| (c)* | pente du plateau | (h)* | absorption dans le support |
| (d)* | rétrodiffusion | (i)* | adsorption |
| (e)* | stabilité | (k)* | correction d'absorption non mesurée |

TABLEAU II (suite)

laboratoire et numéro ampoule	méthode de mesure	corrections (%)				erreurs statistiques (%)						limites des erreurs systématiques (%)	1. résultat final ou 1.8.1963 (μg^{-1})		
		mouvement propre	temps mort	absorp- tion	autres	mouvement propre	temps mort	fluct. statist.	pesée des gouttes	absorp- tion	autres		erreur statist. totale	2. erreur combinée (%)	
IMM 34 35	4T α (CP)	0,002	0,6	0,15	-	0,0005	0,01	0,05	0,08 (f)*	0,01(g)* 0,01(h)*	-	0,104	0,2	1	2
														11,25	0,304
IRK 56	4T α (CP)	3 à 5	0,1 à 0,2	-	-	0,09	0,01	0,1	0,1	-	-	0,35	-	11,23	1
ISN 30 31	(CI)	0,01	0,10	0,13	-	0,0005	0,01	-	0,035	0,050	0,40 (d)*	0,405		11,520	0,405
JEN 14	4T α (CP)	-	0,15	0,30	0,10 (c)*	-	-	0,24	0,20	0,20	0,3(e)* 0,1(c)*	0,49	0,75	11,91	0,7
LNE	4T α - γ (CP)	0,03	0,2	(0,9)	-	<0,1	<0,1	0,07	<0,1	0,5	-	0,6	-	11,23	0,6
NBS 62, 64, 65, 4, 5 62, 65	4T α (CP) 4T α - γ (CP)	0,1 à 0,5	0,5 à 1,9	0,2	-	0,001 à 0,005	0,02 à 0,06	0,1 à 0,3	0,06 à 0,23	0,14	-	0,16 à 0,42	0,02 (i)*	11,305	0,22
														10 à 30	0,1 à 0,5
NPL 1 2 1 et 2	4T α - γ (CP) 4T α - γ (CP)	6 (γ)	-	-	0,1	0,2	-	0,1	0,1	-	0,03 0,1 (dilut.)	0,24	1	11,31	0,24
														0,6(γ)	0,03
NPRL 53	4T α - γ (CP)	60 (γ)	0,90	-	-	0,221	0,004	0,182	0,150	-	-	0,323	-	11,255	0,323
NRC 58 59	4T α - γ (LS)	0,61 à 1,1	0,17 à 0,31	-	0,072 à 0,133 (a)* 0,106 (b)*	0,018 à 0,033	0,017 à 0,031	0,079 à 0,106	0,10	-	0,007 à 0,013 (a)*	0,13 à 0,15	-	11,259	0,037
														11,267	0,029
PTB	4T α - γ (CP)	0,01	0,1	(0,5 à 2,7)	-	0,001	0,01	1,16	0,1	-	-	1,17	0,1 (pesée) 0,2 (méthode)	11,27	0,4
UVVVR 42 43	4T α - γ (CP)	6 (γ)	0,1	-	0,04	0,35 (γ)	0	0,2	<0,1	-	-	0,40	0,4(e)*	11,279	0,45
														11,272	0,45

- | | |
|-----------------------|--|
| (a)* N_{acc} | (f)* évaporation |
| (b)* poussée de l'air | (g)* auto-absorption |
| (c)* pente du plateau | (h)* absorption dans le support |
| (d)* rétrodiffusion | (i)* adsorption |
| (e)* stabilité | (k)* correction d'absorption non mesurée |

TABLEAU II (suite)

laboratoire et numéro ampoule	méthode de mesure	corrections (%)				erreurs statistiques (%)						limites des erreurs systématiques (%)	1. résultat final ou 1.8.63 ($\mu\text{m}^{-1}\text{mg}^{-1}$)		
		mouvement propre	temps mort	absorp- tion	autres	mouvement propre	temps mort	fluct. statist.	pesée des gouttes	absorp- tion	autres		erreur statist. totale	2. erreur combinée (%)	
IKO 21	4 $\pi\alpha$ (CP)	0,1	0,2	(k)*	-	-	0,01	0,1	0,05	(k)*	-	0,11	(k)*	11,225	0,15
	4 $\pi\alpha$ - γ (CP)	0,1 a 7 γ	0,1	-	-	0,06	0,01	0,1	0,05	-	-	0,13	-	11,326	0,20
	4 $\pi\alpha$ (sc-pl.)	0,1 b 0,2	0,2	(k)*	-	-	0,01	0,1	0,05	(k)*	-	0,12	(k)*	11,126	0,26
	4 $\pi\alpha$ - γ (sc-pl.)	0,2 a 3,0 γ	0,1	-	-	0,05	0,01	0,1	0,05	-	-	0,13	-	11,448	0,20
OMH 51	4 $\pi\alpha$ (GM)	2,28	6,4	(k)*	-	0,01	0,64	0,1	0,05	(k)*	-	0,96	(k)*	11,34	1,0

- | | |
|-----------------------|--|
| (a)* N_{acc} | (f)* évaporation |
| (b)* poussée de l'air | (g)* auto-absorption |
| (c)* pente du plateau | (h)* absorption dans le support |
| (d)* rétrodiffusion | (i)* adsorption |
| (e)* stabilité | (k)* correction d'absorption non mesurée |

ANNEXE AU TABLEAU II

Pour alléger le tableau II, les colonnes "correction de décroissance" et "erreur sur la mesure du temps" ont été supprimées. En voici les valeurs les plus importantes:

laboratoire	méthode	correction de décroissance	erreur mesure du temps
BCMNI	AS 4 $\pi\alpha$ - γ (CP)	0,1 0,05	0,05 -
IAR	4 $\pi\alpha$ (CP)	-	0,1
LNE	4 $\pi\alpha$ - γ (CP)	-	0,1
NBS	4 $\pi\alpha$ - γ (CP)	0,1	0,1
OMH	4 $\pi\alpha$ (GM)	-	0,5

Les autres laboratoires indiquent tous des valeurs inférieures ou nulles.

TABLEAU III

MÉTHODES ET TECHNIQUES DE PRÉPARATION DES SOURCES POUR LA SOLUTION DE ^{241}Am
MÉTHODES (LS), $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (LS), (GS), (PF)

Laboratoire et numéro ampoule	Liquide scintillant			Description de la méthode de détermination des quantités de solution radioactive et de LS mises en jeu «	Détails sur la linéarité des courbes provenant de l'extrapolation à zéro des taux de comptage obtenus en fonction de l'amplitude des impulsions
	1. Composition du LS 2. Description du traitement subi par la solution originale avant d'avoir été ajoutée au LS 3. Quantité et nature de l'entraîneur ajouté au LS	1. Quantité de solution ajoutée au LS 2. Normalité de la solution ajoutée au LS 3. Volume ou masse du LS utilisé pour les mesures 4. Nombre de sources par traitement			
ICMN 32 33	1. a) 5 g/l PPO + 0,5 g/l POPOP dans du toluène + 15% d'éthanol, b) 5 g/l p-terphényl + 0,5 g/l POPOP dans du toluène + 15% d'éthanol, c) 5 g/l PPO + 100 g/l naphtha- lène + dioxane. 2. Dilution (max 1:10) pour obtenir une normalité et une concentra- tion d'entraîneur adéquates. 3. 200 $\mu\text{g/ml}$ de Eu_2O_3 .	1. 50-100 mg/20 ml 2. 2 NHCl 3. 20 ml 4. a) 5 b) 5 c) 3		Méthode d'extrapolation de la pesée (erreur maximale: 0,1%).	Spectre intégral horizontal avec effet de parois 0,1 - 0,2%. Extrapolation par méthode des moindres carrés.
PAR 28 29	1. 10 g PBD + 0,2 g POPOP par litre de dioxane. 2. - 3. -	1. 55 mg 2. - 3. 5 ml 4. 4		Solution radioactive pesée, et extrapolation ($\pm 0,14\%$). LS: par volumétrie avec une pipette ($\pm 1\%$). €	Courbe linéaire entre 25 et 5 V.
IRK 56 (GS)	1. Toluol + p-terphényl (4 g/l) + POPOP + 8% Al-stéarate. 2. Aucun. 3. Aucun.	1. 20 - 25 mg 2. 0,1 N 3. 25 ml 4. 2		Pesée avec pipette spéciale ($\pm 0,1\%$)	
NPRL 52 53 $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (LS)	1. Mélange de xylène et d'alcool méthyllique dans le rapport 32 à 18 en volume, et contenant 14 g/l de PPO et 0,5 g/l de POPOP. 2. Aucun. 3. 200 mg/l de EuCl_3	1. 0,050 - 0,066 g 2. 0,1 N 3. 12 ml 4. 6		Aliquotes radioactives pesées avec semi-microbalance au moyen de pipettes spéciales; erreur de pesée estimée à 0,1%. Le LS fut mesuré au moyen de pipettes à $\pm 0,25$ ml près.	Pas d'extrapolation à zéro. Utilisation de la méthode de comptage par coïncidences.
PTB	1. Type NE 220 ("Nuclear Enterprises") 2. Aucun. 3. 0,1 ml d'une solution de 0,1 mg/ml $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 0,1 N HNO_3 .	1. 40 à 60 mg 2. 0,1 N 3. 10 ml 4. 7		Une petite pipette contenant la solution radioactive fut pesée avant et après le vidage dans la cuvette avec 10 ml de LS (erreur $\pm 0,1\%$). La quantité de LS fut détermi- née volumétriquement.	Courbe linéaire entre 70 et 20 V.

TABLEAU III (suite)

Laboratoire et numéro ampoule	Liquide scintillant			Description de la méthode de détermination des quantités de solution radioactive et de LS mise en jeu	Détails sur la linéarité des courbes provenant de l'extrapolation à zéro des taux de comptage obtenus en fonction de l'amplitude des impulsions
	1. Composition du LS 2. Description du traitement subi par la solution originale avant de l'ajouter au LS 3. Quantité et nature de l'entraîneur ajouté au LS	1. Quantité de solution ajoutée au LS 2. Normalité de la solution ajoutée au LS 3. Volume ou masse du LS utilisé pour les mesures 4. Nombre de sources par traitement			
IKO 21 $4\pi\alpha$ (LS) et $4\pi\alpha$ (LS)- γ	1. 4g/l POP 0,4g/l POPOP dans 80% de toluène et 20% d'éthanol 2. - 3. 0,1 mg de La^{+++}	1. 100 mg 2. 0,1 N HCl 3. 15 ml 4. 5		Méthode d'extrapolation des pesées obtenues toutes les 30 secondes.	Deux courbes linéaires entre 16 V et 4 V pour différentes hautes tensions.
21 $4\pi\alpha$ (PF) et $4\pi\alpha$ (PF)- γ	1. 4g/l POP et 0,4g/l POPOP dans isopropylidiphenyle 2. - 3. -	1. 100 mg 2. 0,1 N HCl 3. 8 gouttes 4. 5 et 4		id.	id.

TABLEAU IV
CORRECTIONS APPLIQUÉES AUX RÉSULTATS INDIVIDUELS; ERREURS; RÉSULTATS FINAUX
MÉTHODES (LS), $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (LS), (GS), (PF)

Laboratoire et numéro ampoule	Corrections (%)			Erreurs statistiques (%)								Erreurs systématiques (%)		résultat final ou $1,8 \cdot 10^{-63}$ ($\text{s}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$)	erreur combinée (%)
	mouvement propre	temps mort	autres	mouvement propre	temps mort	fluctuat. statist.	pesée des gouttes	mesure du temps	autres	erreur statist. totale	extrapolation à amplitude zéro	autres			
BCMN 32 33	≤ 0,3	≤ 0,1	effet de parois = 0,14	0,03	0,01	0,08	0,08	-	effet de parois 0,05 dilut.: 0,02	0,27	0,06	effet de parois 0,05	11,306 11,304	0,18 0,18	
BAR 28 29	5	2	-	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	-	0,5	1,5	-	11,42 11,75	0,7 0,2	
IRK 56 (GS)	0,42 à 0,97	0,14 à 0,18	-	0,02	0,03	0,3	0,1	0,1	-	0,55	1	-	11,124	1,5	
NPRL 52 53 $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (LS)	a 0,1 à γ 2,5 c 0,1	0,17	-	0,05	-	0,09	0,10	-	-	0,144	-	-	11,282 11,253	0,144 0,144	
PTB	0,05 à 0,2	0,2	-	0,05	0,02	1,2	0,1	0,1	-	1,21	0,5	-	11,22	0,7	
IKO 21 (LS)	0,4 à 1,0	0,2	-	0,05	0,01	0,1	0,05	-	-	0,13	0,1	-	11,291	0,16	
	0,5 α 10 γ	0,1	-	0,2	0,01	0,1	0,05	-	-	0,23	-	-	11,306	0,23	
$4\pi\alpha$ (PF)	0,1 à 0,2	0,2	-	0,02	0,01	0,1	0,05	-	-	0,12	0,2	-	11,285	0,18	
$4\pi\alpha\text{-}\gamma$ (PF)	0,2 α 3,0 γ	0,1	-	0,04	0,01	0,1	0,05	-	-	0,12	-	-	11,354	0,20	

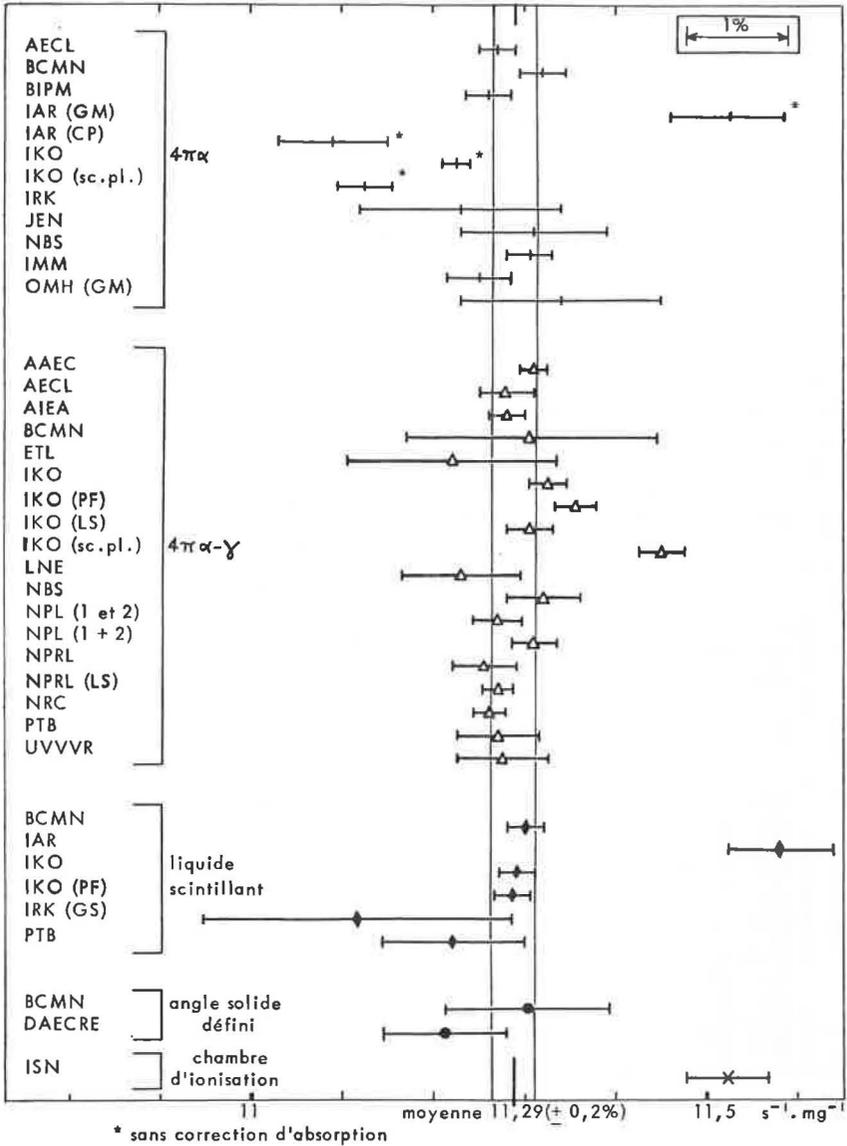


Fig. 1. — Résultats de la comparaison internationale de ^{241}Am (1^{er} août 1963).

ANNEXE 4

RAPPORT SUR LA COMPARAISON INTERNATIONALE DE LA MÉTHODE $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ AU MOYEN DU COBALT 60

(Mars-Avril 1963)

Par A. RYTZ

Bureau International des Poids et Mesures

Abstract. — Seventy-eight high quality solid sources of ^{60}Co , each measured by C.B.N.M. and N.P.L. and one of 20 national or international laboratories, gave an excellent survey of the mutual agreement between $4\pi\beta(\text{PC})-\gamma$ measurements made in different parts of the world; any two laboratories measuring the same source agree in 95 % of the cases within less than 0.61 %; the agreement between C.B.N.M. and N.P.L. is about twice as good.

The corrections to be applied to the measurements and the sources of error inherent to $4\pi\beta-\gamma$ counting have been analyzed in great detail. The decay scheme dependent correction is found to be adequately expressed by $(1-\varepsilon_2)/\varepsilon_2$ multiplied by a constant which has to be determined experimentally.

The measurements of the specific activity of a ^{60}Co solution distributed simultaneously show a dispersion of 1.4 % as compared to 3.1 % obtained 14 months earlier. The presence of systematic errors due to various manipulations of solutions is highly probable. Some evidence of a systematic difference of about 0.5 % as to the method used for determining the mass of the aliquot is put forward.

Solid sources of the type used in this comparison might be useful standards of radioactivity during many years and should be used for evaluating the long term stability of a specified counting equipment.

I. INTRODUCTION

Avant d'entreprendre une étude détaillée de cette comparaison, il semble utile d'en souligner les principales caractéristiques. Pour la première fois dans l'histoire des comparaisons internationales de radionucléides, il a été possible de discuter des différences de l'ordre de quelques 10^{-3} au lieu de 10^{-2} entre des mesures. Les sources solides distribuées ont aidé beaucoup de laboratoires à améliorer considérablement leurs techniques et à éliminer des défauts de leur équipement ou des erreurs dans le calcul des résultats. On peut maintenant juger de façon cohérente l'étalonnage d'une solution de ^{60}Co par la méthode $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$, et la précision et l'exactitude de telles mesures peuvent être exprimées en termes bien définis.

En mars 1962, le Groupe de travail pour la mesure des radionucléides décida, à la suite d'une proposition de V. Naggiar du B.I.P.M., d'organiser une comparaison de sources solides de ^{60}Co . Dans son rapport sur la comparaison du ^{131}I (avril 1961) [1], A. P. Baerg du N.R.C. avait déjà souligné

la nécessité de veiller attentivement au bon fonctionnement de l'appareillage électronique.

