

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

SESSION DE 1983

---

ISBN 92-822-2082-6

**BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**



# COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Rapport de la 16<sup>e</sup> Session  
1983

Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92310 Sèvres, France



## NOTICE SUR LES ORGANES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

(1) Au 31 décembre 1983, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. Pop. Dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Indé, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité International. La dotation annuelle du Bureau International est de l'ordre de 10 720 000 francs-or (en 1983), soit environ 19 450 000 francs français.

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

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

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

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

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

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

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

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

---

**Comité International des Poids et Mesures**

*Secrétaire*  
J. DE BOER

*Président*  
J. V. DUNWORTH

---

**LISTE DES MEMBRES  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ**

---

*Président par intérim*

H. J. SCHRADER, Vice-Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

*Membres*

AMT FÜR STANDARDISIERUNG, MESSWESEN UND WARENPRÜFUNG [ASMW], Berlin.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris: Laboratoire Central des Industries Électriques [LCIE], Fontenay-aux-Roses (France).

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], Ottawa.

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (Australie).

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Ibaraki (Japon).

ISTITUTO ELETTROTECNICO NAZIONALE GALILEO FERRARIS [IEN], Turin.

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

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [INM], Bucarest.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], Washington.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington (Grande-Bretagne).

NATIONAL PHYSICAL RESEARCH LABORATORY [NPRL], Pretoria.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

VAN SWINDEN LABORATORIUM [VSL], Delft.

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

---

## ORDRE DU JOUR

de la 16<sup>e</sup> Session

---

1. Rapports des représentants des laboratoires :
    - Déterminations directes (ou indirectes) des unités.
    - Représentations, conservation et dissémination des unités (y compris multiples et sous-multiples).
    - Tendances et développements prioritaires.
  2. Travaux du BIPM; ses tâches futures.
  3. États d'avancement des comparaisons internationales circulaires :
    - BIPM (Sèvres) : étalons de capacité de 10 pF.
    - VSL (Delft) : étalons de transfert courant alternatif/courant continu.
    - PTB (Braunschweig) : instruments de mesure des puissances à basse fréquence.
    - PTB (Braunschweig) : étalon d'inductance.
  4. Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences; moyens d'accélérer le déroulement des comparaisons.
  5. Comparaisons internationales à prévoir :
    - résistance;
    - force électromotrice;
    - grandeurs en haute fréquence.
  6. Publication des résultats des comparaisons internationales.
  7. Réalisation ou reproduction de l'ohm à partir de l'effet Hall quantique.
  8. Proposition du CCE sur la façon d'exprimer les incertitudes des résultats de mesure lors des comparaisons internationales.
  9. Adoption d'une nouvelle valeur de la constante  $2e/h$ . (La valeur 483 594,0 GHz/V, admise par la plupart des laboratoires nationaux, conduit en effet à une représentation du volt qui semble pouvoir s'écarter de l'unité SI de force électromotrice de  $8 \times 10^{-6}$  en valeur relative).
  10. Questions diverses.
-



RAPPORT  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ  
(16<sup>e</sup> Session — 1983)  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par A. F. DUNN, Rapporteur

Le Comité Consultatif d'Électricité (CCE) s'est réuni pour sa seizième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu cinq séances les mercredi 23, jeudi 24 et vendredi 25 mars 1983.

Étaient présents :

H.-J. SCHRADER, président par intérim du CCE.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],  
Berlin (W. SCHLESOK).

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire Central des  
Industries Électriques, Fontenay-aux-Roses (J. OSWALD,  
N. ELNÉKAVÉ, F. DELAHAYE, A. FAU, R. KNOSP).

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa  
(A. F. DUNN).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield  
(I. K. HARVEY).

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

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin  
(E. ARRI).

National Bureau of Standards [NBS], Washington (B. N. TAYLOR).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (O. C. JONES,  
C. H. DIX).

National Physical Research Laboratory [NPRL], Pretoria  
(R. TURNER).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig  
(V. KOSE).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. KAARLS).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invité :

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (ZHANG DESHI).

Assistaient aussi à la session : A. E. BAILEY, président du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM, T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM, G. LECLERC, T. WITT, D. REYMANN et A. SAKUMA (BIPM).

Excusé :

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

Absent :

Institut National de Métrologie de la Roumanie [INM], Bucarest.

Le président du CCE et le directeur du BIPM souhaitent la bienvenue aux participants; l'ordre du jour provisoire, avec le complément envoyé aux membres du CCE le 20 janvier 1983, est adopté, en convenant que le point 2 ne sera abordé qu'après le point 7.

Mr Dunn est nommé rapporteur.

**1. Rapports des représentants des laboratoires  
et nouvelle valeur de la constante  $2e/h$   
(Documents CCE/83-1 à 83-36)  
(points N<sup>os</sup> 1 et 9 de l'ordre du jour)**

Chaque représentant expose brièvement les activités en cours dans son laboratoire, en insistant sur la réalisation des unités SI, sur la conservation des unités et sur les projets de recherches envisagées.

L'ASMW donne les résultats de la mesure de  $\gamma_p$  en champ fort (1 T) qu'il a terminée dix jours plus tôt, résultats qui conduisent, lorsqu'on les combine avec ceux obtenus en champ faible, à la relation suivante :

$$A_{ASMW} = A_{SI} - (2,6 \pm 2) \mu A$$

d'où l'on peut déduire que

$$A_{BIPM} = A_{SI} - 1,1 \mu A.$$

Le CSIRO rend compte des résultats des premières mesures absolues du volt faites avec son électromètre à mercure; ces résultats conduiraient à poser  $2e/h = 483\,598,3 \pm 1,0$  GHz/V pour exprimer la valeur des tensions

obtenues en mettant en œuvre l'effet Josephson; mais il ne s'agit là que d'une valeur préliminaire.

Le LCIE indique qu'il a récemment terminé une mesure absolue du volt avec son électromètre à électrodes planes du type Kelvin; il en a déduit que  $2e/h = 483\,595,7 \pm 1,2$  GHz/V.

Le NPL a effectué une nouvelle détermination de sa représentation de l'unité de résistance en la rattachant à celle de son unité de capacité déterminée avec un condensateur calculable. Il a obtenu :

$$\Omega_{\text{NPL}} = \Omega_{\text{SI}} - (1,06 \pm 0,1) \mu\Omega.$$

Combiné à la relation entre puissance électrique et puissance mécanique déterminée à l'aide de la balance à bobine mobile du NPL, ce résultat conduit à la valeur provisoire :

$$2e/h = 483\,596,5 \pm 0,5 \text{ GHz/V.}$$

Plusieurs laboratoires ont rendu compte d'un certain nombre d'autres recherches en cours, en donnant de brèves indications sur certains problèmes connexes. Il semble que la plupart de ces recherches devraient aboutir d'ici un à trois ans, et conduire à des résultats significatifs.

B. N. Taylor du NBS et d'autres poursuivent leur travail d'ajustement de la valeur des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés. D'après cette source d'information, il semble que la valeur de  $2e/h$ , calculée de façon indirecte, diffère d'une quantité significative du quotient de la fréquence par la tension (483 594,0 GHz/V) adopté par le CCE en 1972 pour exprimer la valeur des tensions produites au moyen de l'effet Josephson. (Point 9 de l'ordre du jour).

Après de longues discussions le CCE a adopté la déclaration suivante :

Le Comité Consultatif d'Électricité constate :

— que de nombreux laboratoires nationaux utilisent l'effet Josephson pour conserver une représentation invariable du volt, mais qu'ils n'utilisent pas tous la même valeur pour le quotient de la fréquence par la tension,

— que la valeur (483 594,0 GHz/V) promulguée pour ce quotient par le CCE en 1972 et en 1975, valeur qui est utilisée par de nombreux laboratoires pour conserver leurs étalons représentatifs du volt, comporte peut-être une erreur significative que l'on n'est pas encore en mesure d'évaluer,

— que des réalisations du volt ou de l'ampère aussi bien que des déterminations de constantes fondamentales, lesquelles pourront fournir des déterminations indirectes de la valeur de  $2e/h$  en unités SI, sont en cours dans plusieurs laboratoires,

— et qu'il serait très souhaitable d'avoir dans tous les laboratoires nationaux une représentation du volt qui soit à la fois uniforme et en accord avec le SI.

En conséquence, le CCE :

- recommande aux laboratoires de poursuivre activement les réalisations d'unités et les déterminations de constantes en question,
- se propose de se réunir dans trois ans pour examiner à nouveau la question, à la lumière des résultats qui seront alors disponibles, dans le but d'adopter pour le quotient de la fréquence par la tension une nouvelle valeur qui soit en accord avec le SI et qui puisse être adoptée par tous les laboratoires nationaux,
- et recommande aux laboratoires de ne pas modifier la valeur qu'ils ont admise jusqu'ici pour ce quotient jusqu'à ce qu'une nouvelle valeur soit adoptée.

## 2. État d'avancement des comparaisons internationales (Point 3 de l'ordre du jour)

### 2.1. BIPM : étalons de capacité de 10 pF

Trois des quatre circuits prévus sont achevés; le quatrième va commencer très prochainement. Les résultats déjà connus sont présentés dans le document CCE/83-25.

### 2.2. VSL : étalons de transfert courant alternatif/courant continu (Document CCE/83-28)

Trois des six circuits prévus sont achevés; le quatrième est en cours. Aucun résultat n'a encore été publié.

### 2.3. PTB : puissance électrique à basse fréquence [120 V, 5 A, 50 Hz, facteur de puissance : 1 et 0,5 (courant en avance et en retard)]

Le premier circuit européen est achevé et le second a commencé; le circuit d'Amérique du Nord est prévu pour la fin de 1983. Aucun résultat n'a été publié.

### 2.4. PTB : inductance

La PTB n'ayant pas reçu l'étalon d'inductance voyageur proposé par l'IMM en 1978, la comparaison n'a pas été entreprise.

Actuellement un étalon d'inductance de 10 mH circule en Europe; il est l'objet d'une comparaison organisée par le Bureau Communautaire de Références. Lorsque cette comparaison sera terminée, l'étalon voyageur pourra peut-être servir pour la comparaison prévue par le CCE. Pour l'instant cette comparaison internationale est reportée sine die.

### **3. Comparaisons internationales à prévoir** (Point 5 de l'ordre du jour)

Le BIPM a proposé le rétablissement des comparaisons internationales périodiques des étalons de  $1 \Omega$ . Les meilleurs de ces étalons constituent en effet d'excellents instruments de transfert; transportés dans de bonnes conditions ils peuvent permettre de comparer les représentations de l'ohm conservées dans les divers laboratoires nationaux à  $1 \times 10^{-7}$  près et par conséquent d'estimer avec une bonne précision l'exactitude des déterminations absolues.

Les comparaisons internationales permettent de connaître à des dates précises et à des intervalles de temps réguliers les positions relatives des représentations de l'ohm en usage dans tous les grands laboratoires nationaux. La représentation conservée par le BIPM ne joue aucun rôle particulier dans ces comparaisons.

Onze laboratoires sont favorables à la reprise des comparaisons des étalons de  $1 \Omega$ . La plupart de ces laboratoires souhaitent aussi l'organisation de comparaisons d'étalons de  $10^4 \Omega$ . Compte tenu de l'importance du travail à faire, il est probable qu'il faudra le fractionner. Il a été suggéré, par exemple, de répartir les laboratoires en deux groupes, le premier réunissant ceux qui s'intéressent tout particulièrement aux constantes fondamentales, le second rassemblant les autres.

Certains délégués ayant proposé le rétablissement des comparaisons internationales périodiques des piles étalons, la réponse des laboratoires n'a pas été aussi unanime. De nombreux participants ont le sentiment que les problèmes de transport annuleraient vraisemblablement le bénéfice de telles comparaisons; d'autres ont l'impression que l'installation de mesure par effet Josephson, qui existe au BIPM, conserve l'unité de tension de façon invariable et que des comparaisons bilatérales entre un laboratoire et le BIPM, à des périodes commodes pour l'un et l'autre, assureraient le même service que la comparaison simultanée d'un grand nombre de groupes de piles étalons comme cela se faisait dans le passé. Le BIPM procédera aux arrangements appropriés.

### **4. Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences** (Document CCE/83-33) (Point 4 de l'ordre du jour)

Le président du Groupe de travail (A. E. Bailey) présente le rapport de ce Groupe qui s'est réuni au BIPM les 16, 17 et 18 mars 1983. Sur un total de 42 comparaisons internationales prévues en 1978, au moment de la dernière réunion, huit ont été achevées, cinq sont terminées sans que le

rapport final soit encore rédigé, dix ont été annulées car ne présentant plus d'intérêt et dix-neuf sont en cours ou vont être entreprises prochainement. L'organisation de quatre nouvelles comparaisons internationales a été décidée et les premières dispositions prises.

La situation concernant l'ensemble des comparaisons internationales est donnée en détail (*voir* p. E 14).