Il devint bientôt évident que le succès d'une telle comparaison dépendait entièrement de la stabilité mécanique et de la robustesse des sources solides, puisqu'elles devaient être mesurées au minimum dans trois laboratoires différents. A l'origine, certains membres du Groupe de travail étaient partisans de l'emploi d'un nombre restreint de sources qui seraient expédiées d'un laboratoire à l'autre au sein d'un groupe de quatre à six laboratoires désignés d'après leur situation géographique. Toutefois, un tiers des laboratoires participants désirait utiliser des supports de 30 mm de diamètre extérieur, les autres laboratoires préférant des supports de 38 mm; la constitution de groupes d'après la situation géographique devenait alors difficile et, de plus, les sources risquaient ainsi d'être soumises à de trop nombreux transports et manipulations.

Pour ces raisons, le B.I.P.M. décida d'abandonner l'idée de faire circuler les sources dans des groupes de laboratoires, et d'envoyer à chaque participant trois sources d'activités différentes mais d'efficacités élevées, et une source d'activité moyenne et d'efficacité β fortement réduite. Toutes ces sources devaient être mesurées auparavant par le B.C.M.N. et le N.P.L. puis remesurées en partie par le B.C.M.N. après la comparaison. Les laboratoires désirant conserver leurs sources pourraient les réclamer, mais quelques-uns seulement en ont exprimé le désir.

Le B.C.M.N. prépara environ 300 sources, dont la plupart furent mesurées également par le N.P.L. Un assez grand nombre de ces sources furent cassées en cours de transport. Douze sources firent l'objet d'une comparaison préliminaire entre le B.C.M.N., le N.P.L. et le B.I.P.M. (décembre-janvier 1962). Le succès de la comparaison internationale dépendait en grande partie de l'expérience acquise au cours de cette comparaison préliminaire qui devait permettre à ces trois laboratoires une mise au point des techniques de mesure et des emballages. Cette comparaison préliminaire devait aussi fournir des renseignements précieux quant à l'établissement de formulaires pour la consignation des résultats. En effet, le succès d'une comparaison internationale dépend en grande partie de la qualité de ces formulaires.

Bien qu'il semblât superflu de distribuer des ampoules de solution de ^{60}Co avec les sources solides, nous décidâmes de le faire car c'était une occasion unique de comparer des mesures de solutions effectuées dans des conditions de comptage bien établies.

Deux ampoules et quatre sources solides furent expédiées à chacun des 24 laboratoires entre le 12 et le 25 mars 1963; la liste des laboratoires ayant communiqué leurs résultats est donnée au tableau I, p. 87. Les sources endommagées en cours de transport furent remplacées dans la mesure du possible. Quinze sources seulement furent cassées sur les 106 expédiées.

Pour ne pas influencer les expérimentateurs, les résultats du B.C.M.N. et du N.P.L. ne leur furent communiqués qu'après la transmission de leurs propres résultats au B.I.P.M. Après réception de la majorité des résultats au B.I.P.M. un rapport préliminaire contenant pratiquement toutes les informations communiquées fut adressé aux participants (août 1963). Les laboratoires devaient conserver une source et expédier les autres au B.C.M.N. pour des mesures de contrôle, comme indiqué plus haut. Ces

mesures, effectuées avec 43 sources en provenance de 17 laboratoires, furent terminées le 6 août 1963; quelques-uns des résultats sont donnés dans le tableau IV (p. 95). La date de référence était le 1^{er} janvier 1963.

Les tableaux du rapport préliminaire ont été complétés et corrigés; quelques résultats supplémentaires y ont été inclus.

II. DESCRIPTION DES SOURCES SOLIDES ET DE LA SOLUTION

La préparation des sources et de leurs supports a été décrite par A. Spernol *et al.* (1964) [2] comme suit :

Les sources d'efficacité β (ϵ_β) élevée ont été montées sur des supports d'aluminium de 0,1 mm d'épaisseur, 38 ou 30 mm de diamètre extérieur et 16 mm de diamètre intérieur. Elles ont été préparées par dépôt électrolytique d'une solution ammoniacale ($\text{pH} \geq 8$) sur un film mince de VYNS (5 à 10 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) recouvert des deux côtés d'une mince couche d'or (10 à 20 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$). La solution dans 0,1 N HCl avait une activité d'environ 10 $\mu\text{Ci} \cdot \text{ml}^{-1}$ et contenait environ 5 μg de cobalt par ml.

Pour les sources de faible efficacité ($\epsilon_\beta \approx 48 \%$) on a utilisé des feuilles dorées d'acétylbutyrate (« Makrolon ») de 3 $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$. Une goutte de la solution radioactive fut pesée et déposée sur le film. Après un traitement au « Ludox » et précipitation avec du $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, les cristaux furent fixés au moyen d'une goutte d'une solution à 1 % de cellulose; la source fut séchée puis recouverte d'un film semblable à ceux qui sont utilisés pour les sources de haute efficacité β . Enfin, deux sources de ce type furent assemblées, les films épais se trouvant à l'extérieur. Les deux supports d'aluminium furent soudés par points pour assurer une meilleure stabilité mécanique. La masse surfacique des films minces et des dépôts d'or était connue à $\pm 3 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Les deux caractéristiques principales d'une source solide sont le taux de désintégration vrai et l'auto-absorption. La première dépend uniquement de la source; quant à l'auto-absorption, elle n'est pas observée indépendamment du dispositif de comptage puisqu'elle dépend aussi du niveau de discrimination de la voie β . La constance de ces deux grandeurs devait être surveillée de très près. Spernol *et al.* entreprirent une série de tests rigoureux, comprenant des chocs mécaniques, et remarquèrent que l'activité de ces sources reste constante à $\pm 0,1 \%$ pendant plusieurs mois, même sous des conditions extrêmes. En ce qui concerne l'auto-absorption, ils observèrent une stabilité des taux de comptage à $\pm 0,1 \%$ ou moins. A un niveau de discrimination de 1 keV, ils obtinrent des efficacités β comprises entre 97,2 et 98,0 %. De plus, les variations linéaires de ϵ_β en fonction de l'épaisseur des feuilles et de l'activité furent conformes à ce qu'on pouvait raisonnablement attendre.

La solution distribuée (dans 0,1 N HCl) contenait environ 30 $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ de CoCl_2 et avait une activité massique de l'ordre de $1,5 \times 10^6 \text{ s}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$. Elle contenait environ 20 $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ d'entraîneur (Co). Une fraction de la solution avait servi à déterminer la période du ^{60}Co sur une durée de 3 années, d'après différentes méthodes. La valeur de cette période était (5,265 + 0,005) ans. Une analyse par spectrométrie γ ne permit pas de découvrir plus de 0,05 % d'impuretés sous forme d'émetteurs γ avec une énergie supérieure à 30 keV. (Pour une description de la méthode utilisée, voir R. Vaninbroukx

et G. Grosse [3]). La pureté radio-chimique pouvait donc être garantie à moins de 0,1 %.

Trois mesures de l'activité massique donnèrent les résultats suivants :

1 525,0 s ⁻¹ .mg ⁻¹ ± 0,2 %	par 4πβ(CP)-γ
1 526,8	± 0,2 % par 4πβ(LS)-γ
1 534	± 2 % par chambre d'ionisation.

La solution fut distribuée dans des ampoules de 5 ml dont le contenu avait été pesé à ± 0,02 %. L'activité de chaque ampoule fut mesurée par spectrométrie γ avec une imprécision de ± 0,05 %. Une comparaison du quotient du taux de comptage par la masse avec l'activité massique moyenne concordait à ± 0,35 %. Les auteurs indiquent que les nombres donnant l'activité et la masse de la solution dans les ampoules sont corrects à environ ± 0,1 %.

III. CALCUL DU TAUX DE DÉSINTÉGRATION ABSOLU N₀

1. Formules utilisées dans cette comparaison.

La théorie du comptage 4πβ-γ est maintenant assez bien connue. Bien qu'il existe plusieurs façons, légèrement différentes, d'interpréter les taux de comptage mesurés, il a semblé raisonnable de recommander l'emploi d'une formule tirée d'un article bien connu de P. J. Campion (1959) [4], à moins qu'un dispositif de comptage spécial ne nécessite l'emploi d'une autre formule. Cette formule peut s'écrire sous la forme de l'équation (1) ou (2).

$$(1) \quad N_0 = \frac{N_\beta N_\gamma [1 - \tau_R(N'_\beta + N'_\gamma)]}{(N_c - 2\tau_R N'_\beta N'_\gamma) (1 - N'_c \tau) (1 + K_\epsilon)}$$

pour $\tau_c < \tau_\beta$ et/ou τ_γ

$$(2) \quad N_0 = \frac{N_\beta N_\gamma [1 - \tau_R(N'_\beta + N'_\gamma)]}{(N_c - 2\tau_R N'_\beta N'_\gamma) [1 - N'_c(\tau_\beta + \tau_\gamma - \tau_c)] (1 + K_\epsilon)}$$

pour $\tau_c > \tau_\beta$ et τ_γ

$N'_\beta, N'_\gamma, N'_c$: taux de comptage observés (comptage β, γ ou coïncidences) sans aucune correction;

N_β, N_γ, N_c : taux de comptage corrigés pour le mouvement propre;

$\tau_\beta, \tau_\gamma, \tau_c$: temps morts pour les voies β, γ et c;

τ : valeur la plus faible de τ_β ou τ_γ ;

τ_R : temps de résolution du circuit de coïncidences;

K_ϵ : correction due au schéma de désintégration.

En outre, les formules suivantes (Williams et Campion, 1963) [5] seront utilisées :

$$(3) \quad K_\epsilon = \frac{1 - \epsilon_\beta}{\epsilon_\beta} C[(\epsilon_\beta)_\gamma, \epsilon_\gamma]$$

$$(4) \quad \epsilon_\beta = \left[\frac{N_\beta}{(1 - N'_\beta \tau_\beta) N_0} - (\epsilon_\beta)_\gamma \right] \frac{1}{1 - (\epsilon_\beta)_\gamma}$$

$$(5) \quad \epsilon_\gamma = \frac{N_\gamma}{(1 - N'_\gamma \tau_\gamma) N_0}$$

$\epsilon_\beta, \epsilon_\gamma$: efficacités des compteurs β et γ;

$(\epsilon_\beta)_\gamma$: efficacité γ du compteur β;

C : constante pour un dispositif et un radionucléide donnés.

$$(6) \quad N_{acc} = N_c \frac{N_c - 2\tau_R N_\beta' N_\gamma'}{1 - \tau_R(N_\beta' + N_\gamma')}$$

N_{acc} est le taux des coïncidences accidentelles, exprimé habituellement en pour cent de N_c .

Si l'équation (4) est remplacée par

$$(4a) \quad \varepsilon_\beta' = \frac{N_\beta}{(1 - N_\beta' \tau_\beta) N_0}$$

la différence $\varepsilon_\beta - \varepsilon_\beta'$ entre les équations (4) et (4a) prend les valeurs suivantes :

$$\begin{array}{lll} -0,2 \% & \text{pour} & \varepsilon_\beta \approx 90 \% \text{ et } (\varepsilon_\beta)_\gamma \approx 2 \% \\ -1,0 \% & \text{»} & 50 \% \text{ »} \text{ »} \\ -1,4 \% & \text{»} & 30 \% \text{ »} \text{ »} \end{array}$$

2. Quelques autres formules.

L'équation (7) provient des articles de A. Gandy [6, 7, 8] mais, pour plus de simplicité, nous avons omis le mouvement propre.

$$(7) \quad N_{0G} = \frac{N_\beta N_\gamma [1 + \tau N_c - \tau_R(N_\beta + N_\gamma)]}{N_c(1 - \tau^2 N_\beta N_\gamma) - 2\tau_R N_\beta N_\gamma} \quad \text{pour} \quad \tau_\beta = \tau_\gamma = \tau.$$

En supposant $\tau_\beta = \tau_\gamma$, et en négligeant les termes du troisième ordre, nous trouvons par comparaison avec (1)

$$\frac{N_{0G} - N_{0G}}{N_{0G}} \approx \tau^2(N_c^2 - N_\beta N_\gamma) - \tau \tau_R N_c(N_\beta + N_\gamma).$$

On peut voir que cette différence est inférieure à 0,1 % dans tous les cas considérés dans cette comparaison.

J. Bryant [9] utilise une formule légèrement différente :

$$(8) \quad N_{0B} = \frac{N_\beta N_\gamma \left[1 + \frac{N_c \tau - \tau_R(N_\beta + N_\gamma)}{1 - (N_\beta + N_\gamma) \tau / 2} \right]}{N_c - 2\tau_R N_\beta N_\gamma}.$$

Il ressort que la différence entre (8) et (1) est encore bien inférieure aux erreurs de mesure.

Enfin, nous pouvons mentionner une formule de A. Spagnol *et al.* [2] utilisée simultanément avec (1) et (2), dans le but de simplifier les calculs :

$$(9) \quad N_{0S} = \frac{N_\beta N_\gamma}{(N_c - \tau_R N_\beta N_\gamma) (1 - N_c \tau)}$$

$$(10) \quad N_{accS} = \tau_R N_\beta N_\gamma.$$

Le calcul de la différence relative donne :

$$\frac{N_{0G} - N_{0S}}{N_{0G}} \approx \tau_R N_0 (1 - \varepsilon_\beta).$$

Cette expression fournit une valeur supérieure d'un ordre de grandeur par rapport aux deux cas précédents. Toutefois, pour $\varepsilon_\beta \geq 95\%$ et $\tau_R \leq 2 \mu\text{s}$ cette différence ne doit pas dépasser 0,1 % pour des activités atteignant 10^4 s^{-1} .

3. Efficacité β et stabilité des sources solides.

L'efficacité β (ϵ_β) dépend des propriétés de la source et du seuil de discrimination de la voie β . La meilleure façon de déterminer le seuil de détection d'un compteur proportionnel consiste à observer les rayons X d'un radionucléide à capture d'électrons sans émission de rayons γ , tel que le ^{55}Fe . La plupart des laboratoires, B.C.M.N. et N.P.L. compris, situent leur seuil de détection β entre 0,1 et 1 keV. Cette dernière valeur correspond à une perte d'environ 1 % de toutes les particules β émises et peut être calculée d'après le spectre β connu pour être de la forme permise. A. Spernol *et al.* [2] ont étudié soigneusement la variation de ϵ_β en fonction de l'épaisseur des feuilles et de l'activité, et ont réussi à extrapoler au cas d'une source infiniment mince pour laquelle ils ont obtenu $\epsilon_\beta = 98,8$ %. Le reste, 1,2 %, est attribué à une perte par discrimination à environ 1 keV. Dix-huit sources ont été comparées spécialement par le B.C.M.N. et le N.P.L. Ces laboratoires ont trouvé que l'activité et l'efficacité β sont demeurées constantes à mieux que 0,1 % près, malgré le transport par avion. Deux sources ont été secouées mécaniquement pendant plusieurs heures et soumises à des chocs violents, mais la variation de l'activité n'a pas dépassé 0,1 %.

4. Corrections.

a. *Mouvement propre.* — L'application de cette correction est très simple. Seul le mouvement propre γ a quelque importance, à moins que le compteur β n'ait été sérieusement contaminé.

b. *Temps mort.* — Les formules (1) et (2) contiennent les facteurs de correction de temps mort. Il existe deux cas différents et il apparaît que la correction peut être positive ou négative. Étant donné qu'une réduction du taux de coïncidences se traduit par une valeur de N_0 trop élevée, une correction négative est nécessaire pour un temps mort du circuit de coïncidences supérieur à ceux des voies β et γ . Grâce à l'emploi en parallèle de deux systèmes électroniques, le B.C.M.N. a pu comparer les deux types de résultats. Bien que ce laboratoire ait obtenu des différences de 3 à 4 % entre les taux de comptage β non corrigés, l'application de formules de corrections appropriées a conduit à un accord à 0,1 % près, indépendant de l'activité de la source et de la valeur des temps morts. Ceci est une excellente preuve de la validité des facteurs de correction des temps morts dans les formules (1) et (2).

La façon la plus commode de mesurer les temps morts est d'employer un générateur à double impulsion à retards réglables et un oscilloscope étalonné. Toutefois, un contrôle par la méthode des deux sources peut s'avérer utile, bien qu'il nécessite davantage de temps. Il est recommandé de remesurer fréquemment les temps morts et de réajuster le retard relatif.

c. *Coïncidences accidentelles.* — Les impulsions de coïncidences dues à deux événements (P. J. Champion, 1959) [4] qui ne sont pas en corrélation se produisent à un rythme donné par l'équation (6). Bien qu'il existe d'autres définitions des coïncidences accidentelles (fortuites, instrumentales), nous ne pouvons pas les comparer les unes aux autres car elles ne sont pas traitées séparément dans les calculs de J. Bryant [9] ou A. Gandy [6, 7, 8]. Étant donné toutefois que la différence entre ces formules et celle de P. J. Champion

est toujours négligeable, nous utiliserons cette dernière. En négligeant les termes de second ordre, nous pouvons écrire (6) comme suit :

$$\frac{N_{acc}}{N_c} \approx \tau_R N_0 (2 - \varepsilon_\beta - \varepsilon_\gamma).$$

Dans les cas considérés dans ce rapport, cette correction est presque toujours comprise entre 0,1 et 1 %.

d. *Correction dépendant du schéma de désintégration (K_ε) et efficacité γ du compteur β (ε_β) γ .* — A. Williams et P. J. Campion [5] ont fait une étude détaillée de la théorie de ces corrections. Étant donné que K_ε est négligeable pour des sources d'efficacité élevée, la comparaison a été étendue à des sources dont l'efficacité β a été réduite artificiellement, dans le but d'étudier l'effet de cette correction.

Ainsi que l'ont indiqué Williams et Campion, cette correction (qui dépend de la géométrie du compteur et du matériau utilisé, des seuils de détection et des efficacités) doit être déterminée expérimentalement. La plupart des laboratoires participants ont utilisé des feuilles absorbantes d'épaisseurs croissantes et ont porté $\frac{N_\beta N_\gamma}{(N_c - N_{acc}) N_0}$ en fonction de $\frac{1 - \varepsilon_\beta}{\varepsilon_\beta}$. La pente de cette ligne droite est égale à la constante C de l'équation (3) ou à l'expression $(\varepsilon_\beta)_\gamma$. Cette dernière est obtenue si la discrimination de la voie γ est fixée de façon à accepter le pic photoélectrique de 1 332 keV seulement.

Des expériences faites au B.I.P.M. ont montré que les feuilles absorbantes relativement épaisses doivent être utilisées avec précaution. Ainsi, par exemple, il arrive fréquemment que les feuilles de mylar aluminé n'établissent pas un bon contact électrique avec le support et donnent des taux de comptage très variables. Il en est parfois de même avec les feuilles d'aluminium, à moins qu'elles ne soient recouvertes d'une feuille d'or très mince. Cet effet pourrait être dû à un mauvais contact entre la feuille et le support.