Il est devenu évident pour tous les laboratoires qui participent à ces comparaisons internationales, en particulier pour les laboratoires pilotes, que le nombre des comparaisons envisagées est trop important compte tenu des installations et du personnel dont disposent les différents laboratoires.

Au terme d'une longue discussion le Groupe de travail a adopté des règles à appliquer par les laboratoires pour l'exécution des futures comparaisons internationales des grandeurs aux radiofréquences. Ces règles qui font l'objet d'une annexe au rapport du Groupe de travail donnent des indications sur la publication et la diffusion des résultats des comparaisons internationales dans le domaine des radiofréquences; Mr Bailey pense qu'elles seraient vraisemblablement valables pour la publication des résultats de toutes les comparaisons internationales (Point 6 de l'ordre du jour du CCE).

### **5. Publication des résultats des comparaisons internationales** (Annexe au document CCE/83-33) (Point 6 de l'ordre du jour)

Les règles proposées par le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, concernant la publication des résultats des comparaisons internationales qu'il organise, sont valables pour la publication des résultats des comparaisons internationales organisées par le CCE.

Les références bibliographiques concernant la publication du rapport final complet de chaque comparaison doivent être communiquées sans retard par le laboratoire pilote au BIPM, pour que celui-ci les fasse connaître dans *Metrologia*.

### **6. Réalisation ou reproduction de l'ohm à partir de $h/e^2$** (Point 7 de l'ordre du jour, Documents CCE/83-3,7,8,19,20,21,22,32)

Dans les documents diffusés avant la réunion, et au cours des brèves présentations faites en séance par chaque laboratoire, il a souvent été fait référence aux travaux sur l'effet Hall quantique. Quatre laboratoires sont engagés dans des vérifications expérimentales et deux autres s'y préparent activement. Au cours des trois années qui se sont écoulées depuis sa découverte, il s'est avéré que l'effet Hall quantique permet d'obtenir des résultats extrêmement reproductibles mais que des effets encore inconnus,

peut-être systématiques, limitent pour le moment la concordance entre les laboratoires à environ  $1 \times 10^{-6}$ .

Le CCE considère comme urgentes et très importantes les recherches sur l'effet Hall quantique et a adopté la Recommandation E 1 (1983).

### **7. Travaux du BIPM**

(Documents CCE/83-26, 37, Point 2 de l'ordre du jour)

Le nouveau responsable de la section Électricité (T. Witt) expose les travaux effectués au BIPM dans cette section. Un peu plus de 50 % du temps est consacré aux services d'étalonnage pour répondre aux demandes des laboratoires nationaux des pays membres de la Convention du Mètre.

Entre autres activités futures, le CCE préconise que le BIPM poursuive en premier lieu des développements dans les domaines qui lui sont propres, à savoir les mesures des résistances de  $1 \Omega$  et  $10^4 \Omega$  en courant continu. Ensuite qu'il continue ou entreprenne des recherches sur l'automatisation des mesures, sur le passage courant alternatif/courant continu et la mesure des résistances au moyen de l'effet Hall quantique.

Après discussion, le CCE adopte la Recommandation E 2 (1983).

### **8. Expression des incertitudes de mesure**

(Document CCE/83-4) (Point 8 de l'ordre du jour)

Il semble que les différentes organisations et les comités qui s'occupent de la façon d'exprimer l'incertitude du résultat d'une mesure ou d'une série de mesures, s'acheminent vers un consensus sur la méthode à utiliser. Il est expressément demandé aux laboratoires pilotes des comparaisons internationales organisées par le CCE ou le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences de traiter les incertitudes de la même façon.

### **9. Questions diverses**

(Point 10 de l'ordre du jour)

Le LCIE annonce qu'il célébrera le centenaire de sa fondation le 6 décembre 1983 et invite tous les laboratoires à participer à cette commémoration.

La question de la participation de laboratoires privés aux comparaisons internationales organisées sous les auspices du BIPM est évoquée. Ces participations ne peuvent être acceptées sans l'accord des laboratoires nationaux.

V. Kose de la PTB continuera à assurer la liaison entre le CCE et l'URSI (Commission A). Le CCE reconnaît qu'il existe des possibilités de

recouvrement des activités de l'URSI et de la CPEM; mais une liaison est assurée entre ces deux organismes par V. Kose (PTB) et R. Kaarls (VSL).

\*  
\* \*

Mr Terrien remercie le président pour la façon dont il a conduit cette 16<sup>e</sup> session du CCE; à son tour, Mr Schrader remercie les participants pour leur attention et leur efficacité, et en particulier Mr Terrien des conseils judicieux qu'il a prodigués au CCE lors de la rédaction des Recommandations adoptées au cours de la présente session.

Avril 1983



**Recommandations  
du Comité Consultatif d'Électricité  
présentées  
au Comité International des Poids et Mesures**

**Effet Hall quantique**

RECOMMANDATION E 1 (1983)

Le Comité Consultatif d'Électricité,

*ayant examiné*

l'état actuel des expériences relatives à l'effet Hall quantique,

*considérant :*

— que cet effet, mis en œuvre dans plusieurs laboratoires, a fourni des résultats hautement reproductibles pour un laboratoire et un montage expérimental donné, qu'il offre donc la possibilité de déceler et de mesurer la dérive éventuelle de la résistance des étalons matériels représentatifs de l'ohm dans chaque laboratoire, mais que la reproductibilité d'un laboratoire à l'autre n'est pas encore assurée à mieux que  $1 \times 10^{-6}$ ,

— que l'étude de cet effet contribuera à une meilleure détermination des constantes physiques fondamentales,

*recommande :*

— que les recherches sur l'effet Hall quantique soient poursuivies avec une haute priorité,

— que l'utilisation du condensateur calculable soit développée en étroite liaison avec ces recherches,

— et que les valeurs proposées pour la résistance correspondant à l'effet Hall quantique soient communiquées au BIPM avant février 1986, pour qu'elles puissent être prises en compte lors de la prochaine réunion du CCE, lequel aura à charge de recommander une valeur qui soit en accord avec le SI et qui puisse être adoptée par tous les laboratoires nationaux.

**Activités du BIPM en électricité**

RECOMMANDATION E 2 (1983)

Le Comité Consultatif d'Électricité,

*considérant :*

— l'importance des mesures électriques pour la science, l'industrie et le commerce,

— le rôle essentiel que jouent les étalons du BIPM en fournissant la base de l'uniformité mondiale de ces mesures,

— l'accroissement de complexité résultant des progrès récents de la technologie, qui exige un accroissement de l'exactitude des étalons électriques,

— l'accroissement parallèle du nombre de laboratoires nationaux qui ont besoin de se référer aux étalons du BIPM,

— l'accroissement du nombre des grandeurs électriques pour lesquelles on demande maintenant au BIPM d'établir des étalons de référence,

— le besoin essentiel pour le BIPM de maintenir ses étalons électriques au niveau le plus élevé, afin de pouvoir satisfaire ces demandes,

*considérant aussi :*

— que le programme de travail proposé par le BIPM pour les années 1985-1988 en électricité correspond au minimum nécessaire pour satisfaire les besoins ci-dessus,

— mais que l'effectif du personnel actuellement disponible n'est pas suffisant pour réaliser ce programme,

*recommande :*

— que toutes mesures appropriées soient prises d'urgence pour accroître le personnel et les moyens matériels disponibles au BIPM dans la section d'électricité.

---

## **Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences**

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 16, 17 et 18 mars 1983.

Étaient présents : Mr A. E. BAILEY, Président, MM. C. M. ALLRED (NBS, Boulder), H. BAYER (PTB), XI DEXIONG (NIM), A. F. DUNN (NRC), L. ÉRARD (LCIE), I. K. HARVEY (CSIRO), O. C. JONES (NPL), R. KAARLS (VSL), T. NEMOTO (ETL), G. RIETTO (IEN), F. L. WARNER (RSRE), R. W. YELL (NPL).

Le directeur du BIPM, P. GIACOMO.

Assistaient aussi à la réunion : MM. J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM; T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM; G. LECLERC et T. WITT (BIPM).

Excusés : les représentants de l'ASMW et de l'IMM.

Absent : le représentant de l'IRT.

Le président et le directeur du BIPM souhaitent la bienvenue aux participants, puis l'ordre du jour distribué en séance est adopté.

Mr ÉRARD est nommé rapporteur.

### **1. Comparaisons internationales terminées depuis la dernière session du Groupe de travail (juillet 1978)**

Huit comparaisons sont terminées : elles sont détaillées dans le tableau I.

### **2. Comparaisons en cours d'achèvement**

Le point sur ces comparaisons est donné dans le tableau II.

### **3. État d'avancement des comparaisons en cours**

Le résumé de l'état d'avancement des comparaisons organisées en 1972, 1975 et 1978 est donné dans le tableau III.

### **4. Nouvelles comparaisons**

De nouvelles comparaisons approuvées par le Groupe de travail sont indiquées dans le tableau IV; la liste des participants à chaque comparaison n'étant ni limitative ni close, tous les laboratoires intéressés sont invités à y prendre part.

## **5. Sujets éventuels de comparaisons futures**

Le tableau V énumère quelques-uns des sujets de comparaisons possibles dans l'avenir. Si quelques laboratoires sont dès à présent intéressés par certains de ces sujets et organisent des comparaisons non officielles, le Groupe de travail souhaite recevoir les rapports finaux auxquels ces comparaisons donneront lieu.

## **6. Activités du Groupe de travail**

### **6.1. Comparaisons dans le domaine des ultrasons**

Le Groupe de travail est toujours d'accord pour s'intéresser aux comparaisons de mesures ultrasoniques tant qu'il n'apparaîtra pas nécessaire de créer un groupe de travail distinct.

### **6.2. Comparaisons des puissances et énergies laser**

Le Groupe de travail continuera à s'occuper des comparaisons des puissances et énergies laser dans la mesure où cette activité n'interférera pas avec celles d'autres Comités Consultatifs. Il informera le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie des résultats de ces comparaisons.

### **6.3. Mesures relatives aux impulsions**

Le Groupe de travail souhaite continuer à s'intéresser à ces mesures.

### **6.4. Organisation des comparaisons. Publication des résultats**

Le Groupe de travail a discuté des principes généraux selon lesquels devront être définies, organisées et conduites les futures comparaisons. Il précise également les règles de publication des résultats. Les conclusions de ces discussions sont contenues dans l'Annexe jointe à ce rapport.

## **7. Questions diverses**

### **7.1. Liaison avec d'autres organismes**

Mr BAYER transmet au Groupe de travail l'information suivante du Président de la Commission A de l'URSI :

« A l'occasion de la XXI<sup>e</sup> Assemblée Générale de l'URSI, il a été proposé de publier un numéro spécial des Proceedings de l'IEEE faisant le point sur les méthodes employées dans les mesures électriques de précision, aussi bien en courant continu que dans le domaine des fréquences submillimétriques et des lasers. »

Le Groupe de travail est favorable à cette proposition; une telle publication constituera en effet un livre de référence scientifique utile à tous les spécialistes.

Le Groupe de travail pense qu'il serait utile qu'une liaison régulière existe entre le BIPM et le Groupe de travail radiofréquences, d'une part et le Bureau communautaire de références (BCR) de la Communauté économique européenne, d'autre part; il serait par exemple souhaitable que le BIPM reçoive les rapports des réunions du groupe d'experts du BCR chargé des mesures électriques et magnétiques.

## 7.2. Travaux futurs

Chaque participant a exposé les orientations générales des travaux futurs qui seront effectués dans son laboratoire.

## 7.3. Date de la prochaine réunion

Le Groupe de travail souhaite tenir sa prochaine réunion en mai 1986.

18 mars 1983

Le Rapporteur

L. ÉRARD

Le Président

A. E. BAILEY

TABLEAU I

*Comparaisons terminées depuis la dernière session du Groupe de travail  
(juillet 1978)*

- 72-2 Affaiblissement à la fréquence de 7,0 GHz en coaxial.  
(Laboratoire pilote : NPL; participants : IEN, NBS, PTB). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-15.
- 72-5 Puissance sur guide d'ondes à la fréquence de 35 GHz.  
(Laboratoire pilote : NRC; participants : ETL, NBS, RSRE). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-1 et publiés dans *Metrologia*, 17, 1981, pp. 27-31.
- 72-7 Champ électrique à la fréquence de 100 MHz.  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : IEN, FTZ, UTW). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-11 et publiés dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-32, 1983, pp. 235-237.
- 72-11 Puissance surfacique à la fréquence de 2,45 GHz.  
(Laboratoire pilote : CSIRO; participants : BRH, RIND, IEN, NBS, NPL). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-2.
- 72-13b Puissance laser à ondes entretenues (b), laser Ar<sup>+</sup> de longueurs d'onde 488 et 515 nm.  
(Laboratoire pilote : ETL; participants : NBS, PTB). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-3.
- 75-A9 Affaiblissement à 35 GHz.  
(Laboratoire pilote : RSRE; participants : NRC, NBS). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-4. La valeur de cette comparaison a été réduite à cause des imperfections présentées par les étalons voyageurs.
- 75-A12 Coefficient de réflexion à 10 GHz (en module).  
(Laboratoire pilote : RSRE; participants : ETL, IEN, NBS, CSIRO, NRC). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-8.
- 78-15 Puissance d'un faisceau ultrasonique (2 et 5 MHz).  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : UI, RPB, NRC, BRH, PTB, NPL). Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/83-12 et publiés dans la revue *NBS Journal of Research*, 88, No. 2 (Mars-avril 1983), pp. 91-103.

TABLEAU II

*Comparaisons en cours d'achèvement*

- 72-1 Déphasage sur guide d'ondes R 100, aux fréquences 9,0, 10,0 et 11,2 GHz.  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : ETL, IEN, CSIRO, RSRE). Tous les laboratoires ont terminé leurs mesures. La comparaison est

actuellement terminée à cause de la diminution des crédits alloués au NBS, lequel est en train de préparer le rapport final (document GT-RF/83-9).

- 72-6 Puissance sur coaxial, à la fréquence de 6 GHz.  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : CSIRO, NPL, LCIE, IEN, RIND, NRC, PTB, OMH).  
Huit laboratoires ont terminé leurs mesures; l'OMH devrait terminer les siennes prochainement. Le NBS préparera ensuite le rapport final (document GT-RF/83-10).
- 75-A1 Puissance à 15,0 GHz : efficacité de montures bolométriques sur guide d'ondes.  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : LCIE, NBS, NRC, RSRE. L'IEN s'est retiré de cette comparaison).  
Tous les laboratoires ont terminé leurs mesures. La PTB est en train de préparer le rapport final. Un changement de la valeur des étalons voyageurs semble avoir été provoqué au RSRE par l'utilisation d'un joint de cuivre malléable pour raccorder les brides du guide d'ondes (document GT-RF/83-14).
- 75-A3 Affaiblissement à 15,0 GHz sur guide d'ondes.  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : IEN, NBS, RSRE, OMH).  
Les mesures sont presque toutes terminées. La PTB préparera le rapport final (document GT-RF/83-14).
- 75-A5 Tension sur ligne coaxiale 50  $\Omega$ ; 1 V; 100, 250, 500 et 1 000 MHz.  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : NBS, CSIRO, EQD, ASMW, IMM, OMH. Le LCIE s'est retiré de cette comparaison).  
Tous les laboratoires ont terminé leurs mesures. La PTB est en train de préparer le rapport final (document GT-RF/83-14).

### TABLEAU III

#### *Comparaisons en cours*

##### a. Comparaisons abandonnées

- 72-4 Puissance sur guide d'ondes R620 ou R740 à 65 GHz.  
(Laboratoire pilote : NPL; participant : NBS).  
(document GT-RF/83-17).
- 72-8 Gain d'un cornet à la fréquence de 10 GHz.  
(Laboratoire pilote : IRT; participants : NBS, IEN, NRC).
- 75-A10 Affaiblissement à 70 GHz.  
(Laboratoire pilote : NPL; participant : NBS).  
(document GT-RF/83-17).
- 75-A13 Amplitude spectrale d'impulsions.  
(Laboratoire pilote : NBS; participant : IEN).

- 75-B1 Puissance à 30 MHz; facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif — monture bolométrique.  
(Participants possibles : NBS, PTB, CSIRO).
- 75-B2 Puissance à 7 GHz; facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif — monture bolométrique.  
(Participants possibles : NBS, PTB, CSIRO, RSRE).
- 75-C2 Temps de retard d'impulsions sur ligne coaxiale 50 Ω.  
(Laboratoire pilote : NBS; participant : IEN).
- 78-3 Amplitude du coefficient de réflexion sur guide d'ondes R100 à 10 GHz;  $0,2 < |\Gamma| < 0,8$ .  
(Laboratoire pilote : CSIRO; participant : PTB).
- 78-4 Puissance de bruit sur guide d'ondes R84.  
(Laboratoire pilote : NBS)  
(document GT-RF/83-9).
- 78-6 Diagramme d'antenne à 10 GHz.  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : IEN, NRC).  
(document GT-RF/83-9).

b. Comparaisons maintenues

- 75-A4 Coefficient de réflexion à 500 MHz, 3 et 7 GHz sur coaxial 50 Ω.  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : VSL, OMH, SNIIM, NBS, NRC, CSIRO, ETL, RSRE).  
La comparaison doit débiter prochainement (document GT-RF/83-14).
- 75-A6 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω, 100 V à 30 MHz.  
(Laboratoire pilote : PTB; participant : NBS).  
La comparaison doit débiter à la fin de 1983. La participation d'autres laboratoires est souhaitée (document GT-RF/83-14).
- 75-A7 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω, 1 mV à 30 MHz.  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : NBS, CSIRO, OMH, ASMW, VSL, NIM).  
La comparaison a été retardée à la demande de certains laboratoires; elle débitera prochainement (document GT-RF/83-14).
- 75-A8 Puissance de bruit à 30 MHz.  
(Laboratoire pilote : CSIRO; participants : NBS, RSRE).  
La comparaison a été retardée à la suite de problèmes d'équipement de mesure dans un laboratoire participant; elle va se poursuivre normalement (document GT-RF/83-5).
- 75-A11 Puissance sur ligne coaxiale entre 12 et 18 GHz : efficacité de montures bolométriques équipées de connecteurs APC-7.  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : IEN, LCIE, NBS, CSIRO \*, NRC, VSL \*).

---

\* Sous réserve de confirmation.



La PTB fournira deux étalons de transfert. Les fréquences proposées sont 12 et 14 GHz, en option 17 GHz. La comparaison devrait débuter en 1984 (document GT-RF/83-9).

- 75-A14 Affaiblissement à 300 MHz sur ligne coaxiale 75  $\Omega$  (connecteur GR 900).  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : VSL, NPL, NRC \*).  
La comparaison a été retardée par la réalisation plus longue que prévue des étalons de transfert, elle ne débutera pas avant 1984.
- 75-B3 Coefficient de réflexion à 1 GHz sur ligne coaxiale 75  $\Omega$ .  
(Laboratoire pilote : NRC; participants : PTB, LCIE, VSL, NPL \*, CSIRO \*).  
Le NRC a proposé aux participants trois étalons de transfert à mesurer à trois fréquences (connecteur GR 900).  
La comparaison débutera en 1984 (document GT-RF/83-6).
- 75-C3 Temps de montée d'impulsions sur ligne coaxiale 50  $\Omega$ .  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : ETL, NPL).  
Le NBS contactera les laboratoires participants afin de mettre au point un programme commun.
- 78-1 Affaiblissement (100 dB) à 30 MHz sur ligne coaxiale 50  $\Omega$ .  
(Laboratoire pilote : PTB; participants : NPL, VSL, LCIE, IEN, FFV, PKN, OMH, VNIIFTRI, CSIRO, NBS, NIM).  
Cette comparaison est organisée sous l'égide du Bureau Communautaire des Références (CEE) et du BIPM. Elle progresse rapidement et fera l'objet d'un rapport intermédiaire lorsque les laboratoires de la CEE auront terminé leurs mesures (document GT-RF/83-14).
- 78-2 Puissance (10 mW) à 500 MHz sur ligne coaxiale 75  $\Omega$  (connecteur GR 900).  
(Laboratoire pilote : NRC; participants : PTB, LCIE, VSL).  
Après accord des participants, la comparaison débutera en 1985 (document GT-RF/83-6).
- 78-5 Gain d'un cornet et taux de polarisation transversale entre 4 et 60 GHz (fréquence préférentielle 10 GHz).  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : IEN, NPL, CSIRO, NRC, ETL, VSL, FTZ, TUD).  
La comparaison a débuté récemment.
- 78-7 Puissance laser à ondes entretenues (10,6  $\mu\text{m}$ ).  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : PTB, NPL, ETL \*, NRC \*).  
Niveau de puissance à confirmer. La comparaison débutera à la fin de 1983 (document GT-RF/83-13 et GT-RF/83-9).
- 78-8 Puissance de crête laser (10,6  $\mu\text{m}$ ).  
(Participants : NPL, NBS, NRC \*).  
Le NBS et le NPL étudieront ensemble la meilleure manière d'organiser la comparaison (étalon de transfert, laboratoire pilote,...). L'ETL désire

---

\* Sous réserve de confirmation.

être tenu au courant des résultats de la comparaison (document GT-RF/83-9).

- 78-9 Énergie laser (1,06  $\mu\text{m}$ ).  
(Laboratoire pilote : NBS; participants : NPL, PTB, ETL \*).  
Le NBS contactera les différents participants afin d'organiser au mieux la comparaison. La PTB précise qu'elle ne peut pas effectuer de mesures pour des valeurs supérieures à 1 J (document GT-RF/83-9).
- 78-10 Puissance surfacique à 10 GHz.  
(Laboratoire pilote : NPL; participants : LCIE, CSIRO \*, NBS \*, VSL \*, IEN \*).  
En suspens. Étalons de transfert à déterminer (document GT-RF/83-17).
- 78-11 Impédance sur ligne coaxiale à 100 MHz (connecteur GR 900).  
(Laboratoire pilote : RSRE; participants : PTB, NBS, CSIRO, VSL).  
Les mesures restent à faire par le dernier laboratoire (VSL) (document GT-RF/83-7).
- 78-12 Coefficient de surtension à 10 GHz ( $1\ 000 < Q < 10\ 000$ ).  
(Laboratoire pilote : RSRE; participants : CSIRO, NPL, IEN \*).  
Le CSIRO ne désire plus être laboratoire pilote. Le RSRE envisage de prendre l'initiative de cette comparaison et d'être le laboratoire pilote (document GT-RF/83-5).
- 78-13 Puissance de bruit sur guide d'ondes R 100.  
(Laboratoire pilote : RSRE; participants : LCIE, CSIRO, PTB, NIM, NBS \*, ETL \*).  
La comparaison doit débuter en 1983 (document GT-RF/83-7).
- 78-14 Puissance (1 mW) à 50 MHz sur ligne coaxiale 50  $\Omega$ .  
(Laboratoire pilote : NRC; participants : PTB, NPL, NBS, LCIE, ETL, CSIRO, IEN, VSL, FFV, OMH).  
Cinq laboratoires ont terminé leurs mesures. La comparaison suit son cours (document GT-RF/83-6).

#### TABLEAU IV

##### *Comparaisons projetées*

- 83-1 Impédance sur une ligne coaxiale 50  $\Omega$  à 1 MHz et 50 MHz (connecteur GR 900).  
(Laboratoire pilote : VSL; participants : PTB, NBS, NPL, CSIRO \*, EQD \*).  
Il est prévu que cette comparaison commence en 1984 et se termine en 1986.
- 83-2 Champ électrique en ultra-haute fréquence (fréquence préférentielle : 750 MHz, niveau voisin de 10 V/m).  
(Laboratoire pilote : NPL; participants : VSL, NBS \*, CSIRO \*, IEN \*).

---

\* \* Sous réserve de confirmation.

La comparaison pourra commencer dès que les étalons de transfert auront été choisis et les participants auront confirmé leur intérêt.

- 83-3 Puissance à 94 GHz.  
(Laboratoire pilote : ETL; participants : NBS, RSRE).  
Cette comparaison pourra commencer dès que les participants auront déterminé les étalons de transfert et la manière de l'organiser.
- 83-4 Mesure des coefficients de dispersion (« S parameters ») avec des systèmes « large bande » dans la bande 2-18 GHz.  
(Laboratoire pilote : RSRE; participants : NBS, CSIRO, PTB, VSL).  
Les laboratoires suivants (NBS, CSIRO et RSRE) emploieront un système coaxial utilisant le principe du « 6 portes » (bande 2-18 GHz).  
La PTB utilisera le même principe sur guide d'ondes dans la bande 8,2-12,4 GHz. Le VSL utilisera un analyseur automatique de réseaux de sa propre confection (bande 2-18 GHz).

#### TABLEAU V

##### *Sujets éventuels de comparaisons futures*

a. Coefficient de réflexion à 35 GHz

L'ETL et le NRC organiseront éventuellement une comparaison informelle; le NIM et le RSRE y participeront peut-être.

b. Affaiblissement à 94 GHz

Le NBS et le RSRE participeront à une comparaison informelle.

c. Gain d'un cornet dans les bandes millimétriques

Les laboratoires suivants : NBS, NPL et NRC semblent intéressés. Le NPL prendra l'initiative d'établir les contacts nécessaires afin d'organiser éventuellement une comparaison informelle.

d. Transmission par fibre optique

Les membres du Groupe de travail marquent un intérêt certain pour ce nouveau domaine et se préoccupent des éventuelles comparaisons qui pourraient être organisées, sous réserve que soient bien définies les grandeurs électriques correspondantes.

---

\* Sous réserve de confirmation.