Le J.E.N. a utilisé une autre méthode qui est décrite dans un rapport interne [10]. Au lieu de modifier ε_β en utilisant des absorbeurs, on obtient une variation de l'angle solide du compteur $4\pi\beta$ en utilisant alternativement une moitié du compteur puis les deux. Cette méthode semble donner des résultats utiles, quoique peu précis.

Deux laboratoires (I.A.R. et U.V.V.V.R.) ont indiqué des valeurs très élevées pour K_ε , 2,7 et 2,8 % respectivement. Étant donné que les valeurs moyennes de N_0 obtenues par le B.C.M.N. et le N.P.L. sont supérieures à ces deux résultats de 2,7 et 3,1 % respectivement, nous pensons que l'I.A.R. et l'U.V.V.V.R. ont fortement surestimé cette correction qui devrait se situer au voisinage de zéro.

IV. DISCUSSION DES ERREURS ET DES RÉSULTATS DES MESURES DES SOURCES SOLIDES

La figure 1 donne une comparaison graphique de toutes les mesures effectuées avec les sources solides. Les erreurs mentionnées dans la colonne 11 du tableau II (p. 88) sont traduites par les longueurs variables des rectangles correspondants sur la figure. Deux particularités méritent d'être

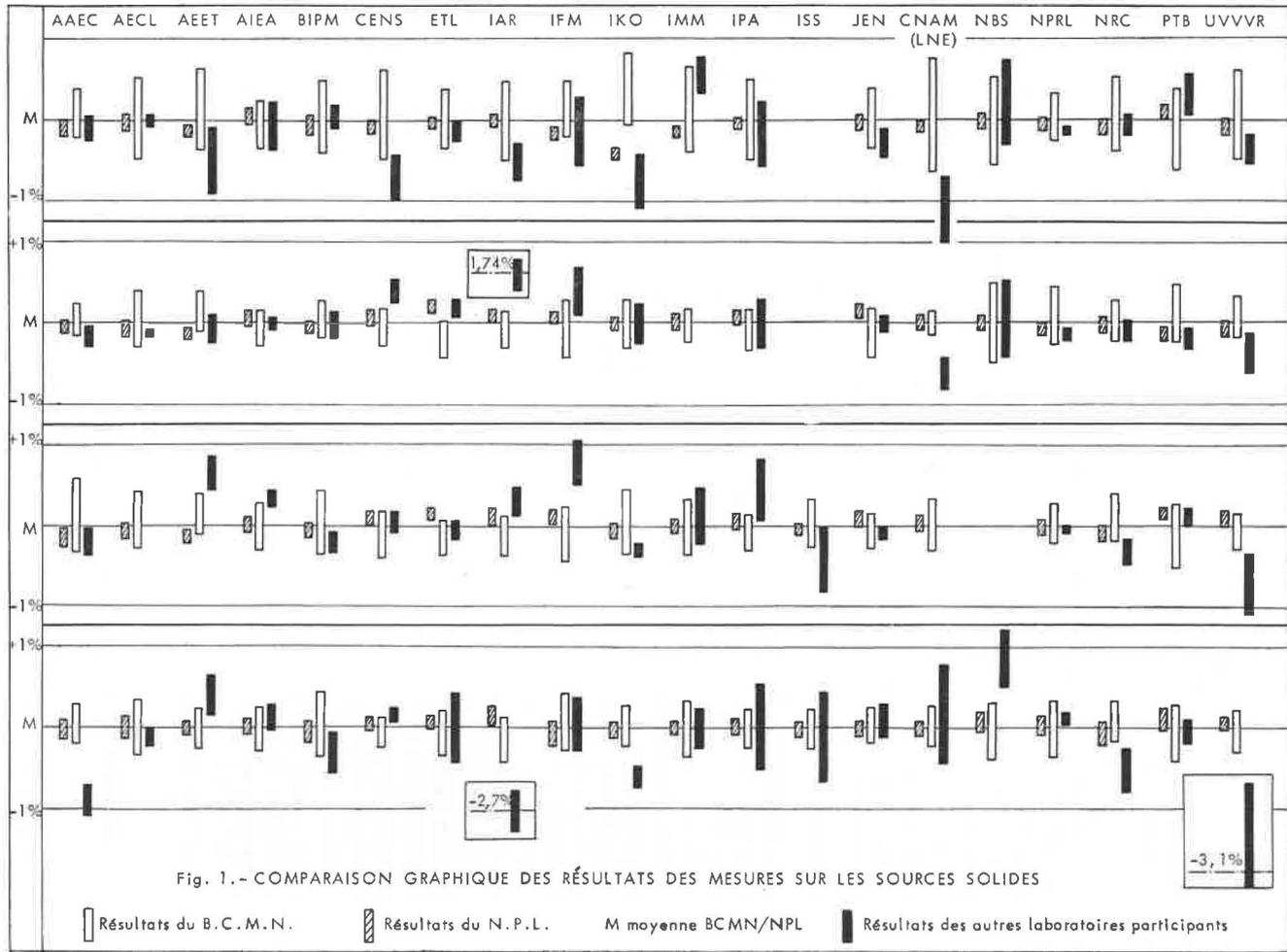


Fig. 1.- COMPARAISON GRAPHIQUE DES RÉSULTATS DES MESURES SUR LES SOURCES SOLIDES

soulignées : l'accord remarquable entre les résultats de plusieurs laboratoires et les différences importantes entre les erreurs qui leur sont attribuées. Nous examinerons plus spécialement ces deux points. Toutes les expressions caractérisant des erreurs ou des composantes d'erreurs utilisées dans ce rapport sont représentées sur la base de une fois l'écart-type; il s'agit donc partout de « standard errors ».

Comme pour n'importe quelle mesure, nous ne désirons pas connaître seulement la valeur numérique de la grandeur considérée, mais aussi sa précision et son exactitude. Une définition de ces termes est donnée dans le N.B.S. Handbook 80 [11] et par Ch. Eisenhart [12]. L'inexactitude d'une mesure est due à la fois à des composantes constantes et à des composantes variables. On peut penser parfois que ces dernières varient de façon plus ou moins accidentelle, surtout quand elles sont relativement petites. Il est possible de déterminer expérimentalement leur effet combiné en tenant compte des erreurs purement accidentelles, à condition que la mesure puisse être répétée un grand nombre de fois. Cependant, il peut être impossible ou difficile de reproduire des mesures identiques si les conditions dans lesquelles elles sont faites ne sont pas constantes pendant des périodes de temps suffisamment longues. Dans ce cas, on peut obtenir une valeur plus sûre de la reproductibilité d'une mesure en effectuant une étude approfondie des différentes sources d'erreurs et en combinant leurs effets de façon appropriée. Cette méthode est particulièrement utile dans une comparaison comme celle-ci, car elle permet d'expliquer plus facilement certains désaccords. Il faut toutefois se rappeler qu'on devrait toujours essayer de déterminer *expérimentalement* l'effet relatif produit par chaque source d'erreur sur le résultat. Même dans ce cas, et en calculant l'effet combiné, il ne faut pas oublier :

1° que d'importantes sources d'erreurs ont pu être omises ou mal interprétées;

2° que certaines composantes d'erreurs ne sont pas accidentelles;

3° que les erreurs systématiques constantes ont peu de chance d'être décelées si une seule méthode de mesure est utilisée.

Nous croyons cependant que notre connaissance du schéma de désintégration du ^{60}Co et de la méthode $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ est suffisante pour infirmer les objections 1° et 2°. Quant aux erreurs systématiques constantes, nous verrons plus loin qu'elles ne peuvent pas être négligées complètement.

Les erreurs contenues dans les colonnes *a* à *h* du tableau III (p. 91) étant relativement faibles et assez indépendantes les unes des autres, on peut les additionner de façon statistique, c'est-à-dire en prenant la racine carrée de la somme de leurs carrés. Il semble raisonnable de considérer cette expression comme une mesure de l'imprécision du résultat correspondant ou, puisque les erreurs systématiques sont très petites, de son inexactitude.

Il faut noter que la distinction entre les erreurs systématiques variables et les erreurs accidentelles est plutôt arbitraire. A vrai dire, les erreurs systématiques variables peuvent se transformer en erreurs accidentelles si elles sont faibles et si la durée de la mesure est suffisamment longue. Cette durée est toutefois limitée par l'exactitude avec laquelle la période et les taux d'impuretés radioactives sont connus.

Le caractère statistique de la transmutation radioactive des atomes impose une limite inférieure à la précision possible qui peut être exprimée

en fonction de l'écart-type de N_0 désintégrations par seconde mesurées pendant t secondes. P. J. Campion et J.G.V. Taylor [13] ont exprimé cet écart-type comme suit :

$$(11) \quad \sigma = \left[\left(2 + \frac{1 - \varepsilon_\beta - \varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\beta \varepsilon_\gamma} \right) / N_0 t \right]^{1/2}.$$

Il est évident que ceci n'est vrai que si $N'_\beta, N'_\gamma, N'_c$ ont été mesurés simultanément. De plus, l'A.I.E.A. a attiré notre attention sur le fait que, quand la perte d'impulsions des coïncidences due au temps mort dans la voie β est importante, cette formule doit être modifiée.

Le temps total de mesure t doit, dans toute la mesure du possible, être choisi de façon que σ reste beaucoup plus petit que la somme des autres erreurs. Ce temps t est généralement subdivisé en un nombre n d'intervalles égaux pour déterminer la « standard error » (écart-type expérimental) du résultat moyen \bar{x}

$$(12) \quad s_{\bar{x}} = \frac{100}{\bar{x}} \left[\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 / n(n-1) \right]^{1/2} (\%),$$

où $\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n$. Le nombre n doit être suffisamment élevé pour que le résultat soit statistiquement significatif.

La grandeur $s_{\bar{x}}$ ainsi obtenue peut être différente de σ (équation 11) à cause d'erreurs systématiques variables ou, en d'autres termes, parce que la distribution des résultats partiels x_i n'est pas normale. Néanmoins, si $s_{\bar{x}} - \sigma < 0$, la même différence de signe opposé ne semble pas moins probable. En fait, $s_{\bar{x}}$ est généralement supérieur à σ . Pour cette raison, la colonne f du tableau III contient principalement $s_{\bar{x}}$.

Certains laboratoires ont interprété l'expression $(s_{\bar{x}}^2 - \sigma^2)^{1/2}$ comme une mesure de la stabilité de l'ensemble de comptage et ont inscrit cette valeur dans la colonne h . Le N.B.S. a obtenu une valeur qui atteint 0,3 % et qui est basée sur des mesures répétées. Il faut noter que, malheureusement, les sources d'activité moyenne et élevée expédiées à ce laboratoire ont toutes été cassées en cours de transport. Des mesures de taux de comptages plus élevés auraient pu donner une valeur qui fût moins en contradiction avec la valeur (zéro) du N.P.L. qui est basée sur des mesures répétées de la même source. Plusieurs laboratoires se sont contentés d'une simple estimation de cette erreur et ont indiqué des valeurs comprises entre 0,05 et 0,1 %.

En fait, la colonne h était destinée de façon quelque peu arbitraire aux cas où deux systèmes électroniques différents seraient utilisés simultanément, comme l'avait fait le B.C.M.N. pendant toute la durée des mesures. Ce laboratoire a donc indiqué dans la colonne h la moitié de la différence relative des deux résultats.

La colonne h devait donc en réalité rassembler les effets de toutes les erreurs suspectées, mais inconnues, si elles n'apparaissent pas dans les autres colonnes. Il est à noter que les colonnes b , d et h contiennent de loin les contributions les plus importantes à l'erreur combinée. Nous pouvons donc limiter la suite de la discussion à ces trois composantes (coïncidences accidentelles, mouvement propre γ , stabilité du système électronique).

Ainsi que nous l'avons vu en III.2, l'expression « coïncidences acciden-

telles » est suffisamment bien définie par la formule (6) de P. J. Champion. Pour simplifier, nous pouvons même utiliser la formule (10). Nous trouvons alors aisément pour l'erreur relative de N_0 due à la correction N_{acc} :

$$\left(\frac{\Delta N_0}{N_0}\right) N_{acc} \approx \frac{N_{acc}}{N_c - N_{acc}} \frac{\Delta \tau_R}{\tau_R} \approx \frac{\Delta \tau_R}{\tau_R} \frac{N_{acc}}{N_c}$$

Ceci veut dire que cette erreur est proportionnelle aux fluctuations $\Delta \tau_R$ et est environ cent fois plus petite que $\Delta \tau_R / \tau_R$. Il est intéressant de comparer les erreurs de la colonne *b* du tableau III (p. 91) à la correction N_{acc}/N_c du tableau II (p. 88). A titre d'exemple, la moitié gauche du tableau A donne ces valeurs pour les sources d'efficacité élevée (ϵ_3) et d'activité moyenne ($N_0 \approx 3\,000\text{ s}^{-1}$). Le quotient $\frac{100\ b}{N_{acc}/N_c}$ donne en pour cent les fluctuations relatives $\Delta \tau_R / \tau_R$ auxquelles est due cette erreur. Cette grandeur peut être

TABLEAU A

Comparaison des erreurs résiduelles provenant de l'application de corrections pour les coïncidences occidentelles et le mouvement propre

laboratoire	$100 \frac{N_{acc}}{N_c}$ (tableau II)	$100 \left(\frac{\Delta N_0}{N_0}\right) N_{acc}$ (colonne "b" tableau III)	$100 \frac{b''}{N_{acc}/N_c}$	$100 \frac{\Delta \tau_R}{\tau_R}$ fluctuation mesurée	$\sigma_B = \frac{100}{\epsilon_3} \frac{1}{N_0} \left(\frac{8\gamma}{\tau}\right)^{1/2}$	$100 \left(\frac{\Delta N_0}{N_0}\right)_{B\gamma}$ (colonne "d" tableau III)	$(\Sigma \Delta^2)^{1/2}$	
							(tableau II)	colonnes "b" et "d" remplacées par $10 \left(\frac{N_{acc}}{N_c}\right)$ et $2 \sigma_B$
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AAEC	0,77	0,048	6,2		0,029	0,06	0,10	0,108
AECL	0,19	0,003	1,6	1,5	0,004	0,02	0,03	0,030
AEET	0,57	0,114	20		0,051	0,11	0,18	0,120
AIEA	0,67	0,05	7,5		0,014	0,03	0,08	0,090
BCMN	0,34	0,05	15	5	0,041	0,25	0,30	0,130
	0,25	0,05	20	5	0,009	0,03	0,25	0,208
BIPM	0,23	0,047	20	5	0,023	0,08	0,11	0,074
CENS	0,28	0,045	16		0,027	0,12	0,16	0,110
CNAM	0,35	0,07	20		0,136	0,15	0,2	0,240
ETL	0,56	0,06	11		0,015	0,03	0,10	0,095
IAR	0,93	0,046	5		0,005	0,0023	0,21	0,226
IFM	0,80	0,12	15		0,057	0,18	0,26	0,186
IKO	0,013	-	-		0,017	0,024	0,248	0,247
IMM	0,46	0,09	20		0,020	0,0048	0,35	0,205
IPA	0,98	0,2	18		0,017	0,11	0,31	0,236
ISS	1,80	0,36	20		0,023	0,016	0,393	0,240
JEN	0,28	0,03	10,5		0,002	0,090	0,101	0,062
NBS	0,12	0,012	10		0,019	0,04	0,47	0,340
NPL	0,16	0,02	12,5		0,011	0,01	0,14	0,074
NPRL	0,06	-	-		0,008	0,02	0,05	0,052
NRC	0,21	0,02	10		0,004	0,02	0,11	0,110
PTB	0,39	0,039	10		0,010	0,054	0,10	0,092
UVVVR	0,64	0,20	31		0,017	0,02	0,24	0,156

déterminée expérimentalement et est indiquée dans les cas où elle a été communiquée. Nous pensons qu'en général cette erreur a été légèrement surestimée, bien qu'on puisse prétendre que, dans certains cas, des fluctuations de la mise en forme et du délai relatif entre les deux voies soient susceptibles d'introduire des erreurs importantes.

Considérons maintenant la seconde erreur partielle, importante dans le calcul de l'incertitude finale. Cette erreur est due aux fluctuations du taux du mouvement propre dans la voie γ . Si nous adoptons une méthode semblable à celle qui est utilisée par P. J. Campion et J.G.V. Taylor [13] pour calculer l'écart-type σ , nous obtenons l'expression suivante pour l'erreur approchée due à des fluctuations purement statistiques dans la correction du mouvement propre :

$$\sigma_B \approx \left[B_c + B_\beta + \left(\frac{1 - \varepsilon'_\gamma}{\varepsilon_\gamma} \right)^2 B_\gamma \right]^{1/2} \frac{100}{N_0 \sqrt{t}} (\%)^*.$$

ε'_γ exprime le rapport B_c/B_β ; t est le temps de mesure en secondes. Il faut noter que nous pouvons toujours négliger B_β et B_c et donc écrire, puisque $\varepsilon'_\gamma \ll 1$,

$$\sigma_B \approx \left(\frac{B_\gamma}{t} \right)^{1/2} \frac{100}{\varepsilon_\gamma N_0} (\%).$$

Nous supposons que les taux de comptage B_γ du mouvement propre γ ont été déterminés avec une exactitude convenable.

Cette expression a été calculée pour les sources d'efficacité β élevée, 3 000 s⁻¹; les valeurs sont reportées dans le tableau A avec, à titre de comparaison, la valeur indiquée par les laboratoires.

En remplaçant les colonnes b et d par $10 \frac{N_{acs}}{N_c}$ et $2\sigma_B$ respectivement, et en supprimant les colonnes c et e , nous avons calculé une nouvelle erreur combinée qui est comparée à l'« erreur » totale mentionnée par les laboratoires participants dans la partie droite du tableau A. Pour tenir compte du fait que les taux de comptage du mouvement propre fluctuent en général plus que ne le prévoient les calculs statistiques, nous avons doublé l'erreur purement statistique du mouvement propre. La forte erreur due au mouvement propre γ , mentionnée par le B.C.M.N. dans le premier exemple, peut s'expliquer par le fait qu'une faible efficacité γ a été utilisée et que ce laboratoire a pris pour cette erreur 10 % de la correction. Avec d'autres sources, où $\varepsilon_\gamma \approx 33$ %, cette erreur se situait souvent entre 0,05 et 0,1 % seulement.

Il convient de noter que les erreurs résultantes sont très peu modifiées par ces nouveaux calculs, bien qu'on puisse observer une réduction générale. Nous pensons donc que les erreurs indiquées par les laboratoires donnent, dans la plupart des cas, une assez bonne idée de l'exactitude des résultats obtenus. Ceci est encore confirmé par quelques preuves expérimentales et par une étude statistique des résultats des sources solides que nous allons discuter maintenant.