### Identification des laboratoires

ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. Dém. Allemande).
BRH	Bureau of Radiological Health (États-Unis d'Amérique).
CSIRO	(ancien NML), CSIRO Division of Applied Physics, Lindfield (Australie).
EQD	Electrical Quality Assurance Directorate, Bromley (Royaume-Uni).
ETL	Electrotechnical Laboratory, Ibaraki (Japon).
FFV	Maintenance Division, National Industries Corporation, Arboga (Suède).
FTZ	Fernmelde Technische Zentral Amt, Darmstadt (Rép. Féd. d'Allemagne).
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie).
IMM	Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad (U.R.S.S.).
IRT	Institut de Recherches des Télécommunications, Budapest (Hongrie).
LCIE	Laboratoire Central des Industries Électriques, Fontenay-aux-Roses (France).
NBS	National Bureau of Standards, Washington (États-Unis d'Amérique).
NIM	Institut National de Métrologie, Beijing (Rép. Pop. de Chine).
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni).
NRC	Conseil National de Recherches, Ottawa (Canada).
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie).
PKN	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jacości, Varsovie (Pologne).
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Rép. Féd. d'Allemagne).
RIND	Institut de Recherches de la Défense, Stockholm (Suède).
RPB	Radiation Protection Bureau (Canada).
RSRE	(ancien RRE), Royal Signals and Radar Establishment, Malvern (Royaume-Uni).
SNIIM	Institut de Recherche Scientifique Sibérien en Métrologie, Moscou (U.R.S.S.).
TUD	Technical University of Denmark, Lyngby (Danemark).
UI	Ultrasonics Institute (Australie).
UTW	Université Technique de Wrocław (Pologne).
VNIIFTRI	Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou (U.R.S.S.).
VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas).

## Directives concernant le déroulement des comparaisons internationales

Le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences,

*constate*

— que les comparaisons proposées étaient trop nombreuses pour pouvoir être toutes terminées, compte tenu des moyens disponibles,

— qu'un bon nombre des comparaisons projetées ne sont pas encore terminées,

— que certaines de ces comparaisons ont perdu une partie de leur intérêt pour les participants,

— que certaines des comparaisons mentionnées ont suscité l'intérêt d'un seul participant,

— que la multiplicité des étalons voyageurs, des domaines de fréquence et des grandeurs à mesurer rend les comparaisons plus coûteuses et plus laborieuses,

— qu'une durée totale de circulation de cinq ans, ou même davantage, fait perdre une partie de son intérêt à toute comparaison,

— que les étalons voyageurs ne devraient pas être conservés dans les laboratoires plus longtemps qu'il n'est nécessaire pour les mesures,

et que les résultats des comparaisons intéressent tous les physiciens et ingénieurs des services métrologiques, dans les organismes officiels aussi bien que dans les industries, dans tous les pays.

En conséquence, le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences se fixe les règles suivantes :

— L'objectif principal pour les prochaines années doit être de terminer toutes les comparaisons en cours;

— la liste des comparaisons en cours doit être révisée à chaque réunion et les comparaisons qui n'ont plus d'intérêt pour la majorité des participants doivent être annulées;

— les comparaisons qui n'intéressent qu'un laboratoire doivent être annulées;

— les comparaisons nouvelles ne doivent être envisagées qu'en nombre limité;

— le nombre d'étalons voyageurs, de fréquences et de domaines de mesure doit être aussi petit que possible, compte tenu du but recherché;

— le laboratoire pilote doit recommander un calendrier pour l'exécution des mesures dans chaque laboratoire, et chaque laboratoire doit s'efforcer de s'y conformer; en particulier, une durée maximale de séjour des étalons voyageurs dans chaque laboratoire doit être fixée;

— chaque participant doit transmettre sans délai l'étalon voyageur au laboratoire suivant si des circonstances imprévues l'empêchent d'effectuer les mesures dans les délais prévus; il pourra éventuellement reprendre les mesures plus tard;

— durant toute la comparaison, chaque participant doit confirmer au laboratoire pilote et au BIPM l'arrivée et le départ des étalons voyageurs, il doit aussi les informer de tout incident ou de tout retard susceptible de perturber le déroulement de la comparaison. Le laboratoire pilote et le BIPM en informeront tous les autres participants, pour qu'ils puissent, si nécessaire, adapter leur programme de travail;

— en plus du rapport détaillé qu'il présente au Groupe de travail le laboratoire pilote doit faire tout son possible pour publier un compte rendu final de la comparaison dans un journal scientifique de large diffusion et de bonne renommée (par exemple dans *Metrologia*); le BIPM devra être informé de cette publication et une copie du manuscrit devra lui être envoyée aussi vite que possible. Chaque année le BIPM inclura dans les « News from the BIPM » de *Metrologia*, les références bibliographiques concernant toutes les publications qui lui auront été communiquées.

*Note* : Le BIPM publie un compte rendu final « abrégé », en français, imprimé en annexe du Comité Consultatif d'Électricité. Ce compte rendu abrégé peut correspondre à l'article publié par ailleurs; en particulier il n'est pas souhaitable d'y inclure des tables numériques étendues.

Le BIPM peut aussi publier comme « Monographie BIPM » le compte rendu détaillé fourni par le laboratoire pilote. Ce compte rendu détaillé peut être analogue au document de travail présenté au Groupe de travail; il peut, par exemple, contenir le détail des tables numériques. Dans ce cas, le laboratoire pilote doit fournir au BIPM le document original, mis en forme pour être directement photographié et diffusé. La monographie est signée par son auteur.

---

ANNEXE E 1

---

**Documents de travail  
présentés à 16<sup>e</sup> session du CCE**

---

Ces documents de travail, qu'ils soient ou non publiés dans ce volume, peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM.

Document  
CCE/

- 83-1 INM (Roumanie). — A method for calibration of inductance standards in terms of capacitance and resistance, by A. Millea, E. Popa, I. Buzdughina and L. Radoi, 5 pages.
- 83-2 LCIE (France). — Détermination absolue du volt et du coefficient  $2e/h$  au LCIE, par N. Elnékvé et A. Fau, 4 pages.
- 83-3 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Proposal for topic 7 of the agenda : Proposal for a statement E, 1 page.
- 83-4 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Proposal for topic 8 of the agenda : Calculation of uncertainties in the field of electrical measurements, 7 pages.
- 83-5 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Calculable cross capacitor for a direct determination of the unit of capacitance farad, by H. Bachmair, K. Fleischhauer and S. Schmidt, 2 pages.
- 83-6 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Determination of the unit of resistance ohm based on a calculable cross capacitor, by H. Bachmair, H. Fleischer, V. Graetsch, R. Hanke and H. Leontiew, 3 pages.
- 83-7 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Application of the quantum Hall effect for the reproduction of the ohm, 5 pages.
- 83-8 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Determination of the unit of resistance ohm based on the quantum Hall effect and the fine structure constant, by L. Blick, E. Braun, H.-J. Engelmann, H. Leontiew, F. Melchert, B. Stahl and P. Warnecke, 6 pages.
- 83-9 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — The  $\gamma_p$  experiment at the PTB, by K. Weyand, 2 pages.

Document  
CCE/

- 83-10 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — The PTB multijunction thermal converter, by M. Klonz, 4 pages.
- 83-11 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Realization of calibration points of the high-voltage scale by means of an electron speed filtering system, by D. Kind, W. Lucas and K. Schon, 2 pages.
- 83-12 ASMW (Rép. Dém. Allemande). — Progrès dans la représentation, la conservation et le transfert des unités électriques et magnétiques à l'Office pour la Normalisation, la Métrologie et le Contrôle (ASMW), par H. Eckhardt, J. Forkert, B. Heinze, E. Johannsen, D. John, W. Schlesok et G. Schliestedt, 9 pages.
- 83-13 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Proposal for realizing the ampere via combined two NMR experiments, by K. Weyand, 3 pages.
- 83-14 BIPM. — New Equipment and Procedures for the Maintenance and Comparison of Standards of Electromotive Force at the BIPM, by T. J. Witt and D. Reymann, 21 pages.
- 83-15 ETL (Japon). — Measurement of Annual Change of Cd-Pb Standard Cells by Josephson Voltage Standard and their Applications to High Precision Voltage Standard Maintenance, by K. Shida and T. Igarashi, 8 pages.
- 83-16 ETL (Japon). — Proposal on an Integration Method for Realization of the SI Ampere, by T. Yamazaki and M. Kobayashi, 2 pages.
- 83-17 ETL (Japon). — A High Accuracy Josephson Potentiometer, by T. Endo, M. Koyanagi and A. Nakamura. Publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-32, N° 1, 1983, pp. 267-271.
- 83-18 ETL (Japon). — The  $\gamma'_p$  (low) Experiment at the ETL, by H. Nakamura, N. Kasai and H. Sasaki, 2 pages.
- 83-19 ETL and Gakushuin University (Japon). — Determination of  $h/4e^2$  — A Preliminary Measurement Based on the Quantized Hall Effect of Si-MOSFETs, by J. Konoshita, K. Inagaki, C. Yamanouchi, K. Yoshihiro, J. Moriyama and S. Kawaji, 5 pages.
- 83-20 ETL and Gakushuin University (Japon). — Quantized Hall Resistivity in Si-MOSFETs Measured at Liq.  $^3\text{He}$  Temperatures, by K. Yoshihiro, J. Kinoshita, K. Inagaki, C. Yamanouchi, J. Moriyama and S. Kawaji. Publié dans *J. Phys. Soc. Jpn.*, 51, 1982, pp. 5-6.
- 83-21 ETL and Gakushuin University (Japon). — High Precision Measurements of the Hall Effect for Silicon MOS Inversion Layers in Strong Magnetic Fields, by K. Yoshihiro, J. Kinoshita, K. Inagaki, C. Yamanouchi, J. Moriyama and S. Kawaji. Publié dans *Surf. Sci.*, 113, 1982, pp. 16-21.
- 83-22 ETL (Japon). — Actual State of Study for Quantized Hall Resistance Standard in ETL, by K. Shida, T. Wada and T. Igarashi, 10 pages.



Document  
CCE/

- 83-23 VSL (Pays-Bas). — Summary of Recent Work on Electrical Standards at VSL, by R. Kaarls, C. Harmans, P. de Waard, C. Koymans, J. Schmit, 4 pages.
- 83-24 VSL (Pays-Bas). — A High Precision Automated Measurement System for AC-DC-Transfer Using Thermal Converters, by C. Harmans, J. J. Schmit and R. Kaarls, 5 pages.
- 83-25 BIPM. — Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF, par G. Leclerc, 4 pages.
- 83-26 BIPM. — Activités de la Section d'Électricité du BIPM, 1983, par T. Witt, 5 pages.
- 83-27 IMM (U.R.S.S.). — Remarques sur la proposition de modification de la valeur de  $2e/h$ , 4 pages.
- 83-28 VSL (Pays-Bas). — Interim Report on the International Comparison of AC-DC Thermal Converters, by R. Kaarls, 5 pages.
- 83-29 VSL (Pays-Bas). — Summary of Recent Work on High Frequency Electrical Standards at VSL, by R. Kaarls, C. Harmans and H. Grit, 2 pages.
- 83-30 NBS (États-Unis d'Amérique). — Report on the Present Status of the NBS Absolute Ampere Experiment, 4 pages.
- 83-31 NBS (États-Unis d'Amérique). — Report on the Present Status of the NBS Low Field  $\gamma'_p$  Experiment, 5 pages.
- 83-32 NBS (États-Unis d'Amérique). — Progress Report on Investigations of the Quantum Hall Effect as a Possible Resistance Standard, 11 pages.
- 83-33 BIPM. — Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (voir pp. E 11).
- 83-34 IEN (Italie). — The reproduction of the unit of voltage at IEN in recent years, by D. Andreone, E. Arri, V. Lacquaniti and G. Marullo, 7 pages.
- 83-35 IEN (Italie). — Intercomparison measurements of thermal ac-dc transfer standards — Report on the measurements at IEN « Galileo Ferraris » (Italy), by F. Cabiati, U. Pogliano, G. C. Bosco and G. Zago, 10 pages.
- 83-36 NIM (Rép. Pop. de Chine). — A thermal ac-dc voltage comparator based on the application of inductive voltage divider, by De-Shi Zhang, 4 pages.
- 83-37 BIPM. — Extrait du document « Programme de travail et budget du BIPM dans les quatre années 1985-1988 » présenté à la 17<sup>e</sup> CGPM (octobre 1983).
- 83-38 BIPM. — Étude et réalisation d'enceintes thermorégulées pour la conservation des piles étalons, par D. Reymann, 9 pages.

**Groupe de travail  
pour les grandeurs aux radiofréquences**

Document  
GT-RF/

- 83-1 NRC (Canada). — An International Intercomparison of Power Standards in WR-28 Waveguide, by R. F. Clark, E. J. Griffin, T. Inoue and M. P. Weidman. (Final Report of Comparison 72-5). Publié dans *Metrologia*, 17, 1981, pp. 27-31.
- 83-2 CSIRO (Australie). — Final Report on the International Intercomparison of Power Density at 2.45 GHz, by J. D. Hunter. (Comparison 72-11), 4 pages.
- 83-3 ETL (Japon). — Report on International Intercomparison of Ar-ion Laser Power Measurements at the Wavelengths of 488 nm and 515 nm, by M. Endo and T. Honda. (Final Report of Comparison 72-13b), 6 pages.
- 83-4 RSRE (Royaume-Uni). — Final Report on an International Intercomparison of Attenuation at 35 GHz, by F. L. Warner. (Comparison 75-A9), 8 pages.
- 83-5 CSIRO (Australie). — A status Report, by P. Somlo, 1 page.
- 83-6 NRC (Canada). — Report to the Sixth Session of the Radiofrequency Working Group, by R. F. Clark and A. Jurkus, 1 page.
- 83-7 RSRE (Royaume-Uni). — Progress Reports to BIPM on the International Intercomparisons in which RSRE is involved, 4 pages.
- 83-8 RSRE (Royaume-Uni). — An International Intercomparison of Reflection Coefficient Magnitudes at 10 GHz, by F. L. Warner (Final Report of Comparison 75-A12), 28 pages.
- 83-9 NBS (États-Unis d'Amérique). — Interim Report on NBS Pilot Laboratory Activities, 4 pages.
- 83-10 NBS (États-Unis d'Amérique). — Représentation graphique des résultats déjà obtenus dans la comparaison 72-6 (Puissance en coaxial, à la fréquence de 6 GHz), 1 page.
- 83-11 NBS (États-Unis d'Amérique). — International Intercomparison of Electric Field Strength at 100 MHz, by C. F. Stubenrauch, P. G. Galliano and T. M. Babij (Final Report of Comparison 72-7), 10 pages.
- 83-12 NBS (États-Unis d'Amérique). — Ultrasonic Continuous-Wave Beam Power Measurements; International Intercomparisons, by C. E. Tschiegg, M. Greenspan and D. G. Eitzen. (Comparison 78-15), 26 pages.
- 83-13 NBS (États-Unis d'Amérique). — Nouvelles comparaisons proposées, 4 pages.
- 83-14 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Present State of International Intercomparisons (Pilot Laboratory : PTB) and Remarks on Future Activities, by H. Bayer, 8 pages.

Document  
GT-RF/

- 83-15 NPL (Royaume-Uni). — Report on International Intercomparison of Attenuation in Coaxial Line at 7 GHz, by R. W. Yell. (Final Report of Comparison 72-2), 7 pages.
- 83-16 VSL (Pays-Bas). — Summary of Recent Work on High Frequency Electrical Standards at VSL, by R. Kaarls, C. Harmans and H. Grit, 2 pages.
- 83-17 NPL (Royaume-Uni). — Progress in Radio-frequency and Microwave Intercomparisons, by R. W. Yell, 1 page.
- 83-18 RSRE (Royaume-Uni). — International Comparison of Noise Power at 4.1 GHz and 77 K, by M. W. Sinclair, 4 pages.
- 83-19 RSRE (Royaume-Uni). — International Comparison of Noise Power at 4.1 GHz and 77 K, by M. W. Sinclair and Y. Kato. Reproduit dans *CPEM Digest*, 1980, pp. 473-477.
-

ANNEXE E 2 \*

**Comparaison internationale circulaire  
des étalons de capacité en silice de 10 pF**

par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

Conformément au désir exprimé en septembre 1978 par la plupart des membres du Comité Consultatif d'Électricité (CCE), une troisième comparaison internationale circulaire des étalons de capacité de 10 pF à diélectrique de silice (1) a été organisée. Quatre circuits de comparaisons ont été prévus :

- Circuit N° 1 : NBS → NPL → PTB → NBS
- Circuit N° 2 : NBS → NIM → VSL → NPRL → NBS
- Circuit N° 3 : NBS → NRC → LCIE → IEN → NBS
- Circuit N° 4 : NBS → ASMW → PTB → NPL → NBS.

Les trois premiers circuits sont terminés et leurs résultats donnés dans les tableaux I, II et III.

Le quatrième circuit est en cours.

Entre le 1<sup>er</sup> décembre 1978 et le 1<sup>er</sup> mars 1983 la dérive moyenne des étalons voyageurs a été la suivante :

- N° 156775 (108) : + 0,044 9 × 10<sup>-6</sup>/an ( $s = 0,004\ 9 \times 10^{-6}/\text{an}$ )
- N° 159852 (119) : + 0,004 2 × 10<sup>-6</sup>/an ( $s = 0,010\ 7 \times 10^{-6}/\text{an}$ )
- N° 159853 (120) : + 0,085 1 × 10<sup>-6</sup>/an ( $s = 0,005\ 4 \times 10^{-6}/\text{an}$ ).

Ces dérives sont du même ordre de grandeur que celles des meilleurs étalons de résistance (celle du condensateur N° 159852 (119) n'est d'ailleurs pas significative).

---

\* Document CCE/83-25.

(1) Rappelons qu'il s'agit de 3 condensateurs du NBS faisant partie du groupe de ceux décrits par R. D. Cutkosky et L. H. Lee dans *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **69-C**, N° 3, 1965, p. 173.

TABLEAU I

*Résultats de la troisième comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF*

(1<sup>er</sup> circuit de mesures)

$$C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6}) \text{ pF}$$

Valeur de  $\Delta$  (mesures à 25 °C)

Étalon N°	NBS		NPL (2)		PTB		NBS	
	1 <sup>er</sup> décembre 1978 (100 V ; 1 592 Hz)	1 <sup>er</sup> février 1979	1 <sup>er</sup> février 1979	1 <sup>er</sup> avril 1979	1 <sup>er</sup> mai-15 juin 1979 (75 V ; 1 592 Hz)	1 <sup>er</sup> mai-15 juin 1979 (100 V ; 1 592 Hz)	1 <sup>er</sup> novembre 1979 (100 V ; 1 592 Hz)	
156 775 (108) :	— 14,08 <sub>6</sub> (1)	— 14,07	— 13,99 (3)	— 13,99 (3)	— 13,46 (4)	— 14,02 <sub>2</sub>	— 14,02 <sub>2</sub>	
159 852 (119) :	— 1,21 <sub>9</sub>	— 1,25	— 1,22	— 1,22	— 0,66	— 1,27 <sub>7</sub>	— 1,27 <sub>7</sub>	
159 853 (120) :	— 0,24 <sub>8</sub>	— 0,25	— 0,17	— 0,17	+ 0,40	— 0,20 <sub>0</sub>	— 0,20 <sub>0</sub>	
	— 5,18 <sub>4</sub>	— 5,19	— 5,13	— 5,13	— 4,57	— 5,11 <sub>6</sub>	— 5,11 <sub>6</sub>	

(1) Les nombres reproduits dans cette colonne sont un peu différents de ceux qui figurent dans CCE, 15<sup>e</sup> session, 1978 (Annexe 4, p. E.39, dernière colonne). Ils ont en effet été calculés en tenant compte du résultat de la dernière détermination absolue du farad effectuée au NBS :  $F_{\text{NBS-60}} = F + 1,787 \times 10^{-6}$  alors que les précédents l'avaient été en admettant que  $F_{\text{NBS-60}} = F + 1,778 \times 10^{-6}$ .

(2) Les résultats du NPL reproduits dans le document CCE/83-25 original ont été exprimés, par inadvertance, en fonction de  $F_{\text{NBS-60}}$  (représentation de l'unité de capacité conservée par le NBS).

Comme  $F_{\text{NBS-60}} = F + 1,787 \times 10^{-6}$  ils sont donc plus faibles que ceux qui figurent dans le présent tableau de  $1,79 \times 10^{-6}$ .

(3) Par suite du déréglage d'un thermostat, la température des étalons est descendue à 10 °C pendant 48 h les 3 et 4 février 1979.

(4) Incertitude de la comparaison aux étalons de référence :  $s = 0,04 \times 10^{-6}$ . Incertitude de la représentation de l'unité de capacité conservée par la PTB : « erreur fortuite » :  $\pm 4 \times 10^{-7}$  (P = 95 %) ; résidus des « erreurs systématiques » :  $\pm 6 \times 10^{-7}$ .

TABLEAU II  
*Résultats de la troisième comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF*  
 (2<sup>e</sup> circuit de mesures)  
 $C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6})$  pF  
 Valeur de  $\Delta$  (mesures à 25 °C)

Étalon N°	NBS				NIM		VSL		NPRL		NBS	
	1 <sup>er</sup> avril 1980 (100 V ; 1 592 Hz)		7 et 8 août 1980 (100 V ; 1 592 Hz)		7 et 8 août 1980 (100 V ; 1 592 Hz)		2 octobre 1980 (100 V ; 1 592 Hz)		décembre 1980 (50 V ; 1 000 Hz)		1 <sup>er</sup> avril 1981 (100 V ; 1 592 Hz)	
156 775 (108) :	—	14,00 <sub>0</sub>	—	13,74 (1)	—	14,65 (2)	—	25,7 (3)	—	13,95 <sub>0</sub>	—	—
159 852 (119) :	—	1,28 <sub>4</sub>	—	1,08	—	1,95	—	13,0	—	1,26 <sub>4</sub>	—	—
159 853 (120) :	—	0,16 <sub>3</sub>	—	+ 0,06	—	1,10	—	11,9	—	0,04 <sub>7</sub>	—	—
	—	5,14 <sub>9</sub>	—	— 4,92	—	— 5,90	—	— 16,87	—	— 5,08 <sub>7</sub>	—	—

(1) NIM : reproductibilité des résultats :  $0,04 \times 10^{-6}$  ; incertitude due pour l'essentiel au condensateur à variation de capacité calculable :  $0,35 \times 10^{-6}$  (1 s).

(2) VSL : incertitude de la comparaison aux étalons de référence qui conservent le farad au VSL :  $0,02 \times 10^{-6}$  (1 s).

(3) NPRL : incertitude de la comparaison à l'étalon de référence qui conserve le farad au NPRL :  $0,2 \times 10^{-6}$  (niveau de confiance : 99,7 %).

TABLEAU III

## Résultats de la troisième comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF

(3<sup>e</sup> circuit de mesures)

$$C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6}) \text{ pF}$$

Valeur de  $\Delta$  (mesures à 25 °C)

Étalon N°	NBS	NRC	LCIE	IEN	NBS
	1 <sup>er</sup> avril 1981 (100 V ; 1 592 Hz)	1 <sup>er</sup> septembre 1981 (100 V ; 1 592 Hz)	4 janvier 1982 (5 V ; 1 592 Hz)	14 août 1982 (100 V ; 1 592 Hz)	1 <sup>er</sup> mars 1983 (100 V ; 1 592 Hz)
156 775 (108) :	— 13,95 <sub>0</sub>	— 14,44 <sub>1</sub> (1)	— 13,96 <sub>0</sub> (2)	— 13,91 <sub>1</sub> (3)	— 13,89 <sub>0</sub>
159 852 (119) :	— 1,26 <sub>4</sub>	— 1,81 <sub>0</sub>	— 1,31 <sub>2</sub>	— 1,29 <sub>5</sub>	— 1,22 <sub>2</sub>
159 853 (120) :	— 0,04 <sub>7</sub>	— 0,71 <sub>2</sub>	— 0,21 <sub>8</sub>	— 0,02 <sub>0</sub>	+ 0,09 <sub>8</sub>
	— 5,08 <sub>7</sub>	— 5,65 <sub>4</sub>	— 5,16 <sub>3</sub>	— 5,06 <sub>2</sub>	— 5,00 <sub>5</sub>

(1) NRC : incertitude de la comparaison aux étalons de référence qui conservent le farad au NRC :  $0,013 \times 10^{-6}$  (1 s).(2) LCIE : erreur probable :  $0,3 \times 10^{-6}$ .(3) IEN : écart-type sur la valeur de l'étalon N° 108 :  $0,002 \times 10^{-6}$  ; sur celle de l'étalon N° 119 :  $0,004 \times 10^{-6}$  ; sur celle de l'étalon N° 120 :  $0,003 \times 10^{-6}$ .Valeurs de  $\Delta$  (mesures à 20 °C)

Étalon N°	IEN
	11 août 1982
156 775 (108) :	— 66,23 <sub>0</sub> (1)
159 852 (119) :	— 54,79 <sub>0</sub>
159 853 (120) :	— 50,82 <sub>0</sub>
	— 57,28 <sub>0</sub>

(1) Écart-type sur la valeur de l'étalon N° 108 :  $0,002 \times 10^{-6}$  ; sur celle de l'étalon N° 119 :  $0,017 \times 10^{-6}$  (l'importance de cette incertitude résulte de l'instabilité du condensateur N° 119 à 20 °C, instabilité déjà signalée en 1975) ; écart-type sur la valeur de l'étalon N° 120 :  $0,003 \times 10^{-6}$ .

La qualité des étalons de capacité voyageurs permet de comparer les représentations du farad en usage dans les différents laboratoires nationaux à quelques  $10^{-8}$  près malgré la durée, parfois excessive, de certains circuits de comparaisons.