Quelque temps après la fin de cette comparaison, nous avons entrepris plusieurs séries de mesures de longue durée d'une même source, dans des conditions aussi stables que possible, mais sans contrôle thermique du labo-

* A noter que l'expression de droite est sans dimension seulement si nous donnons aux taux de comptage la dimension s⁻¹.

ratoire. Des sources de 2 800 et 9 900 s⁻¹ ont été mesurées toutes les 1 000 secondes pendant plusieurs jours. Les écarts-types pour des distributions de Poisson pures sont 0,075 et 0,040 % respectivement, tandis que les « standard errors » obtenues à partir des valeurs mesurées atteignaient 0,101 et 0,30 % respectivement. Il est intéressant de noter que les seules fluctuations du taux de comptage β n'étaient que légèrement inférieures à celles de N_0 .

La précision à long terme de notre ensemble de comptage $4\pi\beta\gamma$ fut par ailleurs vérifiée par une mesure de période. L'activité globale de quatre sources solides semblables fut mesurée régulièrement au B.I.P.M. pendant dix-huit mois dans des conditions strictement similaires. Les sources avaient chacune une activité initiale d'environ 3 000 s⁻¹ et furent mesurées chaque fois avec une incertitude statistique de $\pm 0,05$ %. Le calcul des moindres carrés donna une « standard error » de 0,14 % pour chacune des sommes des quatre activités. L'erreur résiduelle de 11 mesures sur 17 fut inférieure à 0,14 %, et une mesure seulement avait une erreur résiduelle supérieure à 0,28 %.

La période correspondante de $(5,300 \pm 0,033)$ ans est en bon accord avec la valeur trouvée par le B.C.M.N.

Les expériences de longue durée montrent clairement que les erreurs systématiques variables sont distribuées de façon quasi normale. Il est toutefois possible que leur influence ne soit pas détectée au cours de mesures limitées à quelques jours. D'autre part, une estimation minutieuse de l'effet combiné de toutes les sources d'erreurs peut donner, dans bien des cas, des résultats utiles qui permettent de comparer l'importance relative des différents effets.

Enfin, une étude statistique intéressante de tous les résultats des sources solides a été effectuée par W. J. Youden [14]; nous nous référons ci-dessous à cette communication privée. Les résultats sont divisés en trois groupes selon l'activité; chaque groupe est considéré séparément (tableau B). Une première analyse (a) concerne les différences entre le B.C.M.N. et le N.P.L.; la seconde (b) les différences entre les résultats des laboratoires et les valeurs moyennes du B.C.M.N. et du N.P.L. Pour simplifier les calculs, nous supposons que la précision est sensiblement la même pour tous les laboratoires.

(a) Admettons que nous ayons n différences Δ entre les résultats x obtenus par le B.C.M.N. et le N.P.L.,

$$x_i^{\text{B.C.M.N.}} - x_i^{\text{N.P.L.}} = \Delta_i = d_i + b,$$

où b est un écart systématique éventuel et $\sum_i^n d_i = 0$.

La variance de chaque résultat individuel est

$$\sigma^2 = \frac{\sum d_i^2}{2(n-1)};$$

on a

$$\sum d_i^2 = \sum \Delta_i^2 + nb^2 - 2b\sum \Delta_i,$$

$$\sum \Delta_i = nb,$$

$$\sum d_i^2 = \sum \Delta_i^2 - nb^2 = \sum \Delta_i^2 - \frac{(\sum \Delta_i)^2}{n},$$

d'où

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma \Delta_i^2 - \frac{(\Sigma \Delta_i)^2}{n}}{2(n-1)} \quad \text{et} \quad b = \frac{\Sigma \Delta_i}{n}.$$

L'écart-type de l'écart systématique est $\sigma_b = (2\sigma^2/n)^{1/2}$.

(b) Supposons que nous ayons n différences Δ ,

$$\Delta_i = x_i^{\text{NPL}} + x_i^{\text{BCMN}} - 2x_i^{\text{lab}}$$

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{2} + b$$

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma \delta_i^2}{\frac{3}{2}(n-1)}$$

$$\Sigma \delta_i = 0$$

$$\Sigma \delta_i^2 = \frac{1}{4} \Sigma \Delta_i^2 - nb^2 = \frac{1}{4} \left[\Sigma \Delta_i^2 - \frac{(\Sigma \Delta_i)^2}{n} \right]$$

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma \Delta_i^2 - (\Sigma \Delta_i)^2/n}{6(n-1)}.$$

TABLEAU B

Résultats de l'analyse statistique

	Activité		
	Faible	Moyenne	Élevée
<i>a. Comparaison BCMN/NPL</i>			
Moyenne du groupe (s ⁻¹).....	1 067	3 145	5 452
Nombre de sources.....	18	22	30
Écart systématique $\left\{ \begin{array}{l} (s^{-1}) \dots\dots\dots \\ (\%) \dots\dots\dots \end{array} \right.$	+ 1,5 + 0,14	+ 0,3 + 0,009 5	— 3,0 — 0,055
Écart-type de l'écart systématique (s ⁻¹).....	0,51	1,08	1,43
Écart-type des résultats individuels (%).....	0,143	0,113	0,101
<i>b. Comparaison $\frac{\text{BCMN} + \text{NPL}}{2}$ / Laboratoire.</i>			
Nombre de sources.....	18	21	26
Écart-type des résultats individuels (%)	0,246	0,207	0,197

Nous remarquons une tendance statistiquement significative de l'écart systématique, en ce sens que les résultats du B.C.M.N. sont polarisés positivement par rapport aux résultats du N.P.L. pour les faibles activités et négativement pour les activités élevées. Ceci est en bon accord avec les résultats du B.C.M.N. (A. Spornol *et al.* [2], p. 23) pour une série de mesures avec des sources dont les activités variaient entre 600 et 5 500 s⁻¹, toutes préparées à partir de la même solution, où une tendance semblable est apparue. Une explication de ce phénomène n'a toutefois pu être donnée par les auteurs.

En résumé, nous pouvons dire que d'après (a) et pour n'importe quelle source, il existe entre les résultats du B.C.M.N. et du N.P.L. un accord meilleur que 0,34 % dans 95 % des cas. De l'analyse (b) nous pouvons conclure que dans 95 % des cas les résultats de deux laboratoires quelconques mesurant la même source concorderaient à mieux que 0,61 %.

V. DISCUSSION DES RÉSULTATS DES MESURES DE L'ACTIVITÉ MASSIQUE DE LA SOLUTION DE ^{60}Co

1. Erreurs dues à la dilution et au transfert des solutions.

Six des quatorze laboratoires qui ont préparé plus d'une dilution par ampoule ont obtenu une dispersion des valeurs de l'activité massique supérieure à 0,3 % pour une même ampoule. Une proportion sensiblement équivalente des laboratoires participants a donné des résultats pour les deux ampoules et a observé entre celles-ci des différences supérieures à 0,3 %. Bien qu'une analyse de l'influence de la dilution et du transfert des solutions ne soit pas l'objet de ce rapport, il convient de noter que, dans certains cas, ces manipulations entraînent des erreurs importantes. Ce problème sera examiné de façon plus détaillée dans le rapport sur la comparaison internationale du $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ (février 1964) où des informations plus précises ont été demandées sur ce sujet.

Il est incontestable que l'évaporation survenue pendant la dilution et le transfert des solutions a été une source d'erreurs importante et devrait être étudiée avec soin. Mais ceci peut être fait par chaque laboratoire, sans qu'il soit nécessaire de recourir à une comparaison internationale. Étant donné que le temps écoulé entre les différentes manipulations et les conditions dans lesquelles sont conservées les sources peuvent avoir de l'importance, ces informations sont rassemblées dans le tableau C, mais il n'est pas possible d'en tirer des conclusions utiles.

2. Traitement des sources et des supports.

L'exactitude des comptages $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ est pratiquement indépendante de l'efficacité β , à condition que la correction K_g (cf. III.4.d) soit petite. Cependant, bien des laboratoires participants ont préféré leur technique habituelle de préparation de sources minces au moyen d'agents mouillants à une simple évaporation. Les différentes méthodes sont décrites dans le tableau V (p. 96). En général, les sources traitées ont des efficacités légèrement supérieures à celles des sources non traitées.

Deux laboratoires ont placé les sources, après dépôt de la goutte de solution radioactive, dans une atmosphère ammoniacale, pendant 1 et 60 mn respectivement. Ce traitement ne semble pas avoir été très efficace, mais il aurait pu l'être davantage en combinaison avec un agent mouillant.

Trois laboratoires ont couvert les sources séchées avec un autre film, afin d'enfermer la substance active entre deux films (« sandwich »).

3. Dispersion et imprécision des résultats

Les résultats de l'I.A.R., de l'I.F.M. et de l'I.P.A. sont si différents des autres que nous les avons exclus des considérations suivantes. D'importantes erreurs systématiques semblent avoir affecté la préparation des sources,

TABLEAU C

Laboratoire	Conditions de conservation des sources	Temps écoulé entre	
		la préparation des solutions et celle des sources	la préparation et la mesure des sources
AAEC	Récipients en plexiglas	2 à 12 jours	2 à 8 jours
AECL	Petites boîtes sur une table à l'air libre.....	1 heure	5 à 25 jours
AIEA	Dessiccateur avec du gel de silice	1/2 à 4 heures	jusqu'à 2 jours
BIPM	Étuve à 35 °C	1 à 3 heures	4 à 8 jours
CENS	Dessiccateur	24 heures	1 à 4 jours
CNAM	Boîtes en plexiglas, étanches	1 heure	5 jours
ETL	Dessiccateur avec du gel de silice	3 jours	3 heures
IAR	Récipients en plastique, fermés	1 à 2 heures	1 à 3 jours
IFM	Couvertes, derrière un écran de plomb	15 minutes	1 à 2 jours
IKO	Boîte en verre, fermée	2 à 6 heures	30 jours
IMM	Boîte à la température ambiante.....	2 heures	3 jours
IPA	Boîte en plastique, étanche	1 heure	6 heures
ISN	Dessiccateur	2 heures	10 jours
ISS	Récipient à peser, entre 23 et 26 °C	15 minutes	90 jours
JEN	Récipients en plastique	18 heures	1 à 6 jours
NBS	A l'air ambiant	1 heure	1 jour
NPL	Verticalement, dans des boîtes en plexiglas, avec un dessiccateur	10 minutes	48 heures
NPRL	Sur un anneau à l'intérieur d'une boîte de Pétri	3 à 4 jours	1 à 3 jours
NRC	Boîtes métalliques	1/2 à 2 heures	20 à 24 heures
PTB	Couvertes de verre	3 heures à 2 jours	1 à 9 jours
UVVVR	Boîte en plexiglas	< 1 jour	< 4 heures

puisque les résultats obtenus par ces trois laboratoires sur les sources solides sont en assez bon accord avec ceux du B.C.M.N. et du N.P.L. La dispersion, c'est-à-dire la différence des deux résultats extrêmes divisée par la moyenne, est considérablement plus faible dans cette comparaison (1,4 %) qu'elle ne l'était dans la comparaison du ^{60}Co de janvier 1962 (3,1 %). Cette réduction peut être interprétée comme un très net progrès effectué dans le domaine des mesures $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ et dans la technique de préparation des sources.

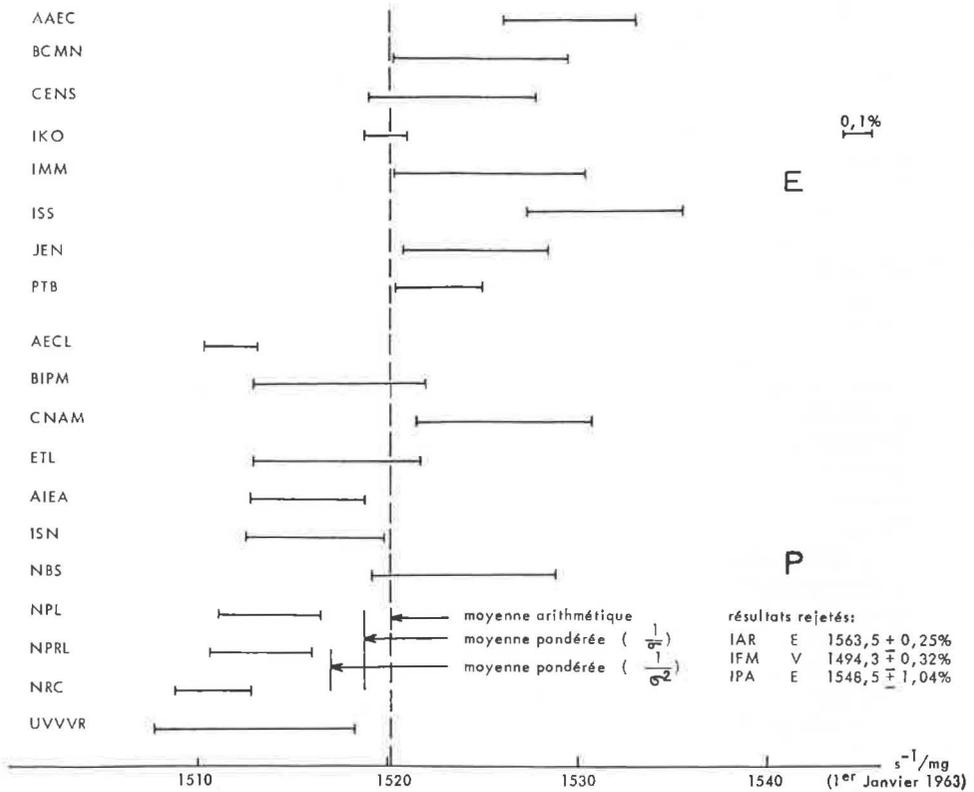


Fig. 2. - COMPARAISON GRAPHIQUE DES RÉSULTATS OBTENUS AVEC LES SOLUTIONS

E Technique d'extrapolation P Technique du pycnomètre

La figure 2 est une représentation graphique des résultats de dix-neuf laboratoires. Les erreurs indiquées sont celles qui ont été transmises par les laboratoires participants. Un test χ^2 montre que la distribution est loin d'être normale ($P < 0,1 \%$). Il n'est donc pas étonnant de trouver un facteur de consistance

$$Z = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 / \sigma_i^2}{n - 1} \right]^{1/2} = 2,1$$

au lieu de $1 \pm 0,16$. Une explication possible du manque d'accord mutuel est donnée dans le paragraphe suivant.

4. Détermination de la masse de solution déposée sur le support de source.

Les résultats de la figure 2 sont groupés d'après la méthode employée pour déterminer la masse de la solution radioactive utilisée dans la préparation de la source. A l'exception de l'I.F.M. qui a employé une méthode volumétrique, tous les laboratoires participants ont utilisé l'une des deux méthodes suivantes. Dans la méthode dite d'*extrapolation* (E), le support est pesé avant et après dépôt du liquide. La masse du support de source et du liquide est étudiée en fonction du temps et extrapolée à l'instant du prélèvement. Dans la méthode du *pycnomètre* (P), le récipient (appelé généralement pycnomètre) est pesé avant et après le prélèvement.

Ces deux méthodes ont fait l'objet d'une étude approfondie et d'une comparaison de la part de P. J. Campion *et al.* [15]. Ces auteurs ont montré que, par suite de la constante de temps plutôt élevée des balances classiques et de l'absence de définition des conditions d'évaporation, la technique de l'évaporation a tendance à donner des valeurs de l'activité massique supérieures à celles de la technique du pycnomètre. Dans des conditions extrêmes de température, d'humidité et de dimensions de la goutte, cette différence peut atteindre 1 %. Ces auteurs pensent que la méthode du pycnomètre est fondamentalement plus exacte.

A première vue, la différence d'environ 0,6 % entre les moyennes des résultats (E) et (P) semble concluante. Cependant, nous devrions être en mesure de démontrer que la probabilité qu'elle soit due au seul hasard est faible. On peut obtenir cette probabilité P en appliquant un test t (utilisant la distribution t de Student) à l'écart des résultats (E) par rapport à la moyenne de toutes les mesures. La moyenne arithmétique de $1\ 520,3\ \text{s}^{-1}\ \text{mg}^{-1}$ donne $P \approx 7\ \%$. Cependant, il ne faut pas traiter les mesures comme si elles avaient toutes le même poids. En utilisant des poids proportionnels à l'inverse du carré des erreurs, nous calculons une moyenne de $1\ 517,0$ et $P \approx 3,5\ \%$. Mais cette pondération est sans doute trop rigoureuse, puisque la distribution n'est pas normale. Nous pourrions alors essayer d'utiliser des poids proportionnels à l'inverse des erreurs, ce qui donnerait une moyenne de $1\ 518,9$ et $P \approx 4,5\ \%$.

Nous pensons donc que l'écart des résultats (E) par rapport à la moyenne n'est pas simplement un effet de hasard. Il peut être expliqué d'après le travail de P. J. Campion *et al.* [15].

VI. DISCUSSION FINALE ET CONCLUSIONS

Il est apparu que le dépôt électrolytique de ^{60}Co sur les films de VYNS dorés est une excellente méthode de préparation de sources étalons radioactives très minces, stables et de durée suffisante. Grâce au grand nombre de sources solides soigneusement étalonnées, il a été possible de comparer les résultats et la précision de 78 mesures effectuées dans 22 laboratoires nationaux et internationaux qui ont utilisé l'une des méthodes les plus efficaces pour la détermination de l'activité absolue.

La distribution simultanée de solutions de ^{60}Co nous a permis d'étudier séparément l'influence des erreurs introduites par la préparation des sources. Il est évident que la comparaison eût rencontré peu de succès si elle avait été effectuée sans sources solides. Par ailleurs, la dispersion relativement importante des résultats obtenus avec les solutions, dans des conditions

qui excluent une contribution importante du comptage des sources, justifie entièrement ce surcroît de travail. La principale source d'erreur semble résider dans l'évaporation du solvant au cours des diverses manipulations des solutions. On a pu mettre en évidence une différence systématique entre les deux principales techniques utilisées pour déterminer la masse du liquide déposée sur le support. En accord avec P. J. Campion *et al.* [15], nous pensons que la méthode du pycnomètre doit être préférée à la méthode par extrapolation, puisqu'il semble y avoir des raisons bien précises indiquant que cette dernière méthode tend à donner des valeurs de masse trop petites d'une quantité correspondant exactement à l'ordre de grandeur observé.

L'accord remarquable qui existe entre la plupart des résultats obtenus avec les sources dont l'absorption de particules β a été augmentée artificiellement (*cf. fig. 1*) confirme l'opinion que la correction K_ϵ qui dépend du schéma de désintégration est représentée de façon adéquate par la formule (3). La technique usuelle d'additions successives de feuilles minces à une source d'efficacité élevée semble donner la valeur correcte de la constante empirique $C[(\epsilon_\beta)_\gamma, \epsilon_\gamma]$.

En outre, les résultats des mesures des sources solides montrent que, généralement, une analyse minutieuse de toutes les sources d'erreurs conduit à des valeurs d'erreurs globales estimées compatibles avec celles qui sont fournies par une analyse statistique de l'ensemble des résultats. Bien qu'une telle compilation d'erreurs soit utile pour comparer des ensembles de comptage différents et pour chercher les améliorations possibles, elle n'est jamais dépourvue d'arbitraire.

La théorie de la méthode $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ semble suffisamment bien connue pour permettre à différents laboratoires d'obtenir des résultats d'égale précision avec des mesures demandant des efforts comparables. Pourtant, la différence de précision relativement importante obtenue par le B.C.M.N. et le N.P.L., par exemple, confirme le fait que, au moins à l'époque des mesures, il n'apparaissait pas de façon assez claire quelle était la signification de l'erreur globale ou de l'imprécision, ni dans quel but nous désirions la connaître. Nous nous trouvons maintenant dans une bien meilleure situation pour fixer nos idées. Ainsi, il semble essentiel que la précision d'une mesure d'activité soit exprimée en fonction de la « standard error » sur la base d'une expérience de longue durée. Une telle expérience doit être effectuée dans des conditions semblables à celles qui sont valables pour la mesure en question. Sa durée doit être suffisante pour garantir qu'elle se trouve sous contrôle statistique.

Bien que les résultats obtenus par comptage $4\pi\beta-\gamma$ soient absolus par définition, des étalons matériels permanents devraient garantir une meilleure connaissance de la précision pouvant être obtenue avec un ensemble de comptage particulier que ne le permet une analyse des erreurs du type décrit. Nous pensons que des sources solides de ^{60}Co telles que celles qui ont été utilisées dans cette comparaison constituent des sources aux propriétés très stables. On peut considérer que leur activité varie seulement par décroissance selon la période d'un seul radionucléide. Des sources de référence soigneusement préparées, conformément aux indications de A. Spornol *et al.* [2], seraient une aide précieuse pour conserver des étalons de radioactivité. Il est évident que de telles sources de référence d'activités différentes ne seraient utiles que pendant une période de temps limitée

qui dépendrait principalement de la pureté radioactive du ^{60}Co . Pour assurer la continuité, il faudrait de temps en temps remplacer quelques sources par d'autres fraîchement préparées. Cette idée pourrait également être appliquée à d'autres radionucléides. Il serait souhaitable d'utiliser des radionucléides ayant une période plus courte pour déceler les erreurs systématiques liées à la valeur de l'activité.

En outre, on pourrait envisager la préparation de sources étalons de vie longue, comme par exemple du ^{94}Nb . Ces sources seraient utilisables presque indéfiniment.

Le succès de cette importante comparaison internationale est dû en grande partie à l'excellent travail effectué par le B.C.M.N. (Euratom) à Geel, Belgique, et le N.P.L. à Teddington, Royaume Uni. Nous exprimons notre reconnaissance à MM. A. Spernol et P. J. Campion et à leurs collaborateurs. L'auteur désire également remercier ses collègues du B.I.P.M. pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour leurs commentaires.

(15 avril 1965)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes*, 4^e session, 1963, Annexe 3, p. 42.
- [2] SPERNOL (A.), DE ROOST (E.) and LERCH (O.), High precision $4\pi\beta\text{-}\gamma$ -coincidence counting and the preparation of solid ^{60}Co standard sources and solutions for an international comparison. Joint Nuclear Center, Geel Establishment, Belgique, C.B.N.M. (Euratom), EUR 477. e, 1964.
- [3] VANINBROUXX (R.) and GROSSE (G.), The use of a calibrated γ -spectrometer for precision activity measurements of γ -emitters and EC-nuclides and for purity and sorption tests of solutions of radionuclides. C.B.N.M., Geel, Belgique (Euratom), 1965. Sera publié prochainement.
- [4] CAMPION (P. J.), The standardization of radioisotopes by the beta-gamma coincidence method using high efficiency detectors. *I.J.A.R.I.*, 4, 1959, p. 232.
- [5] WILLIAMS (A.) and CAMPION (P. J.), The measurement of the gamma-sensitivity of a $4\pi\beta$ counter. *I.J.A.R.I.*, 14, 1963, p. 533.
- [6] GANDY (A.), Préparation et étalonnage des sources radioactives de référence. A.I.E.A., Vienne, 1961.
- [7] GANDY (A.), Mesure absolue de l'activité des radionucléides par la méthode des coïncidences bêta-gamma à l'aide de détecteurs de grande efficacité. Étude des coïncidences instrumentales. *I.J.A.R.I.*, 11, 1961, p. 75.
- [8] GANDY (A.), Mesure absolue de l'activité des radionucléides par la méthode des coïncidences bêta-gamma à l'aide de détecteurs de grande efficacité. Correction de temps morts. *I.J.A.R.I.*, 13, 1962, p. 501.
- [9] BRYANT (J.), Coincidence counting corrections for dead-time loss and accidental coincidences. *I.J.A.R.I.*, 14, 1963, p. 143.
- [10] GRANADOS (C. E.) et SAGASTIBELZA (F.), Medida de la actividad específica de una solución de ^{60}Co . Junta de Energía Nuclear, MA/4, Sept. 1963.
- [11] National Bureau of Standards Handbook 80. U.S. Department of Commerce, 1961.
- [12] EISENHART (G.), Realistic evaluation of the precision and accuracy of instrument calibration systems. *J. Research N.B.S.*, 67C, 1963, p. 161.
- [13] CAMPION (P.J.) and TAYLOR (J.G.V.), Statistical errors in disintegration rate measurements by the coincidence technique. *I.J.A.R.I.*, 10, 1961, p. 131.
- [14] YOUTEN (W. J.), Report on statistical examination of: Rapport préliminaire sur la comparaison internationale de la méthode $4\pi\beta(\text{CP})\text{-}\gamma$ au moyen du ^{60}Co . N.B.S., 1963. Non publié.
- [15] CAMPION (P.J.), DALE (J.W.G.) and WILLIAMS (A.), A study of weighing techniques used in radionuclide standardization. *Nucl. Inst. and Methods*, 31, 1964, p. 253.

TABLEAU I

LISTE DES LABORATOIRES AYANT PRIS PART A LA COMPARAISON

- 1 AAEC Australian Atomic Energy Commission, Lucas Heights, Australie
(G.C. Lowenthal, J.K. Parry)
- 2 AECL Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, Canada
(J.G.V. Taylor, J.S. Merritt)
- 3 AEET Atomic Energy Establishment, Trombay, Inde
(U.C. Gupta, G.D. Khera, P.K. Srivastava)
- 4 AIEA Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne, Autriche
(H. Houtermans)
- 5 BCMN Bureau Central de Mesures Nucléaires (Euratom), Geel, Belgique
(E. de Roost, O. Lerch, A. Spagnol)
- 6 BIPM Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France
(J.C. Roy, A. Rytz)
- 7 CENS Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, Gif-sur-Yvette, France
(Y. le Gallie)
- 8 CNAM Conservatoire National des Arts et Métiers (Laboratoire National d'Essais),
Paris, France (R. Touzin)
- 9 ETL Electrotechnical Laboratory, Tokyo, Japon
- 10 IAR Institut für Angewandte Radioaktivität, Leipzig, Allemagne
(M. Leistner, H. Schindler)
- 11 IFM Instituto de Fisica y Matematicas, Santiago, Chili
- 12 IKO Instituut voor Kernfysisch Onderzoek, Amsterdam, Pays-Bas
- 13 IMM Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad, U.R.S.S.
(A.A. Konstantinov, F.M. Karavaev)
- 14 IPA Institut de Physique Atomique, Bucarest, Roumanie
(L. Grigorescu, M. Oncescu)
- 15 ISN Institut de Sciences Nucléaires "Boris Kidrich", Belgrade, Yougoslavie
(Dj. Bek-Uzarov)
- 16 ISS Istituto Superiore di Sanita, Rome, Italie
- 17 JEN Junta de Energia Nuclear, Madrid, Espagne
(C.E. Granados, F. Sagastibelza)
- 18 NBS National Bureau of Standards, Washington, Etats-Unis d'Amérique
(W.B. Mann)
- 19 NPL National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni
(A. Williams)
- 20 NPRL National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud
(J. Steyn, A.S.M. de Jesus)
- 21 NRC Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada
(A.P. Baerg, G.C. Bowes)
- 22 PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig; Allemagne
(H.M. Weiss, H. Ramthun, K.F. Walz)
- 23 UVVVR Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioisotopù, Prague, Tchécoslovaquie
(I. Bučina, J. Zderadička)

TABLEAU II
RÉSULTATS DES MESURES SUR LES SOURCES SOLIDES
COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS OBTENUS PAR LE B.C.M.N. ET LE N.P.L.

laboratoire	source n°	seuil β (keV)	seuil γ (keV)	ε _β (%)	ε _γ (%)	N _{occ} /N _c (%)	corr. temps mort (%)	K _E (%)	résultat final (s ⁻¹)	erreur (ΣΔ ²) ^{1/2} (%)	résultats du B.C.M.N.		résultats du N.P.L.		observations	
											(s ⁻¹)	(%)	(s ⁻¹)	(%)		
AAEC	5117	0,25	20	97,28	4,60	0,39	0,082	0,054	1595	+ 0,15	1598	0,30	1595,1	0,08	Source 5082 couverte par VYNS + Au pour améliorer le plateau.	
	5180			97,20	4,60	0,77	0,176	0,056	3480	- 0,10	3486	0,20	3483,1	0,08		
	5082			92,60	4,60	1,60	0,340	0,112	7235	0,14	7254	0,45	7234,3	0,09		
	51801			47,55	4,60	1,54	0,135	0,723	5249	0,17	5298	0,25	5294,4	0,09		
AECL	5134	≤ 0,3	1060 δ 1470	97,80	9,24	0,04	0,014	0,01	795,6	0,08	796,0	0,50	795,4	0,08	Erreur systématique estimée à < 0,2%.	
	5059			97,81	9,45	0,19	0,05	0,01	2617	0,03	2622	0,35	2618,5	0,08		
	51711			47,92	9,48	0,65	0,061	0,467	6308	0,11	6315	0,35	6316,0	0,13		
AIEA	6586	0,1	300	97,96	7,7	0,10	0,05	-	899,2	0,30	899,3	0,30	900,4	0,10	Utilise des formules différentes pour tenir compte des temps morts relativement longs.	
	6543			98,07	7,7	0,67	0,15	-	2987,7	0,08	2985	0,22	2989,7	0,03		
	6513			97,24	7,7	0,65	0,26	-	5648,0	0,1	5628	0,30	5629,5	0,09		
	6805			48,84	7,7	0,78	0,13	0,1	5304,7	0,15	5297	0,27	5299,9	0,09		
BIPM	5053	0,36	315	97,74	9,17	0,154	0,059	0,005	1581,7	0,13	1581	0,45	1579,0	0,09		
	5058			97,78	9,17	0,232	0,095	0,005	2537	0,11	2539	0,30	2536,8	0,08		
	5216			255	98,18	10,85	0,48	0,23	0,002	5558	0,12	5572	0,40	5567,6		0,09
	5000			250	34,27	9,48	0,75	0,077	0,201	5403	0,25	5423	0,4	5416,2		0,13
CENS	6575	0,6	50	98,93	16,40	0,11	0,136	0,01	881	0,27	887,8	0,55	886,4	0,07		
	6544			97,76	16,49	0,28	0,48	0,01	3238	0,11	3223	0,22	3227,5	0,08		
	6529			97,90	16,66	0,43	0,72	0,01	4912	0,14	4904	0,30	4913,7	0,08		
	6811			48,80	16,52	0,60	0,39	0,3	5257	0,53	5245	0,20	5249,6	0,09		
ETL	6578	0,1	100	97,75	7,46	0,22	0,026	-0,007	1135	0,13	1137	0,42	1136,2	0,08		
	6564			97,87	7,48	0,557	0,069	-0,007	2975	0,10	2964	0,23	2975,4	0,07		
	6512			97,55	7,47	1,073	0,135	-0,008	5823	0,11	5819	0,23	5834,4	0,08		
	6801			47,08	7,50	1,05	0,066	-0,369	5604	0,42	5591	0,27	5599,7	0,09		
IAR	6567	0,1	25	97,3	3,97	0,34	0,01	0,073	949,8	0,21	954,7	0,5	954,6	0,07		
	6546			96,6	4,18	0,93	0,04	0,09	3018	0,21	2963	0,22	2968,3	0,08		
	6516			96,3	4,63	1,50	0,08	0,09	4976	0,18	4955	0,23	4967,0	0,08		
	6804			49,1	5,12	3,93	0,05	2,70	6029	0,23	6182	0,27	6200,5	0,10		
IFM	5028	< 1	20	97,27	4,79	0,48	0,04	-0,005	1531,8	0,43	1536	0,35	1531,2	0,07		
	5168			97,54	4,85	0,80	0,08	-0,005	3123	0,26	3108	0,35	3112,7	0,08		
	5164			97,04	4,77	1,12	0,12	-0,005	4758	0,26	4714	0,35	4725,4	0,08		
	51701			47,3	4,72	1,35	0,05	-0,15	3894	0,32	3895	0,35	3889,3	0,13		
IKO	5175	0,100	10	98,3	8,05	0,06	0,009	0,006	989,8	0,33	1001	0,45	993,1	0,08		
	5192			97,6	8,01	0,013	0,025	0,011	2772	0,24	2772	0,30	2772,9	0,08		
	5217			97,4	8,01	0,026	0,056	0,011	6264,4	0,077	6287	0,40	6278,2	0,09		
	51831			48,3	8,00	0,029	0,021	0,470	4664	0,111	4693	0,24	4690,1	0,09		
IMM	5173	0,2	10	97,18	5,58	0,09	0,018	-	831,2	0,23	827,6	0,52	825,5	0,08		
	5203			97,96	5,55	0,46	0,1	-	4598	0,35	4591	0,35	4592,0	0,08		
	51811			49,68	5,57	0,82	0,06	-	5588	0,26	5589	0,35	5589,0	0,07		

TABLEAU II (suite)

laboratoire	source n°	seuil β (keV)	seuil γ (keV)	E_{β} (%)	E_{γ} (%)	$\frac{N_{acc}}{N_c}$ (%)	carré temps mort (%)	K_{ξ} (%)	résultat final (s ⁻¹)	erreur $(\sum \Delta^2)^{1/2}$ (%)	résultats du B.C.M.N.		résultats du N.P.L.		observations
											(s ⁻¹)	(%)	(s ⁻¹)	(%)	
IPA	6577		150	97,4	6,22	0,317	0,16	0,019	942,35	0,39	944,2	0,50	943,6	0,07	
	6557			96,8	5,90	0,894	0,44	0,019	2870,9	0,29	2867	0,26	2867,4	0,08	
	6556			96,4	6,01	0,978	0,49	0,019	3184,5	0,31	3183	0,25	3187,0	0,08	
	6515			95,7	6,48	1,58	0,80	0,033	5044,5	0,40	5018	0,23	5025,1	0,09	
	6807			46,7	5,72	2,14	0,38	0,65	5042,6	0,53	5040	0,25	5041,7	0,09	
JEN	6568	1,5	720	97,89	1,65	0,128	-0,030	0,003	1348	0,190	1352	0,36	1351,2	0,08	
	6558			97,98	1,66	0,283	-0,068	0,003	3049	0,101	3046	0,30	3054,3	0,08	
	6520			98,22	1,67	0,48	-0,115	0,003	5213	0,077	5214	0,23	5223,1	0,09	
	6803			49,61	1,68	0,672	-0,058	0,15	5091	0,187	5089	0,23	5085,4	0,09	
CNAM	5140	0,04	1100 à 1240	98,70	0,69	0,13	0,002	-	588	0,4	594,8	0,70	594,0	0,09	
	5187			98,48	0,58	0,35	0,006	-	2698	0,2	2715	0,15	2714,8	0,08	
	5204										5217	0,35	5220	0,09	
	51771			48,25	0,72	0,71	0,006	-	4022	0,6	4017	0,25	4014,4	0,08	
NBS	5221	<1	800 à 1500	98,37	1,95	0,12	0,03	0,004	891,6	0,52	890,0	0,55	889,8	0,08	
	5219			98,14	1,24	0,12	0,02	0,006	958,8	0,47	958,4	0,50	958,1	0,08	
	51741			48,51	1,92	0,83	0,09	0,350	5420	0,37	5373	0,35	5379,8	0,13	
NPRL	5155	1	300	97,96	18,59	0,06	0,16	-	3347	0,05	3353	0,30	3350,1	0,08	
	5145			97,64	19,10	0,64	0,16	-	3594	0,074	3606	0,35	3602	0,08	
	5093			98,11	18,0	1,27	0,22	-	4736	0,06	4747	0,35	4738,9	0,08	
	5037			98,16	18,51	1,03	0,29	-	6083	0,05	6087	0,25	6084,7	0,09	
	5002			34,15	18,62	1,20	0,066	-0,26	4420	0,08	4414	0,35	4416,3	0,12	
NRC	5021	0,1	1000 à 1400	98,08	9,57	0,129	0,038	0,0098	1664,5	0,11	1667	0,45	1664,2	0,09	Cassée pendant comptage. Source réparée.
	5036			96,89	9,72	0,206	0,0604	0,016	2648	0,11	2649	0,25	2647,8	0,08	
	5016			92,98	9,68	0,583	0,156	0,0378	7170,6	0,12	7202	0,30	7187,4	0,11	
	5004			40,10	9,77	0,441	0,034	0,747	3525	0,25	3546	0,25	3540,7	0,13	
PTB	5141	1	100	97,22	16,80	0,108	0,034	0,0005	670,1	0,27	667,2	0,50	668,6	0,09	
	5096			97,33	16,93	0,39	0,155	0,0005	2061	0,10	2071	0,35	2063,5	0,07	
	5213			97,67	16,97	0,67	0,278	0,0005	5489	0,10	5476	0,40	5491,2	0,09	
	51721			47,09	16,78	0,65	0,084	0,02	3365	0,15	3364	0,35	3369,9	0,14	
UVVVR	6579	0,5 à 0,8	150	98,0	7,9	0,19	0,077	0,056	831	0,17	834,6	0,54	833,4	0,09	
	6563			98,5	8,0	0,64	0,28	0,041	3061	0,24	3075	0,24	3070,2	0,08	
	6514	98,9	8,0	1,13	0,482	0,031	5407	0,37	5442	0,23	5451	0,09			
	6806	49,6	8,2	1,6	0,25	2,8	5208	1,1	5367	0,27	5371,6	0,09			

TABLEAU II (suite)

laboratoire	source n°	seuil β (keV)	seuil γ (keV)	ϵ_{β} (%)	ϵ_{γ} (%)	$\frac{N_{acc}}{N_c}$ (%)	corr. temps mort (%)	K_{ϵ} (%)	résultat final (s ⁻¹)	erreur $(\sum \Delta^2)^{1/2}$ (%)	résultats du B. C. M. N.		résultats du N. P. L.		observations
											(s ⁻¹)	(%)	(s ⁻¹)	(%)	
AEET	5137	≈ 0,7	1050	97,85	3,42	0,18	0,024	—	789,2	0,41	793,8	0,50	792,0	0,08	
	5153			98,61	3,60	0,446	0,083	—	2564	0,18	2569	0,25	2562,3	0,08	
	5209			98,06	3,58	0,688	0,131	—	4167	0,19	4145	0,25	4134,6	0,08	
	5090			97,77	3,11	0,822	0,134	—	4917	0,195	4880	0,41	4881,0	0,09	
	51841			48,76	3,58	1,09	0,073	—	4578	0,24	4560	0,25	4559,1	0,08	
ISS	5193	≈ 2,5	50	97,22	8,89	1,80	0,32	0,0035	4723	0,393	4744	0,30	4740,2	0,08	
	51821			48,88	9,09	2,23	0,14	0,169	4050	0,542	4053	0,25	4055,0	0,08	

ANNEXE AU TABLEAU II

Quelques exemples de résultats obtenus par le B. C. M. N. et le N. P. L. (Il faut noter que les résultats du B. C. M. N. qui sont donnés en connexion avec ceux du B. I. P. M. (tableaux II et III) sont légèrement différents parce que le B. C. M. N. a utilisé deux systèmes électroniques et calculé une valeur moyenne).