On peut ainsi constater que même les représentations des laboratoires qui possèdent un condensateur à variation de capacité calculable ne coïncident pas toutes à  $1 \times 10^{-7}$  près. La mise en service prochaine dans plusieurs laboratoires d'une seconde génération d'instruments, construits en tenant compte des enseignements fournis par la première, devrait améliorer cette situation.

Nous avons profité du passage des étalons voyageurs au LCIE pour effectuer, en mars 1982, une première étude des trois étalons General Radio de 10 pF que nous avons acquis en 1981. Si ces étalons se révèlent être de qualité satisfaisante, ils constitueront, avec l'étalon du NBS en dépôt au BIPM depuis 1967, le groupe de référence du Bureau.

Mars 1983  
révisé en septembre 1983

---



ANNEXE E 3 \*

---

**Rapport sur la comparaison internationale  
d'affaiblissement à la fréquence de 7,0 GHz en coaxial**

(Comparaison N° 72-2)

par R. W. YELL

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

---

Lors de sa réunion en octobre 1972, le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences a décidé de procéder à une comparaison d'affaiblissement sur ligne coaxiale, à la fréquence de 7 GHz. Le National Physical Laboratory devait jouer le rôle de laboratoire pilote et les laboratoires suivants devaient prendre part à cette comparaison internationale :

- Institut de Recherches de la Défense, Stockholm, Suède (RIND) ;
- Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin, Italie (IEN) ;
- National Bureau of Standards, Boulder, États-Unis d'Amérique (NBS) ;
- National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni (NPL) ;
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Rép. Féd. d'Allemagne (PTB).

Par la suite le RIND s'est retiré de cette comparaison internationale. En fait, cette nouvelle comparaison internationale faisait suite à une comparaison internationale antérieure d'affaiblissement en coaxial qui a eu lieu en 1971-1972. Compte tenu de l'expérience tirée de cette première comparaison internationale, on a réfléchi et discuté sur le type d'étalon de transfert qu'il convenait d'utiliser pour l'affaiblissement en coaxial. On est parvenu à la conclusion que les affaiblisseurs fixes munis de connecteurs GPC de 14 mm constituaient encore les meilleurs étalons de transfert et que la plupart des problèmes rencontrés lors de la précédente comparaison internationale provenaient des

---

\* Traduction du document GT-RF/83-15.

connecteurs de précision que l'on avait laissé se salir énormément et dans certains cas s'endommager. Pour la présente comparaison internationale, on est convenu des conditions suivantes :

1. Fréquence : la comparaison internationale se ferait à 7 GHz.
2. Valeurs nominales d'affaiblissement : 6 dB ; 10 dB ; 20 dB ; 30 dB ; 60 dB. Pour chaque valeur on ferait circuler deux affaiblisseurs.
3. Étalon de transfert : il serait fourni par le laboratoire pilote et serait muni de connecteurs GPC de 14 mm (GR 900).
4. Circulation : on adopterait une circulation radiale pour la circulation des étalons.
5. Circulation : NPL — PTB — NBS — IEN — NPL.
6. Début de la comparaison : au plus tard été 1976.

### Affaiblisseurs étalons

On a fait circuler deux séries d'affaiblisseurs avec les valeurs nominales d'affaiblissement indiquées plus haut et des taux d'ondes stationnaires inférieurs à 1,05 ( $\Gamma = 0,024$ ). Ils étaient pourvus de connecteurs GPC-14 afin d'assurer la reproductibilité la meilleure de la perte d'insertion. L'adaptation des étalons a été évaluée avec un réflectomètre qui était étalonné par rapport à une charge mobile de précision, le système ayant une résolution de  $\Gamma = 0,001$  (taux d'ondes stationnaires 1,002) et une exactitude de 0,0025 (taux d'ondes stationnaires 1,005); on n'a observé aucune variation significative du taux d'ondes stationnaires pour une variation de fréquence de  $\pm 5$  MHz par rapport à la fréquence nominale. Dans la boîte contenant les étalons de transfert il y avait deux affaiblisseurs de masquage de 10 dB (taux d'ondes stationnaires  $< 1,01$ ); il était spécifié que les mesures devaient être faites entre les affaiblisseurs de masquage. Ces composants et les étalons de transfert portaient un code de couleur sur les connecteurs pour assurer la cohérence de l'ordre des connexions. L'identification des affaiblisseurs était la suivante :

<i>Valeur nominale d'affaiblissement</i>	<i>Type et numéro de série</i>
60 dB	Narda 23305 N° 1
60 dB	Narda 23305 N° 2
30 dB	Narda 23306 N° 1
30 dB	Narda 23306 N° 2
20 dB	Narda 23307 N° 1
20 dB	Narda 23307 N° 2
10 dB	GR 900 G10 N° 560
10 dB	GR 900 G10 N° 551
6 dB	GR 900 G6 N° 417
6 dB	GR 900 G6 N° 376

Les deux affaiblisseurs de 10 dB destinés à être utilisés comme affaiblisseurs de masquage sont du type GR 900-G10, numéros de série 272 et 290.

### Méthode et conditions de mesure

Afin d'avoir pour cette comparaison internationale une cohérence maximale, les participants devaient tous suivre le schéma suivant d'insertion.

Les deux affaiblisseurs de 10 dB (Numéros de série 272 et 290) devaient être utilisés comme affaiblisseurs de masquage encadrant les affaiblisseurs à mesurer. L'affaiblisseur N° 272 comporte un anneau de couplage avec des raies rouges à l'une des extrémités et l'affaiblisseur N° 290 des raies bleues. Ils doivent être connectés correctement aux extrémités « rouge » et « bleue » des affaiblisseurs à mesurer.

Afin d'établir les conditions « avant mesures », les extrémités rouge et bleue des affaiblisseurs de masquage sont connectées ensemble.

Les adaptateurs à APC-7 ou APC-N qui accompagnaient les étalons n'avaient d'autre utilité que de servir à effectuer la connexion des affaiblisseurs de masquage au circuit de mesure.

Au laboratoire pilote, les mesures ont été faites à une température de  $23 \pm 1$  °C, à une fréquence de  $7,0 \pm 0,005$  GHz et avec une puissance d'alimentation n'excédant pas 10 mW. Il était demandé aux laboratoires participants de reproduire ces conditions dans la mesure du possible. Il leur était rappelé qu'en exerçant un effort excessif pour visser ou dévisser les anneaux de serrage sur les affaiblisseurs ils risquaient d'endommager ceux-ci.

Une fois les mesures terminées, les affaiblisseurs devaient être renvoyés au laboratoire pilote dès que possible avec une copie des résultats et une note sur les conditions de mesure.

### Équipements de mesure d'affaiblissement

Sauf à la PTB, les équipements de mesure utilisés dans les laboratoires participants étaient des systèmes parallèles de substitution à fréquence intermédiaire. L'étalon de référence à fréquence intermédiaire était un guide d'ondes fonctionnant en deçà de sa fréquence de coupure. La PTB a utilisé une méthode de rapport de puissances en combinaison avec une substitution directe en haute fréquence. Les incertitudes systématiques indiquées par les laboratoires ont été les suivantes :

PTB approximativement 0,002 dB/10 dB (0,03 dB à 60 dB)

NBS approximativement 0,05 dB/10 dB

IEN 0,02 dB/10 dB  $\pm$  0,01 dB

NPL 0,001 dB/10 dB

### Résultats des mesures d'affaiblissement

Les valeurs déterminées par chaque laboratoire sont données dans le tableau I ainsi que les écarts-types sur ces valeurs et l'erreur systématique de chaque équipement. En prenant les valeurs moyennes

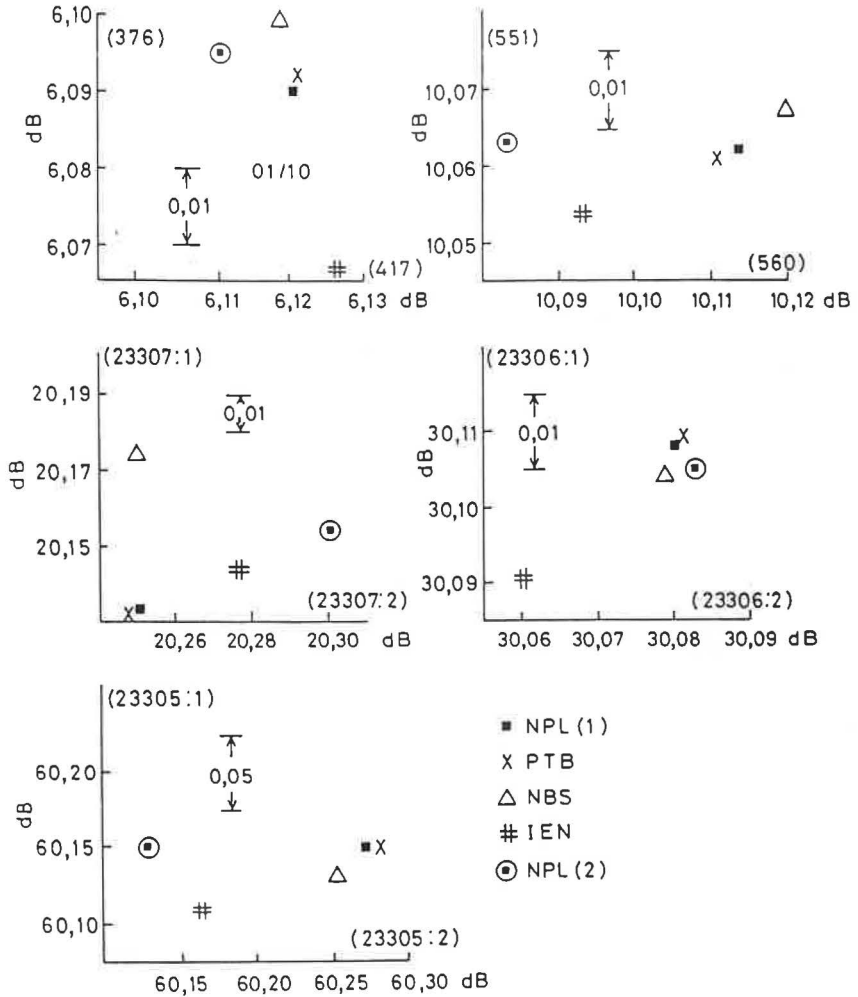


Fig. 1: Comparaison internationale d'affaiblissement à 7 GHz

et en admettant une erreur en plus ou en moins calculée en adoptant une fonction convenable de l'écart-type par rapport à l'erreur systématique, on obtient une série de résultats qui, dans la plupart des

TABLEAU I

*Résultats des mesures des laboratoires participants*

Les valeurs moyennes, les écarts-types et les incertitudes systématiques sont donnés en décibels.

sd : valeur de  $1 \sigma$  (1 écart-type), à multiplier par  $10^{-3}$ .

sv : incertitude systématique liée au système de mesure, à multiplier par  $10^{-3}$ .

## Affaiblisseurs de transfert de 6 dB

	GR N° 376			GR N° 417		
	Moyenne	sd	sv	Moyenne	sd	sv
NPL	6,090	1,4	1	6,121	0,4	1
PTB	6,092	0,9	3	6,121	0,7	3
NBS	6,099	1	50	6,119	2	50
IEN	6,066	1	22	6,121	2	22
NPL	6,095	1,5	1	6,111	1,5	1

## Affaiblisseurs de transfert de 10 dB

	GR N° 551			GR N° 560		
	Moyenne	sd	sv	Moyenne	sd	sv
NPL	10,062	0,8	1	10,114	0,9	1
PTB	10,061	0,9	3	10,111	0,4	2
NBS	10,067	2	50	10,120	1	50
IEN	10,054	1	30	10,093	1	30
NPL	10,063	0,7	1	10,083	1,5	1

## Affaiblisseurs de transfert de 20 dB

	Narda 23307 N° 1			Narda 23307 N° 2		
	Moyenne	sd	sv	Moyenne	sd	sv
NPL	20,133	2	2	20,249	2	2
PTB	20,132	1,3	4	20,248	1,1	4
NBS	20,174	1	110	20,251	1	110
IEN	20,144	1	50	20,276	1	50
NPL	20,154	1,6	2	20,301	1	2

## Affaiblisseurs de transfert de 30 dB

	Narda 23306 N° 1			Narda 23306 N° 2		
	Moyenne	sd	sv	Moyenne	sd	sv
NPL	30,108	2	3	30,080	2	3
PTB	30,109	1,4	3	30,081	2	3
NBS	30,104	2	170	30,079	1	170
IEN	30,09	10	70	30,06	10	70
NPL	30,105	1	3	30,083	1	3

Affaiblisseurs de transfert de 60 dB

	Narda 23305 N° 1			Narda 23305 N° 2		
	Moyenne	sd	sv	Moyenne	sd	sv
NPL	60,150	15	5	60,287	10	5
PTB	60,151	(**)		60,289	3	30
NBS	60,134	2	400	60,253	2	400
IEN	60,11	10	130	60,16	10	130
NPL	60,150	3,5	5	60,128	3	5

\*\* La PTB a estimé que cet instrument était instable. Ce laboratoire a cependant donné des valeurs maximale et minimale pour cet instrument ; la valeur indiquée est tout simplement la moyenne arithmétique de ces valeurs.

cas, sont cohérents. Les principales exceptions concernent les résultats se rapportant aux affaiblisseurs qui ont fait preuve de variations apparentes ou qui ont été considérés comme instables (20 dB N° 1 et 2, 60 dB N° 2). La représentation graphique de ces résultats est celle de Youden, représentation dans laquelle la valeur moyenne d'un premier élément est donnée par rapport à celle d'un second : les deux éléments ayant une atténuation semblable. Ces graphiques sont donnés à la figure 1.