BCMN	5053	≈ 1	≈ 20	97,6	10,63	0,18	0,26	0,01	1585,0	0,45	
	5058			97,52	10,75	0,34	0,30	0,01	2543,3	0,30	
	5216			97,22	32,96	0,40	-1,28	0,01	5559,4	0,40	
	5146			97,54	33,01	0,25	-0,66	0,01	3265,7	0,25	
	5000			34,16	10,94	1,07	0,13	0,48	5434,4	0,40	
NPL	5053		1040	97,5	9,3	0,10	0,02	—	1579,0	0,15	
	5058		10 1500	97,5	9,3	0,16	0,03	—	2536,8	0,14	
	5216			97,4	9,4	0,40	0,06	—	5570,5	0,09	
	5000		220 10 1500	34,7	24	0,50	0,06	0,024	5416,2	0,13	

- $\epsilon_{\beta}, \epsilon_{\gamma}$ Efficacités des compteurs β et γ .
- N_{acc}/N_c Taux des coïncidences accidentelles, en % des coïncidences observées.
- K_{ϵ} Correction due au schéma de désintégration.
- $(\sum \Delta^2)^{1/2}$ Somme statistique des erreurs, en % du résultat final.
- Résultat final Activité de la source au 1^{er} janvier 1963.

TABLEAU III
RÉSULTATS DES MESURES SUR LES SOURCES SOLIDES

labo- ratoire	source n°	date	N _β ¹ β _β	N _γ ¹ β _γ	N _c ¹ β _c	T _β	T _γ	T _c	T _R	nbre ép- (tot)	temps total (s)	écart type de la moy. (%)	erreurs							
													a	b	c	d	e	f	g	h
AAEC	5117	9-17.4	1475,7 2,04	80,50 9,42	68,56 0,11	12	20	15	1,95 4,07	4 11	4800 13200	0,07 0,08	0,012	0,024	0,015	0,120	0,015	0,075	0,006	0,050
	5180	6-18.4	3138,7 1,92	164,43 9,60	146,47 0,11	12	20	15	1,95 4,07	6 10	5400 9000	0,031 0,032	0,027	0,048	0,007	0,060	0,008	0,032	0,011	0,050
	5082	10-19.4	6012,6 2,01	330,34 9,41	281,58 0,11	12	20	15	1,95 4,07	8 17	3200 6800	0,044 0,025	0,05	0,10	0,003	0,060	0,004	0,033	0,017	0,050
	5180	11-18.4	2406,6 1,90	243,69 9,70	112,68 0,11	12	20	15	1,95 4,07	5 11	4500 9900	0,044 0,075	0,020	0,096	0,008	0,040	0,009	0,057	0,105	0,050
AECL	5134	19.3-5.4	777,52 0,99	74,45 1,01	71,77 1,01	2,04	2,01	<1,5	0,739 0,675	5 5	5600 5600	0,04 0,04	0,001	0,001	0,006	0,067	0,014	0,038	0,002	-
	5059	18.3-4.4	22740,08 0,95	267,00 0,75	259,30 0,81	2,13	2,13	<1,5	0,735 0,675	5 4	4800 4000	0,222 0,022	0,003	0,003	0,002	0,019	0,002	0,022	0,002	-
	5171	19.3-5.4	43014,6 1,00	598,25 0,79	287,83 0,01	2,13	2,13	<1,5	0,735 0,695	5 8	5000 8000	0,040 0,073	0,001	0,006	0,002	0,017	0,003	0,037	0,087	0,060
AIEA	6586	2-4.4	838,4 4,46	77,55 7,20	67,98 0,25	22,5	7,0	17,0	1,02	4	4000	0,2	<0,01	<0,03	0,02	0,2	<0,01	0,12	-	0,2
	6543	2-4.4	2666,6 2,4	237,24 7,17	213,29 0,19	21,5	7,0	17,0	1,02	6	6000	0,2	<0,01	<0,05	<0,01	0,03	<0,01	0,05	<0,01	0,02
	6513	29.3-1.4	44785,3 3,5	436,66 7,09	379,44 0,28	21,5	7,0	17,0	1,11	10	10000	0,03	<0,01	<0,08	<0,01	0,03	<0,01	0,06	<0,01	0,03
	6805	2-4.4	2375,2 2,3	415,67 7,29	191,06 0,27	22,3	7,0	17,0	1,02	6	6000	0,06	<0,01	<0,08	<0,01	0,03	<0,01	0,08	0,1	0,06
BIPM	5053	13.3	1497,944 0,502	154,167 12,938	137,613 0,152	4,3	5,3	<2,5	0,90	5	1500	-	0,003	0,031	0,002	0,100	0,007	0,072	0,005	0,015
	5058	13.3	2393,900 0,500	239,320 12,840	220,090 0,155	4,3	5,3	<2,5	0,90	5	1500	-	0,004	0,047	0,001	0,083	0,004	0,056	0,005	0,025
	5216	14.3	5201,223 0,503	603,281 17,305	566,887 0,178	4,0	5,3	<2,5	0,90	3	900	-	0,012	0,096	0,001	0,025	0,002	0,048	0,002	0,053
	5000	9.5	1779,167 0,527	518,896 15,522	174,764 0,154	4,45	6,25	<2,5	0,90	12	3600	-	0,004	0,150	0,002	0,029	0,006	0,160	0,172	0,085
CENS	6575	30.4	826,367 2,08	206,067 68,07	135,727 0,5	14	10	<2,5	0,81	10	1800	0,047	0,01	0,01	0,01	0,250	0,01	0,02	0,035	0,07
	6544	24.4	2920,68 2,08	576,71 57,23	482,15 0,53	14	10	<2,5	0,795 0,81	10	1800	0,024 0,075	0,035	0,045	0,005	0,120	0,004	0,050	0,035	0,070
	6529	25.4	4339,07 2,08	848,275 69,67	724,51 0,5	14	10	<2,5	0,81	10	1800	0,059	0,045	0,06	0,003	0,080	0,002	0,040	0,035	0,070
	6811	26.4	2385,18 2,00	895,00 67,93	394,80 0,53	14	10	<2,5	0,81	10	1800	0,081	0,025	0,086	0,003	0,088	0,004	0,075	0,500	0,070
											10	1800	0,122							
ETL	6576	2.4	1072,59 1,05	84,655 2,88	80,189 0,184					10	1800	0,091	0,003	0,02	-	0,08	-	0,09	0,01	-
	6564	2.4	2793,20 1,08	218,04 2,87	210,30 0,15					10	1800	0,074	0,007	0,06	-	0,03	-	0,074	0,01	-
	6512	2.4	5421,08 1,03	423,03 2,88	409,29 0,18	3,3	3,3	<2,5	2,0	10	1800	0,035	0,014	0,1	-	0,02	-	0,035	0,01	-
	6801	2.4	2624,01 1,05	408,80 2,88	200,50 0,18					10	3600	0,074	0,007	0,1	-	0,025	-	0,074	0,40	-

TABLEAU III (suite)

laboratoire	source n°	date	N _β ¹ β _β	N _γ ¹ B _γ	N _c ¹ B _c	τ _β	τ _γ	τ _c	τ _R	nbre rép. (tel)	temps total (s)	écart type de la moy. (%)	erreurs							
													a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	e (%)	f (%)	g (%)	h (%)
IAR	6567	17.4	891,28 3,41	41,41 5,08	35,82 0,44	4,40	4,40	12,5	3	3	10 ⁵	0,05	0,01	0,017	0,013	0,012	0,002	0,05	0,007	0,200
	6546	11.4	2800,71 3,59	126,67 5,05	118,30 0,51					8	10 ⁵	0,026	0,040	0,046	0,002	0,002	0,002	0,026	0,009	0,200
	6516	16.4	4535,15 3,58	226,97 5,34	212,91 0,47					12	10 ⁵	0,107	0,08	0,075	0,002	0,002	0,002	0,107	0,009	0,100
	6804	30.3	2914,85 3,80	305,15 6,12	149,47 0,51					12	10 ⁵	0,02	0,05	0,196	0,002	0,002	0,002	0,02	0,027	0,100
IFM	5028	3.4	1432,58 2,61	92,55 21,52	69,18 0,28	6,23	6,56	5,65	2,21	5	2500	0,28	0,02	0,07	0,003	0,30	0,07	0,28	0,002	0,1
	5168	3.4	2896,92 2,61	167,47 21,52	141,76 0,28					5	2500	0,106	0,02	0,12	0,002	0,18	0,03	0,106	0,001	0,1
	5164	5.4	4346,90 2,62	240,16 21,08	209,78 0,25					5	2500	0,03	0,07	0,17	0,001	0,17	0,01	0,03	0,001	0,1
	51701	3.4	1785,67 2,61	198,98 21,52	85,68 0,28					5	2500	0,125	0,02	0,20	0,002	0,18	0,06	0,125	0,05	0,1
IKO	5175	7.5	928,03 0,6	99,60 5,83	74,76 0,01	1,20	4,9	4,9	0,42	6	3600	0,257	-	0,001	-	0,200	-	0,257	0,001	-
	5192	7.5	2579,1 0,6	235,76 5,83	206,92 0,01					6	3600	0,245	0,001	-	-	0,024	-	0,245	0,001	-
	5217	7.5	5792,3 0,6	502,73 5,83	465,47 0,01					6	1800	0,056	0,001	0,001	-	0,010	-	0,056	0,001	-
	51831	8.5	2170,16 0,6	316,80 5,83	172,40 0,01					4	2400	0,072	-	0,001	-	0,050	-	0,072	0,047	-
IMM	5173	27.5	766,68 3,53	49,51 5,55	42,78 0,15	4,4	5,2	5,4	1,04	10	1200	0,210	0,018	0,02	0,0025	0,039	0,006	0,210	0	0,1
	5203	23.5	4201,67 3,72	246,67 5,65	233,33 0,13					20	2400	0,120	0,1	0,09	0,0026	0,004	0,005	0,120	0	0,1
	51811	20.5	2601,33 3,6	300,58 5,75	145,83 0,12					10	1200	0,170	0,06	0,16	0,0025	0,004	0,005	0,170	0	0,1
IPA	6577	7.5	855,53 0,98	61,046 5,13	53,489 0,16	30	30	20	3,0	160	9600	0,12	0,016	0,06	0,008	0,30	0,02	0,12	0,006	0,20
	6557	4.5	2463,93 1,11	161,41 4,93	146,72 0,15					75	4500	0,073	0,044	0,18	0,003	0,12	0,01	0,073	0,006	0,2
	6556	4.5	2701,28 1,09	186,86 4,78	163,96 0,14					65	3900	0,05	0,049	0,2	0,003	0,10	0,01	0,05	0,006	0,2
	6515	24.4	4070,62 1,26	316,28 5,36	268,18 0,18					40	2400	0,10	0,08	0,316	0,0018	0,060	0,056	0,1	0,01	0,2
	6807	3.5	2172,22 1,15	278,46 4,73	126,58 0,16					96	5760	0,15	0,038	0,42	0,0035	0,065	0,009	0,15	0,195	0,2
JEN	6568	25.3-9.4	1303,6 1,8	22,176 0,783	20,735 0,058	10	10,6	33	0,9	10	6000	0,084	0,004	0,031	0,007	0,183	0,006	0,037	0,003	-
	6558		2892,7 1,9	51,494 0,798	48,349 0,052					10	6000	0,044	0,009	0,030	0,003	0,090	0,003	0,033	0,003	-
	6520		4866,8 1,4	86,587 0,815	80,551 0,065					10	6000	0,070	0,015	0,055	0,002	0,047	0,002	0,020	0,003	-
	6803		2437,8 1,5	84,693 0,782	40,914 0,055					10	6000	0,145	0,008	0,083	0,004	0,049	0,003	0,057	0,150	-

TABLEAU III (suite)

laboratoire	source n°	date	N _B ^β B _B	N _Y ^γ B _Y	N _C ^γ B _C	τ _B	τ _Y	τ _C	τ _R	nbre rép. (tot)	temps total (s)	écart type de la moy. (%)	erreurs								
													a	b	c	d	e	f	g	h	
C NAM	5140	17.4	559,254 1,88	4,349 0,440	3,856 0,003	4,4	4,2	2,0	1,2	10	1000	0,155	0,05	0,03	0,01	0,20	0,001	0,22	0,00	0,05	
	5187	17.4	2530,22 1,962	15,784 0,559	14,782 0,001						1000	0,055	0,05	0,07	0,007	0,15	0,001	0,12	0,00	0,05	
	51771	17.4	1853,956 1,88	28,460 0,44	13,510 0,003						1000	0,07	0,05	0,15	0,005	0,10	0,001	0,6	0,00	0,05	
NBS	5221	10-24.4	834,212 4,184	19,236 2,530	16,190 0,024	20	20	15	1,02	7	3500	0,153	-	0,012	0,005	0,04	0,003	0,153	-	0,3	
	5219	23-26.4	889,764 4,128	12,728 1,342	11,000 0,012	19	19	15	1,02	5	2500	0,063	-	0,012	0,005	0,04	0,003	0,154	-	0,3	
	51741	10-26.4	2404,580 4,184	102,060 2,530	46,080 0,024	20	20	15	1,02	10	5000	0,083	-	0,083	0,005	0,017	0,010	0,182	-	0,3	
NPRL	5155	22.3	3164 0,86	666,6 30,6	623,2 0,39							0,051	0,006	-	0,001	0,02	-	0,051	-	-	
	5145	3.5	3332,8 0,87	684,6 28,85	639,7 0,33	2,53	2,66	2,5	2,01	20	4800	0,058	0,0097	-	0,0015	0,046	0,0024	0,058	-	-	
	5093	22.3	4460,2 0,86	928,6 27,58	880,2 0,36							0,058	0,01	0,005	0,001	0,01	-	0,058	-	-	
	5037	22.3	5708,4 0,90	1187,0 30,8	1132,8 0,38							0,036	0,014	0,003	0,002	0,037	0,003	0,036	-	-	
	5002	22.3	1477,3 0,90	867,8 30,75	293,7 0,38							0,068	0,004	0,006	0,009	0,012	0,005	0,068	0,026	-	
NRC	5021	15.3	1584,79 0,76	155,864 0,767	151,801 0,002	2,5	2,5	1,5	0,85	12	6000	0,0397	0,003	0,013	0,003	0,032	0,000	0,0397	0,0025	0,10	
	5036	14.3	2483,708 0,76	251,061 0,767	241,715 0,002						10	5000	0,036	0,0048	0,026	0,002	0,020	0,000	0,036	0,006	0,10
	5016	14.3	6397,50 0,76	675,820 0,767	622,528 0,002						10	2000	0,0335	0,012	0,058	0,0008	0,0074	0,000	0,033	0,0095	0,10
	5004	14.3	1397,325 0,76	335,885 0,767	135,933 0,002						10	5000	0,130	0,003	0,044	0,004	0,015	0,000	0,130	0,187	0,10
PTB	5141	28.3	630,905 0,450	128,357 19,317	106,499 0,167	3,2	3,2	3,1	1,4	8	3840	0,145	0,003	0,011	0,009	0,22	0,022	0,145	0,002	0,05	
	5096	27.3	2864,89 0,47	520,729 18,933	487,114 0,183						6	2880	0,047	0,016	0,039	0,002	0,054	0,005	0,047	0,002	0,05
	5213	27.3	5115,66 0,46	919,202 18,925	873,718 0,185						17	4080	0,017	0,028	0,067	0,001	0,031	0,003	0,017	0,002	0,05
	51721	25.3	1565,77 0,46	565,481 18,842	264,356 0,193						11	5280	0,061	0,008	0,065	0,004	0,050	0,009	0,061	0,1	0,05
UVVVR	6579	26.4	774,80 1,79	68,65 5,70	61,40 0,17	14,0	12,5	5	2,15	22	3960	0,099	0,01	0,06	0,003	0,06	0,01	0,099	0,018	0,10	
	6563	26.4	2782,7 1,79	238,22 5,70	222,41 0,17						15	2700	0,068	0,05	0,20	0,001	0,02	0,004	0,068	0,014	0,1
	6514	26.4	4786,9 1,79	417,30 5,70	386,12 0,17						15	2700	0,066	0,08	0,34	0,0005	0,01	0,002	0,066	0,01	0,1
	6806	26.4	2474,0 1,79	415,68 5,70	200,90 0,17						15	2700	0,11	0,04	0,48	0,001	0,01	0,004	0,11	0,92	0,1

TABLEAU III (suite)

laboratoire	source n°	date	N _β B _β (s ⁻¹)	N _γ B _γ (s ⁻¹)	N _c B _c (s ⁻¹)	τ _β (μs)	τ _γ (μs)	τ _c (μs)	τ _R (μs)	nbre rép. (tot)	temps total (s)	écart type de la moy. (%)	erreurs							
													a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	e (%)	f (%)	g (%)	h (%)
AET	5137	9.8	710,600 1,989	32,124 7,160	24,310 0,006	10	10	10	3,3	3	3000	0,037	0,002	0,04	0,01	0,40	0,003	0,07	-	0,05
	5153	6.8	2285,51 1,94	94,194 8,92	82,615 0,008					3	3000	0,028	0,01	0,089	0,01	0,115	0,001	0,038	-	0,05
	5209	6.8	3640,901 1,94	146,572 8,92	131,15 0,008					2	2000	0,013	0,013	0,138	0,005	0,114	0,006	0,037	-	0,05
	5090	5.8	4257,25 1,85	150,264 8,91	133,59 0,005					3	3000	0,033	0,013	0,164	0,004	0,088	0,001	0,028	-	0,05
	51841	3.8	2025,45 1,93	159,756 8,33	73,194 0,006					3	3000	0,022	0,073	0,218	0,01	0,049	0,001	0,04	-	0,05
ISS	5193	11.10	4003,32 7,59	398,10 21,33	361,22 0,46	9	13	9	4	10	3000	0,093	0,076	0,36	0,001	0,016	0,002	0,093	0,003	0,1
	51821	11.10	1767,48 7,59	346,012 21,33	160,301 0,46					20	6000	0,28	0,076	0,446	0,002	0,018	0,006	0,28	0,013	0,1

ANNEXE AU TABLEAU III

Quelques résultats obtenus par le B.C.M.N. et le N.P.L.

BCMN	5053	29.11	1550,23	179,12	165,70	6,4	3,8	2,1	1,05	10	1000	0,05	0,05	-	0,40	-	0,09	-	0,10	
		1962	1,51	8,77	0,43															
	5058	29.11	2470,0	285,01	267,06	6,4	3,8	2,1	1,05	10	700	0,05	0,05	-	0,25	-	0,08	-	-	
		1962	1,51	8,77	0,43															
	5216	25.1	5216,04	1818,86	1693,28	5,1	4,2	16,7	1,01	1	800	0,25	0,10	-	0,10	-	0,05	-	0,20	
		1963	0,88	16,15	0,51															
	5146	22.1	3110,06	1078,19	1017,15	5,2	5,3	16,8	1,00	1	400	0,20	0,05	-	0,03	-	0,09	-	0,05	
	1963	0,91	14,95	0,50																
5000	26.11	1889,55	591,82	204,50	5,2	5,4	16,8	1,01	10	2000	0,05	0,22	-	0,27	-	0,15	0,10	0,10		
	1962	1,18	8,84	0,40																
NPL	5053		1548,80	148,07	143,72	1,3	4,2	1,3	0,65	8	800	-	0,01	0,05	0,02	-	0,07	-	-	
			2,14	0,61	0,02															
	5058		2479,02	236,75	230,00					6	600	-	0,02	0,04	0,01	-	0,07	-	-	
			2,14	0,61	0,02															
	5216	7.2	5323,71	483,08	468,40					3	300	-	0,05	-	-	-	0,07	-	-	
	1963	0,95	0,64	0,01																
5000		1886,22	1329,10	460,28					2	2000	-	0,06	0,01	0,08	-	0,07	-	0,02*		
		0,98	6,37	0,12																

* incertitude de K_g

N_β, N_γ, N_c Taux de comptage observés.
 B_β, B_γ, B_c Taux de comptage du mouvement propre.
 τ_β, τ_γ, τ_c Temps morts des voies β, γ et c.
 τ_R Temps de résolution du circuit de coïncidences.
 nbre rép. (tot) Nombre total de répétitions.
 temps total Temps total de mesure.

erreurs Erreurs en % du résultat final provenant des:
 a temps morts,
 b coïncidences accidentelles,
 c mouvement propre $\begin{cases} \beta \\ \gamma \\ c \end{cases}$
 d statistique de comptage,
 e K_g, correction due au schéma de désintégration,
 f stabilité de l'électronique.

TABEAU IV

SOURCES SOLIDES

COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LE B.C.M.N. AVANT ET APRÈS LA DISTRIBUTION

Date de référence: 1^{er} Janvier 1963

n° de la source	activité avant (s ⁻¹)	activité après (s ⁻¹)
5000	5431 ± 0,40%	5415 ± 0,17%
5004	3546 0,25	3546 0,19
5028	1538 0,35	1534 0,34
5053	1581 0,45	1582 0,33
5059	2823 0,35	2821 0,22
5082	7258 0,45	7250 0,29
5096	3077 0,35	3064 0,21
5117	1600 0,30	1597 0,32
5134	796,5 0,50	795 0,63
5140	594,6 0,70	595 0,78
5164	4707 0,35	4720 0,23
51701	3892 0,35	3897 0,17
51711	6312 0,35	6318 0,18
51721	3360 0,35	3368 0,19
51741	5368 0,35	5378 0,17
51771	4020 0,25	4015 0,17
51801	5305 0,25	5291 0,18
51831	4693 0,24	4693 0,17
5192	2770 0,30	2773 0,22
5216	5580 0,40	5564 0,24
5221	890,1 0,55	890 0,56
6512	5810 0,23	5828 0,26
6513	5620 0,30	5637 0,24
6520	5208 0,23	5219 0,23
6557	2865 0,26	2869 0,21
6568	1351 0,36	1352 0,37
6577	944,0 0,50	944 0,51
6578	1135 0,42	1138 0,44
6586	899,5 0,30	899 0,55
6801	5591 0,27	5592 0,17
6803	5091 0,23	5086 0,17
6805	5298 0,27	5296 0,18
6807	5043 0,25	5037 0,17

TABLEAU V

MÉTHODE 4 β - γ . RÉSULTATS, MÉTHODES ET TECHNIQUES DE PRÉPARATION DES SOURCES POUR LA SOLUTION DE ⁶⁰Co

laboratoire et numéro ampoule	supports 1. nature 2. épaisseur 3. traitement	solutions			résultats					sources	
		1. entraîneur et diluant 2. facteur de dilution 3. nombre de sources	1 2 3	4	1. activité massique moyenne* 2. s.d. de la moyenne** 3. s.d., résultats individuels*** 4. erreur totale 5. efficacité β moyenne	1 2 3 4 5	6 7 8 9	10 11 12	13 14	1. masse des gouttes 2. diamètre 3. épaisseur 4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. traitement de la source
AAEC 22	1. VYNS doré sur un côté sandwich 2. 65 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. aucun	HCl 0,01 N	108,90	4	1524,1	0,15	0,30		91	1. 101 à 400 mg	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte; correction pour évaporation; dépôt sur le côté non doré. 2. Les sources ont été placées dans une atmosphère ammoniacale pour une période de une à deux minutes, puis comptées sous forme de sandwich.
			46,055	7	1536,4	0,15	0,40	0,23	92	2. 12 à 16 mm	
			74,844	4	1528,6	0,12	0,24		91	3. 40 à 50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	
					1529,7					4. air	
AECL 43 45	1. VYNS doré sur un côté sandwich 2. $\approx 42 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. insuline	9 $\mu\text{g Co}^{++}$ par ml de HCl 0,1 N	5,9502	6	1512,1	0,03	0,07	0,09	94,9	1. 16 à 90 mg	1. Pycnomètre en polythène pesé avant et après prélèvement de la goutte. Dépôt sur le côté non doré. 2. Traitement du support: 0,1 ml d'une dilution 1:20 d'une solution de 40 UI d'insuline déposé sur le film; retrait immédiat de la plus grande partie du dépôt. Sources comptées sous forme de sandwich.
			10,893	5	1511,3	0,03	0,07	0,09	95,5	2. ≈ 10 mm	
			10,765	4	1512,0	0,03	0,06		95,1	3. 1 à 3 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	
					1511,8				4. infra-rouge		
AIEA 1 2	1. VYNS doré sur les deux côtés 2. $\approx 48 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. aucun	20 $\mu\text{g CoCl}_2$ par ml de HCl 0,05 N	21,841	5	1513,0	0,09	0,20	0,2	95	1. 25 à 50 mg	1. Pipette (traitée au silicone) pesée avant et après prélèvement de la goutte. 2. a)- Séchage lent à l'infra-rouge; b)- addition de 10 mg de TEEPOL; (dilution 1:3x10 ³) pour redissoudre le résidu; c)- sources placées dans une atmosphère ammoniacale pendant une heure; d)- séchage lent à l'infra-rouge.
			21,320	5	1517,2	0,12	0,27			2. 6 à 8 mm	
			19,869	5	1513,7	0,15	0,34	0,2	95	3. $\approx 2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	
			19,844	6	1519,0	0,10	0,25			4. infra-rouge	
					1515,7						
BCMN 13 50	1. VYNS doré sur les deux côtés 2. $\approx 30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. aucun	30 $\mu\text{g CoCl}_2$ par ml de HCl 0,1 N	8,3960	3	1525,8			0,3	96	1. 20 à 25 mg	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte; correction pour évaporation. 2. Une goutte d'une solution de Ludox dilué à 1:10 ⁴ et une goutte d'une solution de $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (60 $\mu\text{g}/\text{ml}$) furent ajoutées à la source
			8,4223	2	1524,2			0,3	96	2. 8 mm	
					1525,0					3. $\approx 35 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	
										4. infra-rouge	

* en $\text{s}^{-1} \text{mg}^{-1}$, le 1.1.1963

** s.d. (standard deviation) écart-type de la moyenne

*** s.d. (standard deviation) écart-type des résultats individuels

TABLEAU V (suite)

laboratoire	supports	solutions			résultats					sources	
et numéro ampoule	1. nature	1. entraîneur et diluant			1. activité massique moyenne*					1. masse des gouttes	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support
	2. épaisseur	2. facteur de dilution			3. s.d. de la moyenne**						
3. traitement	3. nombre de sources			4. erreur totale					3. épaisseur	2. traitement de la source	
		1	2	3	1	2 (%)	3 (%)	4 (%)			5 (%)
BIPM 35	1. VYNS doré sur un côté	2,2 µg	22,168	11	1513	0,06	0,20	0,3	97,7	1. 26 à 60 mg	1. pycnomètre en polythène pesé avant et après prélèvement de la goutte. Dépôt sur le côté non doré. 2. Deux gouttes d'une solution de Ludox dilué à 1:10 ⁴ furent ajoutées à l'aliquote déjà sur le support.
	2. ≈ 18 µg/cm ²	14 µg	25,077	11	1524	0,03	0,10		96,7	2. 5 à 8 mm	
	3. aucun	27 µg	26,454	10	1516	0,07	0,22		97,5	3. 2,4 à 6 µg/cm ²	
		CoCl ₂ par ml de HCl 0,1 N	25,520	12	1517	0,06	0,21		95,6	4. air	
		1,0 N pour (a)			1517,5						
CENS 14	1. acétate de cellulose doré sur les deux côtés	5 µg CoCl ₂ par ml de H ₂ O	sol. mère	5	1527	0,30	0,67	0,48	85	1. 3 à 60 mg	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte; correction pour évaporation. 2. a) - Reprise des sources après pesée par 30 à 40 mg de H ₂ O et par 10 à 20 mg de Ludox dilué à 1:10 ⁴ ; b) - Les sources de la solution non diluée n'ont subi aucun traitement.
	2. 20-30 µg/cm ²		46,559	5	1520	0,15	0,34	0,4	92	2. 4 à 7 mm	
	3. aucun				1523,5						
CNAM 41	1. Collodion doré sur un côté	eau distillée	sol. mère	2	1525	0,4	0,56	0,6	92	1. 8 à 50 mg	1. Pycnomètre en verre pesé avant et après prélèvement de la goutte. Dépôt sur le côté non métallisé. 2. Addition de Ludox dilué à 1:10 ⁴ .
	2. 10 µg/cm ²		12,137	4	1526	0,25	0,50	0,2	91	2. 5 à 8 mm	
	3. aucun		sol. mère	2	1521	0,2	0,28	0,6	86	3. 1 à 8 µg/cm ²	
			4,9677	2	1531	0,8	1,13	0,5	88	4. air infra-rouge	
			25,010	5	1528	0,3	0,67	0,2	88,5		
					1526,2						
ETL 28	1. VYNS doré sur un côté	50 µg CoCl ₂ par ml de HCl 0,1 N	19,363	5	1517,4	0,07	0,15	0,29	86,9	1. 25 à 31 mg	1. Micro-pipette pesée avant et après prélèvement de la goutte. Dépôt sur le côté non doré.
	2. 25 µg/cm ²									2. 7 mm	2. Addition de Ludox.
	3. aucun									3. 6 µg/cm ²	
										4. infra-rouge	
IAR 23	1. VYNS doré sur un côté	eau distillée	7,701	6	1558	0,25	0,61	0,25	86,1	1. ≈ 20 mg	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte sur le côté doré; correction pour évaporation. 2. Aucun.
	2. 25 µg/cm ²		4,035	6	1569	0,25	0,61	0,24	82,9	2. 8 mm	
	3. aucun				1563,5						
										3. 0,4 µg/cm ²	
										4. infra-rouge	

TABLEAU V (suite)

laboratoire et numéro ampoule	supports	solutions			résultats					sources		
		1. entraîneur et diluant	2. facteur de dilution			1. activité massique moyenne*					1. masse des gouttes	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support
			3. nombre de sources			2. s.d. de la moyenne**						
		1	2	3	1	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	3. épaisseur	3. séchage	
IFM 11	1. feuilles d'aluminium	20 µg CoCl ₂ par ml de H ₂ O	25,896	3	1486,0	0,07	0,12	0,36	62,6			1. 450 mg 2. 5 mm 3. ? 4. air
	2. 2000 µg/cm ²		25,896	3	1500,5	0,16	0,28	0,29	62,0			
	3. addition d'un agent mouillant		25,896	3	1503,8	0,05	0,09		62,6			
					1494,3							
IKO 46 49		20 µg Co ⁺⁺ par ml de HCl 0,1 N	11,499	2	1522,6			0,071	90	1. 42 à 53 mg 2. 10 mm 3. 15 µg/cm ² 4. air	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte; correction pour évaporation. 2. Addition d'une goutte de Ludox dilué à 1:10 ³ .	
			9,6069	3	1517,5			0,067	91			
					1520,0							
IMM 37	1. Celluloid doré sur les deux côtés	aucun H ₂ O	sol. mère	5	1526	0,1	0,22	0,36	96	1. 7 à 24 mg 2. 8 mm 3. 5 à 10 µg/cm ² 4. dessiccateur CaCl ₂	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte; correction pour évaporation. 2. Insuline en solution acide ajoutée sur le support, puis séchée en présence de CaCl ₂ .	
	2. 40 µg/cm ²		8,055	7	1525	0,07	0,19	0,30	96			
	3. insuline				1525,5							
IPA 9	1. polystyrène aluminisé sur les deux côtés	aucun	sol. mère	8	1543,5	0,9	2,55	1,04	94	1. 1 à 8 mg 2. 22 mm 3. 45-55 µg/cm ² 4. air	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte; correction pour évaporation. 2. Aucun.	
	2. 33-43 µg/cm ²											
	3. aucun											
ISN 52 51	1. VYNS doré sur les deux côtés	20 µg Co ⁺⁺ par ml de HCl 0,1 N	8,077	4	1510,5	0,24	0,46	0,242	96,7	1. 16 à 28 mg 2. 4 mm 3. 40 à 50 µg/cm ² 4. infra-rouge	1. Pipette pesée avant et après prélèvement de la goutte. 2. Aucun.	
	2. 20 µg/cm ²		±0,004									
	3. aucun		8,404	4	1521,8	0,24	0,46	0,243	96,7			
					1516,2							
ISS 17 18	1. Mylar aluminisé	HCl 0,1 N	105,402	1	1535,3	0,08	0,266	80,83	1,95,3 à 100,1 mg	1. Pesée de la goutte déposée sur le support; correction pour évaporation. 2. Aucun.		
	2. 1676 µg/cm ²		98,750	1	1515,9	0,09	0,271	79,67	2. 10 mm			
			100,267	1	1526,5	0,16	0,272	79,61	3.			
			102,888	1	1548,2	0,06	0,272	72,92	4. dans le vide.			
					1531,5							

TABLEAU V (suite)

laboratoire et numéro ampoule	supports 1. nature 2. épaisseur 3. traitement	solutions			résultats					sources			
		1. entraîneur et diluant			1. activité massique moyenne*					2. diamètre	3. épaisseur	4. séchage	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support 2. traitement de la source
		2. facteur de dilution			2. s.d. de la moyenne** 3. s.d., résultats individuels*** 4. erreur totale 5. efficacité β moyenne								
1	2	3	1	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)						
JEN 3	1. VYNS doré sur les deux côtés 2. $\approx 30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. aucun	12 $\mu\text{g Co}^{++}$ par ml de HCl 0,1 N	5,7725	8	1524,0	0,04	0,12	0,25	84,7	1. 11-20 mg 2. 4 mm 3. $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 4. air	1. Support pesé avant et après dépôt de la goutte; correction pour évaporation. 2. Aucun.		
			5,9635	8	1523,6	0,04	0,12	0,25	88,1				
			5,8166	9	1524,6	0,05	0,16	0,26	85,9				
			5,8380	7	1524,5	0,07	0,17	0,19	90,8				
					1524,7								
NBS 4B	1. Collodion doré sur un côté 2. $32 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. aucun	24,6 $\mu\text{g CoCl}_2$ par ml de HCl 0,1 N	43,380	6	1524	0,15	0,37	0,25	92,5	1. 33 à 65,4 mg 2. 6 à 8 mm 3. 3,6 à 6,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 4. air	1. Pycnomètre en polythène pesé avant et après prélèvement de la goutte. Dépôt sur le côté métallisé. 2. Une goutte de Ludox diluée à $1:10^4$ ajoutée à toutes les sources; séchage à l'air; 4 des 6 sources sont ensuite redissoutes à l'eau et séchées dans une atmosphère ammoniacale.		
									0,39			95,0	
NPL 29	1. VYNS doré sur les deux côtés 2. $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 3. aucun	20 $\mu\text{g CoCl}_2$ par ml de HCl 0,1 N	8,5756	7	1513,6			0,16	93,5	1. 25 à 38 mg 2. ≈ 7 mm 3. 2,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 4. air dessiccateur	1. Pycnomètre en verre pesé avant et après prélèvement des gouttes. 2. Environ 20 mg d'une solution 0,3% d'un agent mouillant ajoutés à la source déjà sur le support.		
			12,081	7	1513,9				93,3				
					1513,8								
NPRL 15	1. VYNS doré sur les deux côtés 2. 3. aucun	a) 108 $\mu\text{g Co}$ par ml de H_2O b) 33 $\mu\text{g Co}$ par ml de HCl 0,1 N	24,699	5	1513,7	0,15	0,34		90	1. 40 à 90 mg 2. ≈ 5 mm 3. 22 à 85 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 4. infra-rouge	1. Pipette pesée avant et après prélèvement de la goutte. 2. a)- Dilutions avec H_2O ; sources placées dans une atmosphère de NH_3 pendant 3 minutes; b)- dilution avec HCl; séchage, puis redissolution dans H_2O et traitement avec NH_3 .		
			25,274	5	1513,7	0,14	0,31	0,18	90				
			25,405	5	1512,5	0,07	0,16		90				
					1513,3								

TABLEAU V (suite)

laboratoire	supports	solutions	résultats					sources			
et numéro ampoule	1. nature	1. entraîneur et diluant	1. activité massique moyenne*					1. masse des gouttes	1. méthode utilisée pour déterminer la masse de la solution radioactive déposée sur le support		
	2. épaisseur	2. facteur de dilution	2. s. d. de la moyenne**							2. diamètre	
	3. traitement	3. nombre de sources	3. s. d., résultats individuels***					3. épaisseur	2. traitement de la source		
			4. erreur totale					4. séchage			
			1	2	3	1	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	
NRC 25 26	1. VYNS doré sur les deux côtés	HCl 0,1 N	22,448	8	1509,7	0,09	0,25	0,08	96,2	1. 22 à 49 mg 2. 10 mm 3. 2 à 5 μg/cm ² 4. infra-rouge et courant d'air	1. Pycnomètre en polythène pesé avant et après prélèvement de la goutte. 2. Une goutte de solution "Catanac" fut ajoutée à l'aliquote déjà sur le support. (voir Note).
	2. 30-40 μg/cm ²		21,344	9	1510,9	0,04	0,12	0,14	95,8		
	3. aucun		24,082	10	1511,1	0,05	0,16	0,10	96,1		
			21,877	10	1511,5	0,04	0,04	0,13	96,2		
			1510,8								
PTB 39 40	1. VYNS doré sur les deux côtés	20 μg Co ⁺⁺	9,945	13	1517,6	0,02	0,09	0,15	93,5	1. 10 à 27 mg 2. ≈ 5 mm 3. 4 à 6 μg/cm ² 4. infra-rouge	1. Support pesé avant et après prélèvement de la goutte; correction pour évaporation. 2. Traitement du support: une goutte d'une solution d'insuline diluée à 1:20 fut déposée sur le support, retirée, puis séchée à l'infra-rouge.
	2. 45 μg/cm ²	par ml de HCl 0,1 N	7,938	12	1527,8	0,04	0,15	0,15	92,7		
	3. traitement à l'insuline		1522,7								
UVVVR 19 20	1. VYNS doré sur un côté	0,4 μg	47,215	4	1506,9	0,24	0,48	0,3	97,9	1. 20 à 45 mg 2. 7 à 9 mm 3. 1 à 9 μg/cm ² 4. infra-rouge dessiccateur P ₂ O ₅	1. Pycnomètre en polythène pesé avant et après prélèvement de la solution. Dépôt sur le côté doré. 2. Traitement du support: 30 mg d'une solution contenant 0,4 UI/ml sur le support; retrait et séchage dans un dessiccateur contenant du P ₂ O ₅ .
		9 μg	49,693	7	1515,4	0,48	1,27	à	96,6		
	2. 20 μg/cm ²	9 μg	47,613	4	1512,8	0,18	0,36	0,4	96,5		
		46 μg	48,446	4	1516,4	0,50	1,0		94,8		
	3. traitement à l'insuline	6,4 μg	47,446	4	1513,8	0,12	0,24	0,31	96,1		
	9 μg	47,994	4	1512,8	0,38	0,76	0,36	95,1			
		Co ⁺⁺	1513,0								
		par ml de HCl 0,3 N									

Note. Le Catanac est un agent anti-statique utilisé dans l'industrie des plastiques; il est vendu par American Cyanamide Company. L'addition de 2 à 5 μg de cette substance provoque un séchage rapide et uniforme de la source et en améliore l'homogénéité.