### Conclusions et commentaires

On laisse à chaque laboratoire le soin de tirer ses propres conclusions en ce qui concerne les mesures d'affaiblissement. Il peut cependant être intéressant de faire quelques commentaires sur la comparaison internationale elle-même.

a) Certaines des variations et des incertitudes constatées dans les mesures étaient certainement dues à l'instabilité des étalons de transfert ; il convient donc, pour les futures comparaisons internationales de ce type, de mettre au point des instruments plus appropriés.

b) On avait à l'origine proposé une circulation radiale des étalons de transfert car on pensait que cette façon de faire donnerait au laboratoire pilote un contrôle complet de la comparaison, pour le profit de tous. Il n'a malheureusement pas été possible de procéder de cette façon, des durées d'immobilisation indéterminée des étalons dans les laboratoires participants ne permettant pas de prévoir les dates de leur retour au NPL.

Afin de faire progresser la comparaison, le NPL s'est donc limité à un contrôle de leur résistance en courant continu et à une inspection mécanique.

c) La PTB, qui a été le premier laboratoire à mesurer les étalons de transfert, a déclaré avoir constaté une instabilité d'environ 0,2 dB de l'affaiblisseur de 60 dB N° 1. Mais aucun autre laboratoire n'a fait de remarque sur un quelconque comportement anormal de cet élément.

d) Le NBS a contesté le bien-fondé de l'emploi d'affaiblisseurs de masquage pour « éliminer de façon quasi certaine tout risque de mauvaise connexion du système de mesure ». L'interposition d'affaiblisseurs de masquage réduisant de 20 dB le niveau des signaux, des problèmes annexes risquaient d'être posés par le rapport signal/bruit et les pertes. En fait les résultats des écarts-types qui ont été donnés font penser qu'aucun problème particulier ne s'est posé.

e) La PTB a fait un commentaire sur la difficulté qu'elle a rencontrée pour aligner convenablement les connecteurs GR-900 et sur l'effet qu'un mauvais alignement même très faible (moment de courbure) pourrait avoir sur l'affaiblissement. Cet effet pourrait atteindre 0,2 dB.

8 octobre 1983

---

## ANNEXE E 4 \*

---

### **Comparaison internationale d'étalons de puissance sur un guide d'ondes WR-28**

(Comparaison N° 72-5)

par R. F. CLARK, E. J. GRIFFIN, T. INOUE et M. P. WEIDMAN \*\*

---

**Résumé.** Ont pris part à la comparaison les laboratoires suivants : Conseil National de Recherches (NRC), Ottawa, Canada, laboratoire pilote ; National Bureau of Standards (NBS), Boulder, États-Unis d'Amérique ; Royal Signals and Radar Establishment (RSRE), Malvern, Royaume-Uni et Electrotechnical Laboratory (ETL), Tokyo, Japon. Trois montures bolométriques à thermistance pour guide d'ondes ont été construites au NRC pour servir d'étalons de transfert. Les brides des guides d'ondes étaient épaisses pour assurer la résistance mécanique et pour réduire les incertitudes liées aux pertes à l'interface entre les montures et le calorimètre. On a mesuré les efficacités à 34,5 et 35,0 GHz. La comparaison s'est effectuée dans l'ordre suivant : NRC, NBS, NRC, RSRE, NRC, ETL, NRC. Les mesures ont été entreprises en octobre 1974 et achevées en octobre 1978.

### **Introduction**

C'est en 1972 que le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du Comité Consultatif d'Électricité a décidé d'organiser une comparaison internationale d'étalons de puissance sur un guide d'ondes WR-28 (comparaison N° 72-5). Le NRC a été désigné comme laboratoire pilote. Les autres laboratoires qui étaient convenus de prendre part à cette comparaison étaient le NBS, le RSRE et l'ETL.

---

\* Traduction du document GT-RF/83-1.

\*\* Richard F. Clark travaille au Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada ; Eric J. Griffin au Royal Signals and Radar Establishment, Malvern, Royaume-Uni ; Takemi Inoue à l'Electrotechnical Laboratory, Ibaraki, Japon ; Manly P. Weidman au National Bureau of Standards, Boulder, États-Unis d'Amérique.



Conformément à la recommandation GT-RF 2 (1972) du Groupe de travail adoptée par le Comité Consultatif d'Électricité, les résultats des mesures n'ont été communiqués qu'au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) et au laboratoire pilote. Néanmoins, une fois pendant la comparaison, les résultats ont été communiqués aux laboratoires qui avaient achevé leurs mesures.

### Préparation de la comparaison

Le laboratoire pilote a décidé de préparer trois montures bolométriques à thermistance de conception identique pour servir d'étalons de transfert. On a pensé que l'utilisation de trois montures constituait une garantie contre la défaillance de l'une d'elles, tout en maintenant dans des limites raisonnables le travail à effectuer par les laboratoires participants. Le laboratoire pilote a accordé les étalons de transfert pour obtenir le meilleur rapport d'ondes stationnaires à 34,5 GHz ; il a mesuré leur efficacité,  $\eta_e$ , et les a envoyés en octobre 1974 au premier des participants. C'est alors que le laboratoire pilote comprit (un peu tard) que si l'ETL souhaitait faire les mesures à 34,5 GHz, le RSRE, par contre, préférait les faire à 35,0 GHz. Les montures à thermistance pouvaient être étalonnées aux deux fréquences, mais il était possible que l'exactitude à 35,0 GHz soit légèrement réduite à cause d'un rapport d'ondes stationnaires élevé. Par chance il se révéla que tous les laboratoires avaient effectué les étalonnages aux deux fréquences.

Pour réduire les incertitudes dans la comparaison, on a décidé que les étalons de transfert seraient renvoyés au laboratoire pilote pour y être réétalonnés après chaque mesure effectuée par l'un des autres participants.

### Conception des étalons de transfert

Les critères de conception pour les montures à thermistance étaient fondés sur le fait que les quatre laboratoires participants à la comparaison étalonnent leurs montures bolométriques étalons de travail en déterminant leur efficacité par une méthode calorimétrique [1]-[5]. A l'époque où furent conçues les montures à thermistance, on pensait que tous les laboratoires étalonneraient directement les étalons de transfert dans leurs calorimètres. Cela n'a été vrai qu'en partie.

a) *Brides*. — La bride de la monture à thermistance a été percée pour permettre de la connecter à l'une ou à l'autre des deux brides généralement utilisées pour le guide d'ondes WR-28, à savoir les brides

UG-381/U et UG-599/U. Elle est faite de laiton de 0,6 cm d'épaisseur soudé à l'argent sur un guide d'ondes en argent WR-28 normalisé. Sa face a été usinée et dressée et assure une perte faible quand la bride est accouplée à une bride de même construction.

b) *Parois.* — Dans cette comparaison tous les calorimètres des laboratoires nationaux sont construits sur le modèle du microcalorimètre amélioré de Engen [6] dans lequel la variation de la température de la face interne de la bride est l'indication principale du défaut d'efficacité de la monture bolométrique. Il est donc souhaitable que l'étalon de transfert soit fermement couplé thermiquement à la bride du calorimètre et isolé des autres parties du calorimètre. Les parois de la monture furent, en conséquence, constituées par une courte longueur de guide d'ondes WR-28 pour avoir un bon couplage thermique avec sa propre bride et par suite avec celle du calorimètre. La nécessité d'un fonctionnement à de faibles puissances et à des températures ambiantes variables oblige fréquemment à prévoir une isolation thermique considérable des parois des montures destinées à des utilisations générales. Dans cette comparaison calorimétrique, la puissance est élevée (3-15 mW) et la température très stable.

c) *Efficacité.* — Comme les calorimètres mesurent le défaut d'efficacité, la précision est d'autant meilleure que l'efficacité de la monture est élevée. Des conducteurs courts sur la perle qui constitue la thermistance et un filtre radiofréquence, à faibles pertes, sur le conducteur d'alimentation devraient permettre de satisfaire cette condition. Les connexions de la thermistance ont été soudées par point à des picots d'acier soudés dans le cuivre.

d) *Rapport d'ondes stationnaires.* — Le rapport d'ondes stationnaires de la monture doit être faible car un rapport d'ondes stationnaires élevé peut augmenter la part de la réponse du calorimètre aux pertes dans son guide d'ondes d'entrée par rapport à la part de la réponse due au défaut d'efficacité de la monture bolométrique.

e) *Caractéristiques.* — Les caractéristiques des montures bolométriques sont :

Résistance de la thermistance en fonctionnement : 200  $\Omega$ .

Courant de polarisation : 9-12 mA.

Masse de la monture : 50 g.

Fréquence de fonctionnement : 34,5 GHz.

Rapport d'ondes stationnaires : inférieur à 1,10 (inférieur à 1,5 à 35,0 GHz).

Connecteur de polarisation : plot à vis.

La figure 1 donne une photographie de la monture d'un étalon de transfert.

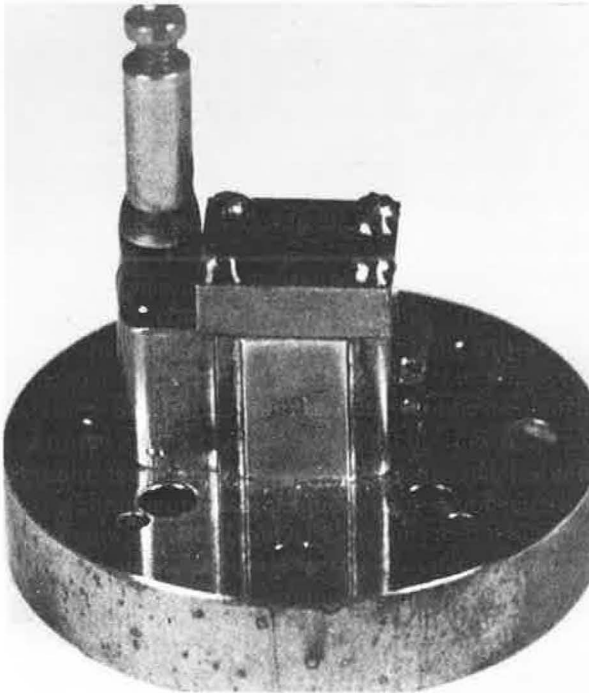


Fig. 1. — Monture à thermistance étalon de transfert.

### Mesures dans chacun des laboratoires

#### a) NRC

Les étalons de transfert ont été placés directement dans le calorimètre du NRC [5] pour mesurer l'efficacité à 34,5 et 35,0 GHz. Des efforts particuliers ont été faits pour déterminer de façon précise l'effet des pertes radiofréquence dans le guide d'ondes d'isolation thermique placé à l'entrée du calorimètre du NRC. Généralement, on mesure la perte radiofréquence dans le guide d'ondes d'isolation thermique et l'on soustrait de la réponse du calorimètre une correction calculée en prenant en compte la moitié de la perte dans le guide d'ondes d'entrée. Comme l'importance de la correction à appliquer augmente avec la fréquence, on pourrait diminuer l'erreur de façon appréciable en mesurant la réponse effective du calorimètre à cette perte. Les résultats d'expériences effectuées sur d'autres types de calorimètres font penser que le facteur de correction ne devrait pas être simplement la moitié de la perte radiofréquence dans le guide d'ondes d'entrée. Il faut aussi considérer qu'à l'intérieur de la région de la bride du calorimètre où

la monture bolométrique est fixée, la majeure partie des pertes sera entièrement décelée par le thermocouple du calorimètre. Enfin, il est difficile de mesurer exactement les pertes radiofréquence dans le guide d'ondes, imputables aux défauts mécaniques de ce guide.

La technique adoptée pour la mesure comporte la connexion d'un court-circuit sur guide d'ondes dans le calorimètre à la place de la monture. Une énergie connue est envoyée sur le court-circuit et contrôlée par un coupleur directif externe. La réponse du calorimètre à cette énergie incidente résulte de la combinaison de l'effet des pertes radiofréquence dans la section d'entrée du calorimètre et de la perte dans le court-circuit. Pour achever la mesure on doit connaître la perte dans le court-circuit. Des court-circuits quart d'onde spéciaux ont été construits avec des entailles demi-cylindriques sur la surface de la bride du guide d'ondes. Deux de ces court-circuits quart d'onde ont été assemblés, comme le montre la figure 2, pour constituer une cavité demi-onde ; on a introduit une sonde de champ électrique dans le trou cylindrique formé par les deux entailles afin d'effectuer une mesure de surtension au réflectomètre.