TABLEAU VI
MÉTHODE 4πβ-γ. CORRECTIONS ET ERREURS ATTRIBUÉES AUX RÉSULTATS INDIVIDUELS POUR LA SOLUTION DE ⁶⁰Co

laboratoire et numéro ampoule*	corrections (%)							erreurs statistiques (%)										
	décroissance	temps mort	mouvement propre			coïncidences fortuites	efficacité γ	décroissance	temps mort	mouvement propre			coïncidences	efficacité γ	dilution	pesées	fluctuations statist.	erreur totale $\sqrt{\sum \Delta^2}$
			β	γ	ε					β	γ	ε						
AAEC	3,8 à 4,3	0,25	1,8 à 2,1	9,4 à 9,7	0,10 à 0,12	0,02	0,2	0,01	0,04	0,01	0,06	0,01	0,06	0,02	0,2	0,01	0,05	0,23
AECL 43	3,6 à 4,4	0,7 à 0,4	0,003 à 0,03	0,05 à 0,3	0,003 à 1,6	0,3 à 1,6	0,02 à 0,03	0,02	0,008 à 0,02	0,003 à 0,03	0,005 à 0,03	0,01 à 0,03	0,0045		0,003	0,08	0,09	
AIEA	<0,4	0,15	0,1	0,2	0,1	<0,4		<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,08	<0,02	<0,05	<0,1	0,12	0,2
BCMNI	0,01	1,0	1			0,5			0,20		0,10		0,10				0,05	0,3
BIPM	3,334 à 3,448	<0,1	0,03 à 0,01	7,5 à 3,3	0,14 à 0,06	0,2 à 0,7					0,1		0,1	0,05	0,15	0,1	0,08 à 0,06	0,3
CENS	0,43	0,14 à 0,8	0,05 à 0,15	5 à 15	0,1 à 0,3	0,1 à 0,5	0,01 à 0,5	0,001	0,01 à 0,05	0,003 à 0,01	0,08 à 0,25	0,004 à 0,010	0,01 à 0,05	0,03 à 0,05	0,02	0,02 à 0,20	0,15 à 0,30	0,40 à 0,48
ETL	3,54	0,04 à 0,05	0,08 à 0,10	1,88 à 2,05	0,13 à 0,19	0,4 à 0,56	0,05	0,03	0,005		0,1		0,05	0,05	0,2	0,1	0,14	0,29
IAR 23		0,06	0,1	0,14	0,01	2,20			0,006	0,01	0,01	0,001	0,11	0,03	0,05	0,05	0,2	0,25
IFM 11	0,09	0,05	0,14	13,0	0,30	1,18	1,2	0,03	0,01	0,007	0,10	0,06	0,17		0,1	0,05	0,27	0,36
IKO 46	4,46	0,054	0,01	5	0,003	0,032		0,050	0,001		0,010		0,001	0,005	0,005	0,035	0,033	0,07

* Lorsqu'un laboratoire a utilisé les deux ampoules pour effectuer les mesures, les corrections et les erreurs données dans ce tableau sont celles qui correspondent aux résultats obtenus en utilisant l'ampoule dont le numéro est indiqué dans la première colonne.

TABLEAU VI (suite)

laboratoire et numéro ampoule*	corrections (%)								erreurs statistiques (%)											
	décroissance	temps mort	mouvement propre			coïncidences fortuites	efficacité	γ	décroissance	temps mort	mouvement propre			coïncidences fortuites	efficacité	γ	dilution	pesées	fluctuations statist.	erreur totale $\sqrt{\sum \Delta^2}$
			β	γ	ε						β	γ	ε							
IMM	5,5	0,1	0,06	2,14	0,05	0,47		0,05	0,1	0,002	0,004		0,09			0,05	0,1	0,0006	0,30	
IPA	4,35	0,45	0,04	3,2	0,1	0,9	0,038	0,05	0,045	0,03	0,12	0,01	0,18	0,012			1,0	0,17	1,4	
JEN 3	3,3	0,06 à 0,12	0,042 à 0,079	0,88 à 1,80	0,06 à 0,13	0,28 à 0,77	0,02 à 0,03	0,002	0,015 à 0,009	0,004 à 0,019	0,10 à 0,19	0,04 à 0,08	0,03 à 0,08	0,02	0,03		0,15 à 0,33	0,09	0,23 à 0,40	
CNAM 42	1,038		1,95	0,40	0,002	0,4 à 2,2	0,00	0,02	0,05	0,005	0,1	0,001	0,08 à 0,45	0,000	<0,001	<0,1		0,11 à 0,35	0,5 à 0,6	
NBS	3,01 à 3,04	<0,05 à 0,4	0,2 à 0,4	0,5 à 1,1	0,06 à 0,11	0,15 à 0,27	0,02 à 0,03				0,18 à 0,33	0,01 à 0,2	0,15 à 0,27		0,1	0,1		0,10 à 0,15	0,25 à 0,39	
NPL		0,06	0,02	0,18	0,01	0,28			0,05		0,01		0,04		0,1	0,1		0,10	0,18	
NPRL	0,970	0,2	0,018	2,9	0,05	0,90	0,72	0,005	0,01	0,001	0,01		0,004	0,026	0,01		0,15	0,103	0,18	
NRC 26	2,77 à 2,78	0,036 à 0,058	0,031 à 0,049	0,315 à 0,505	0,001 à 0,05	0,132 à 0,210	0,02	0,032	0,005 à 0,009	0,002 à 0,003	0,021 à 0,033		0,013 à 0,021	0,005	0,008		0,052 à 0,080	0,074 à 0,094	0,10 à 0,13	
PTB 40	3	0,1 à 0,2	0,01 à 0,03	2,7 à 5,4	0,03 à 0,06	0,2 à 0,5		<0,01	<0,02		<0,08	<0,01	<0,05	0,01	0,03		0,10	0,05	0,15	
UVVVR 19	4,187	0,075 à 0,14	0,13 à 0,25	6 à 10	0,2 à 0,3	0,2 à 0,3	0,06 à 0,154	0,02	0,001 à 0,025	0,005 à 0,007	0,13 à 0,17	0,02 à 0,03	0,06 à 0,09	0,02 à 0,050	0,015		0,20 à 0,40	0,15 à 0,20	0,3 à 0,4	
ISN 51	6,6	0,31	0,127	13,6	0,17	0,525	2,96	0,068	0,114	0,003	0,033	0,079	0,115	0,01	0,05		0,02	0,108	0,243	
ISS 18	13,82	0,088	0,7	14,83	0,47	0,79	0,040	0,0733	0,076	0,119	0,069	0,118	0,16	0,085	0,141		0,1	0,054	0,316	

ANNEXE 5

ANALYSE DES RÉSULTATS
DE LA COMPARAISON INTERNATIONALE
DE SIX ÉTALONS DE RADIUM « HÖNIGSCHMID »

(1963-1964)

Par A. RYTZ

Bureau International des Poids et Mesures

Abstract. — During the period from October 1963 to February 1964, the radium standard N° 5427 has been compared with five other Hönigschmid standards in the following laboratories: Institut du Radium, Paris; P. T. B., Braunschweig; I. R. K., Vienna. The main features of the ionization chambers and calorimeters used are described briefly and the results obtained are compared with some earlier measurements. The standard errors reported vary from two to ten parts in 10 000.

I. INTRODUCTION

En octobre 1961, le Groupe de travail pour la mesure des Étalons de Radium a décidé de recommander au Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes la comparaison de l'étalon soviétique N° 5427 à plusieurs autres étalons de la série « Hönigschmid ». Après élimination de quelques difficultés d'organisation imprévues, ces mesures se sont déroulées de la manière indiquée dans le tableau I.

TABLEAU I

Date et laboratoire	Méthode	N°s des étalons inclus dans les mesures					
		5426	5430	5427	5428	5422	5438
1. Oct.-nov. 1963 Laboratoire Curie (L. C.) Institut du Radium, Paris.	C	×	×	×		×	×
2. Déc. 1963 - janv. 1964 Physikalisch - Technische Bundesanstalt (P.T.B.), Braunschweig	C, I	×		×		×	
3. Février 1964 Institut für Radiumforschung und Kernphysik (I.R.K.), Wien	I			×		×	

C, calorimètre; I, chambre d'ionisation.

II. DESCRIPTION DES MÉTHODES

1. Les mesures effectuées au Laboratoire Curie ont été décrites par M. Lecoin et J. Robert (*J. Physique*, **25**, Suppl., 1964, p. 159 A). Les étalons étaient placés successivement dans un calorimètre en or d'environ 300 g, suspendu dans une enceinte de cuivre qui est immergée dans une cuve contenant 300 l d'eau. En maintenant aussi petite que possible la différence de température entre le calorimètre et l'enceinte qui est mesurée par un thermocouple, l'élévation de température du calorimètre peut être suivie au moyen d'un thermomètre à mercure Beckmann immergé dans l'eau. On mesurait le nombre de secondes mis par la colonne de mercure pour gravir un degré. Comme les étalons ont des masses brutes différentes, il est nécessaire d'appliquer une correction pour la masse calorimétrique. Les cinq étalons ont été mesurés deux à six fois.

2 a. Le microcalorimètre différentiel utilisé à la P.T.B. a été décrit par H. Ramthun (*P.T.B. - Mitt.*, 1964, N° 2, p. 117). Il comporte deux récipients symétriques en cuivre équipés tous deux d'un chauffage électrique. Le ou les étalons sont placés dans ces récipients entourés d'une enceinte protectrice en cuivre qui est elle-même entourée d'une deuxième enceinte maintenue à une température constante ($\pm 0,001$ degré). La différence de température entre les deux calorimètres est mesurée par une thermopile et maintenue à sa valeur minimale en réglant le chauffage. La puissance nécessaire à la compensation exacte de la chaleur dégagée par l'étalon est obtenue en mesurant la tension et le courant de chauffage. Chacun des trois étalons a été mesuré deux à trois fois. En outre, la différence entre chaque paire d'étalons a été mesurée. Des corrections pour l'asymétrie et pour l'accroissement d'activité due à l'évolution du ^{210}Pb ont été appliquées.

2 b. La chambre d'ionisation cylindrique de la P.T.B. est munie, à l'avant, d'une paroi en plomb de 5 mm d'épaisseur. Les étalons étaient placés à 80 cm de cette paroi. Par compensation, on mesurait la chute de tension le long d'une résistance de $10^{14}\Omega$. Chaque étalon était comparé avec chacun des deux autres en les interchangeant 42 à 58 fois toutes les 10 minutes, pour éliminer l'influence des changements de pression et de température. Des corrections pour le défaut de saturation et l'absorption dans le sel et le verre ont été appliquées.

3. À l'I.R.K., les mesures ont été faites avec une chambre d'ionisation (grand condensateur plat de Marie Curie) reliée à un électromètre bifilaire. Les étalons étaient placés successivement en position horizontale ou verticale sur la plaque supérieure constituée de plomb (20 ou 30 mm) et de zinc (2 mm). La décharge de la chambre était suivie en mesurant le temps mis par un fil de l'électromètre pour parcourir un même intervalle. Douze séries de dix mesures chacune ont été effectuées. Pour la position verticale de l'étalon N° 5428, une correction d'auto-absorption a été appliquée.

III. RÉSULTATS

1. Les résultats obtenus par le Laboratoire Curie sont contenus dans le tableau II.

TABLEAU II

Étalon N ^o	m	r
	Masse d'après les pesées par Hönigschmid le 2 juin 1934 (mg Ra)	Élévation de température corrigée pour la masse calorimétrique (deg. s ⁻¹)
5426	14,608	(65 574 ± 45) × 10 ⁻¹⁰
5430	16,922	76 063 ± 55
5427	21,283	95 365 ± 55
5422	24,785	111 157 ± 60
5438	38,060	170 300 ± 100

En se basant sur plusieurs comparaisons non publiées de l'étalon N^o 5430 avec d'autres étalons, selon lesquelles sa masse serait manifestement plus grande que celle qui a été mesurée par Hönigschmid, le Laboratoire Curie considère les erreurs des mesures par calorimétrie comme négligeables vis-à-vis des erreurs de pesée. Cette interprétation a conduit le L.C. à calculer les masses comme suit :

$$m_k = r_k \frac{\sum m_i}{\sum r_i} \text{ (voir les résultats au tableau III).}$$

Une autre méthode a été utilisée par W. S. Connor et W. J. Youden (*J. Research N.B.S.*, 53, 1954, p. 273). Elle permet de tenir compte des erreurs sur r et m et consiste à rendre minimale la somme des carrés des distances des points (m_i, r_i) par rapport à une droite passant par l'origine.

Sans prétendre que cette méthode soit la mieux adaptée à ce problème, nous avons cru intéressant de l'utiliser parallèlement à celle proposée par le L.C. Comme rapport des écarts-types nous avons adopté $k = 1$. Avec $k = 0,4$ ou $1,6$, des résultats très peu différents de ceux retenus dans le tableau III seraient obtenus.

2. Les résultats obtenus par la P.T.B. se présentent sous forme de rapport entre chaque paire d'étalons.

Étalons N ^{os}	Méthode	
	C	I
5422/5426	1,695 6 ± 0,066 %	1,695 9 ± 0,07 %
5427/5426	1,455 4 ± 0,070 %	1,455 2 ± 0,07 %
5422/5427	1,165 0 ± 0,051 %	1,164 7 ± 0,05 %

Les erreurs indiquées sont trois fois l'erreur quadratique moyenne.

Ces résultats, bien que portant sur trois étalons seulement, ont été traités par nous selon la méthode de Connor et Youden indiquée plus haut (voir tableau III).

3. Le résultat obtenu à l'I.R.K. :

$$\text{N}^{\circ} 5427/\text{N}^{\circ} 5428 = 0,908\ 64 \pm 0,001\ 2$$

comprend également trois fois l'erreur quadratique moyenne.

L'ensemble de ces résultats compensés est présenté dans le tableau III.

TABLEAU III

Laboratoire	Année	Méthode	Étalons N ^{os}						Écart-type (%)
			5426	5430	5427	5428	5422	5438	
Munich (Hönigschmid)	1934	pesée	14,608	16,922	21,283	23,407	24,785	38,060	
Divers *			14,614	16,935	23,428				
L.C.	1963	C	<i>a</i> 14,627	16,967	21,273		24,795	37,988	0,13
			<i>b</i> 14,621	16,949	21,283		24,797	38,035	0,10
P.T.B.	1963-64	C	14,612		21,279		24,785		0,02
P.T.B.	1963-64	I	14,613		21,279		24,785		0,03
I.R.K.	1964	I			21,269	23,407			0,04

* N.B.S. Handbook 78, 1961, p. 76 (meilleure estimation).

a Méthode de calcul proposée par le L.C.

b Méthode de Connor et Youden.

(12 avril 1965)

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ CONSULTATIF POUR LES ÉTALONS DE MESURE DES RADIATIONS IONISANTES 5^e Session (1964)

	Pages.
Avertissement historique	5
Liste des Membres	7
Ordre du Jour	10

Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par C. Garrett.

Décisions du Comité International des Poids et Mesures à la suite des recommandations du Comité Consultatif (4 ^e session). Adoption des Rapports des Groupes de travail. Activité de la Section des radiations ionisantes du Bureau International (radionucléides, mesures neutroniques, radium). Inauguration des nouveaux laboratoires. Activités futures et réunions des Groupes de travail. Propositions et questions diverses (spectroscopie α , β et γ ; organisation de symposiums au Bureau International (<i>Recommandation R 1</i>); programme de coopération avec les laboratoires nationaux de métrologie (<i>Recommandation R 2</i>); unités et symboles des grandeurs de rayonnement; Carbone 14)	11
--	----

Annexes

1. <i>Rapports des Groupes de travail</i> (Mesures des radionucléides. Mesures neutroniques)	17
2. B.I.P.M. — <i>Analyse des résultats de la comparaison internationale du Soufre 35</i> (Juin 1962), par J. C. Roy et A. Rytz	28
3. B.I.P.M. — <i>Rapport sur la comparaison internationale de l'Américium 241</i> (Juillet 1963), par A. Rytz	49
4. B.I.P.M. — <i>Rapport sur la comparaison internationale de la méthode $4\pi\beta$(CP)-γ au moyen du Cobalt 60</i> (Mars-Avril 1963), par A. Rytz	67
5. B.I.P.M. — <i>Analyse des résultats de la comparaison internationale de six étalons de radium « Hönigshmid »</i> (1963-1964), par A. Rytz	103

IMPRIMERIE DURAND

LUISANT-CHARTRES (EURE-ET-LOIR)

Dépôt légal, Imprimeur, 1965, n° 219
Dépôt légal, Éditeur, 1965, n° 1376

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 20-10 -1965

Inprimé en France