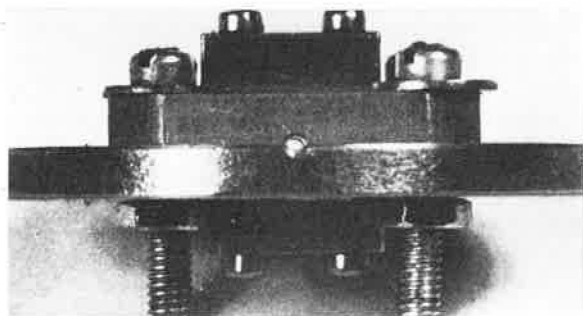


Fig. 2. — Cavité formée par deux court-circuits quart d'onde.

Des mesures du facteur de surtension,  $Q$ , effectuées pour les trois combinaisons possibles de trois court-circuits quart d'onde ont permis de calculer le facteur effectif de chaque court-circuit ; le calcul de la perte dans le court-circuit a été fait d'après l'expression de Nemoto [7]

$$1 - |\Gamma|^2 = \frac{\pi}{Q} \left( \frac{\lambda_g}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

dans laquelle  $|\Gamma|$  est l'amplitude du coefficient de réflexion du court-circuit quart d'onde et  $\lambda_g$  et  $\lambda$  sont les longueurs d'onde dans le guide et dans l'espace libre pour la fréquence particulière utilisée.

Quand un court-circuit quart d'onde est connecté au calorimètre, l'onde stationnaire dans le guide d'ondes entraînera une variation de la perte de puissance le long de l'axe longitudinal du guide d'ondes d'entrée du calorimètre. Pour corriger cet effet, un court-circuit coulissant a été utilisé dans le calorimètre aux positions quart d'onde et demi-onde et on a fait la moyenne des deux réponses du calorimètre. On a déterminé la perte dans le court-circuit coulissant pour sa position quart d'onde au moyen de la technique de mesure du facteur  $Q$  indiquée plus haut.

Le calcul de l'efficacité,  $\eta_e$ , des montures à thermistance est fait d'après une expression de la forme

$$\eta_e = \frac{1 + m}{1 + \frac{\Delta P}{P_s}} \quad (2)$$

dans laquelle  $\Delta P$  est la réponse totale du calorimètre exprimée avec la même unité que la puissance  $P_s$  substituée dans la thermistance et  $m$  est la correction pour les pertes dans le guide d'ondes d'entrée et la bride du calorimètre. La valeur obtenue pour  $m$  dans cet étalonnage, pour des montures bien adaptées a été  $0,0050 \pm 0,0005$ . On a estimé à  $\pm 0,0015$  l'incertitude de la détermination de  $\frac{\Delta P}{P_s}$  y compris les incertitudes aléatoires ; l'incertitude totale de la détermination de  $\eta_e$  au NRC a été estimée à  $\pm 0,002$ .

D'octobre 1974 à octobre 1978 on a fait cinq fois les mesures sur les montures au NRC. Ce nombre comprend la mesure supplémentaire effectuée en raison du long délai écoulé au NRC entre la réception des étalons en provenance du RSRE et leur expédition à l'ETL.

#### b) NBS

Les efficacités,  $\eta_e$ , des montures des étalons de transfert ont été mesurées au NBS au cours du mois de novembre 1974, à une température du calorimètre de  $24,0$  °C et une humidité relative d'environ 40 %. La fréquence de la source était de  $(34,500 \pm 0,001)$  GHz et la puissance substituée dans la thermistance pendant l'application de la puissance en microondes d'environ 10 mW. Les mesures à 34,5 GHz ont été faites dans un calorimètre double non symétrique du type décrit par Harvey [3]. Le facteur de correction  $(1 + m)$  pour tenir compte des pertes dans la section d'isolation thermique et de l'augmentation de l'effet de chauffage dans les parois de l'instrument était de 1,0016. L'incertitude de  $\eta_e$  à 34,5 GHz a été estimée à  $\pm 0,003$ . Des mesures de  $\eta_e$  ont été faites à  $(35,000 \pm 0,001)$  GHz en utilisant des étalons mesurés dans le microcalorimètre et un réflectomètre accordé comme instrument de transfert. L'incertitude à 35,0 GHz a été estimée à  $\pm 0,004$ .

c) *RSRE*

L'efficacité,  $\eta_c$ , de chaque monture a été mesurée au RSRE en utilisant un microcalorimètre [4] dans lequel la variation de température due à la puissance microonde incidente sur la monture est mesurée par rapport à un anneau de cuivre. La constante de temps thermique de celui-ci par rapport à la masse thermique (un bain d'eau qui l'entoure, maintenu à 26 °C avec une stabilité de  $\pm 50 \mu\text{K}$ ) est ajustée pour être égale à celle de la monture. Pendant les mesures effectuées en avril et mai 1975, la résistance de la thermistance a été maintenue à 200 ohms avec une puissance de polarisation d'environ 15 mW. L'incertitude de la mesure de  $\eta_c$  a été estimée à  $\pm 0,003$ , dont  $\pm 0,001$  attribué à l'incertitude de la détermination de l'échauffement du guide d'ondes d'isolation thermique à l'entrée du microcalorimètre. Cette contribution à l'incertitude a été déterminée expérimentalement en utilisant comme court-circuit une feuille de cuivre entre une monture bolométrique et le guide d'ondes d'entrée.

d) *ETL*

Dans cette bande de fréquences l'étalon de l'ETL est constitué d'une monture étalon, d'une installation calorimétrique et d'un système de comparaison. La monture étalon pour la bande de 35 GHz est une monture bolométrique à couche mince [8] mise au point à l'ETL. L'efficacité de la monture bolométrique est mesurée dans un calorimètre [2] dont on réalise l'équilibre thermique au moyen d'un chauffage auxiliaire. On estime que l'incertitude de cette mesure est inférieure à  $\pm 0,0037$ , y compris l'incertitude aléatoire. La comparaison de la monture étalon et de la monture à essayer était faite au moyen d'un coupleur directif [9]. L'incertitude de la comparaison est estimée à  $\pm 0,001$ , y compris l'incertitude aléatoire, si bien que l'incertitude totale estimée de la mesure de  $\eta_c$ , par l'ETL, est de  $\pm 0,0047$ .

### Résultats de la comparaison

Les résultats des étalonnages effectués par les quatre laboratoires sont donnés dans le tableau I. Les valeurs données pour chaque  $\eta_c$  sont des moyennes. L'écart-type de la moyenne est désigné par  $\varepsilon_m$ . On a représenté sur la figure 3 les valeurs de  $\eta_c$  en fonction du temps pour la monture B, à 34,5 GHz. Les traits verticaux représentent l'incertitude estimée par chaque laboratoire. Cette incertitude tient compte à la fois de l'incertitude systématique estimée et de l'incertitude aléatoire.



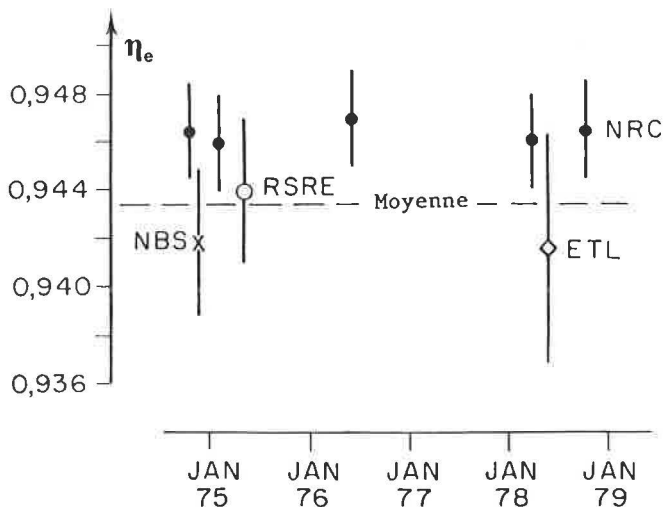


Fig. 3. — Efficacité  $\eta_e$  de la monture à thermistance B, à 34,5 GHz (les traits verticaux représentent l'incertitude estimée de chaque mesure).

Ni le calorimètre du NRC ni les montures étalons de transfert n'ont montré d'instabilité significative en fonction du temps ; les écarts extrêmes de ces mesures par rapport à leur moyenne sont donnés dans le tableau II. De plus, aucune des mesures faites dans les quatre laboratoires ne diffère beaucoup des autres. Il est par conséquent raisonnable de penser que la moyenne des valeurs de  $\eta_e$  déterminées dans les quatre laboratoires, calculée en donnant un poids égal à chaque laboratoire, représente la meilleure estimation de la valeur la plus probable de l'efficacité ; cette valeur moyenne pour la monture B, à 34,5 GHz, est également représentée sur la figure 3.

On peut faire une comparaison entre les étalons microcalorimétriques secondaires des laboratoires en retranchant des résultats trouvés par

TABLEAU II

Variations avec le temps des  $\eta_e$  mesurées au NRC  
(déduites du tableau I)

Fréquence (GHz)	34,5			35,0		
	B	C	D	B	C	D
Monture						
Moyenne des $\eta_e$ mesurées par le NRC d'octobre 1974 à octobre 1978	0,9463	0,9430	0,9430	0,9461	0,9428	0,9440
Écarts maximaux par rap- port à la moyenne	+0,0006 -0,0004	+0,0012 -0,0008	+0,0005 -0,0005	+0,0004 -0,0003	+0,0007 -0,0005	+0,0009 -0,0008



TABLEAU III

*Différences systématiques moyennes (déduites du tableau I)*

Fréquence (GHz)	34,5				35,0				Différence systématique moyenne, $\Delta$
	B	C	D	D	B	C	D	D	
Monture									
Colonne	I	2	3	4	5	6			
Moyenne de toutes les mesures de $\eta_c$	0,9434	0,9403	0,9405	0,9435	0,9400	0,9410			
(Valeur mesurée — moyenne) au NRC	+ 0,0029	+ 0,0027	+ 0,0025	+ 0,0026	+ 0,0028	+ 0,0030			+ 0,0028
NBS	- 0,0016	- 0,0018	- 0,0013	- 0,0015	- 0,0012	- 0,0017			- 0,0015
RSRE	+ 0,0005	+ 0,0011	+ 0,0001	+ 0,0006	+ 0,0019	+ 0,0004			+ 0,0008
ETL	- 0,0019	- 0,0020	- 0,0013	- 0,0017	- 0,0036	- 0,0019			- 0,0021
									Moyenne des colonnes 1 à 6
									Incertitude de $\Delta$
									(confiance : 99,7 %)

chacun d'eux (pour chaque monture et chaque fréquence) la valeur moyenne générale de  $\eta_c$  et en faisant la moyenne de ces différences pour chaque laboratoire ; ces « différences systématiques moyennes »,  $\bar{\Delta}$ , sont reportées dans le tableau III et sur la figure 4.

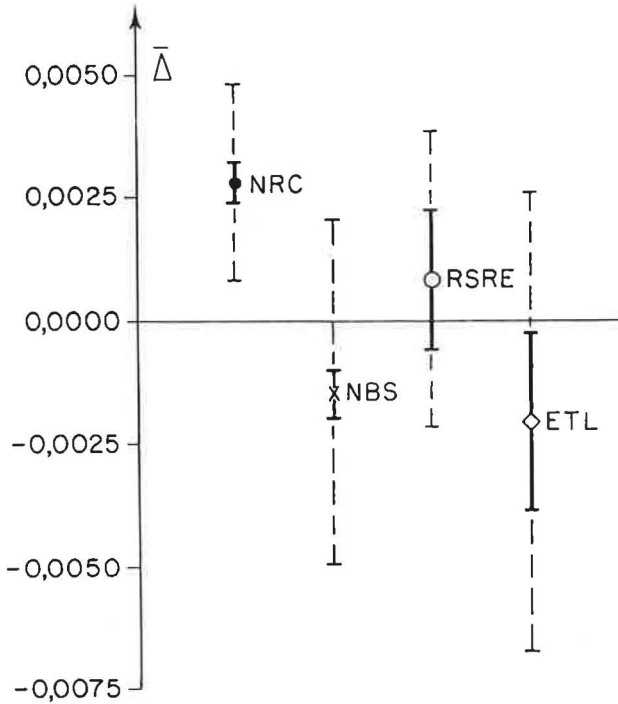


Fig. 4. — Différence systématique moyenne  $\bar{\Delta}$  pour chaque laboratoire (les traits pleins verticaux représentent les limites de l'incertitude aléatoire pour un niveau de confiance de 99,7 %); les traits verticaux en tireté représentent l'incertitude estimée de la mesure).

### Conclusions

Les différents résultats mesurés et ceux que nous en avons déduits sont indiqués dans les tableaux I à III et représentés sur les figures 3 et 4. Ils illustrent l'étendue de l'accord entre les quatre laboratoires. Dans toute discussion de ces résultats il faut se rappeler qu'ils résultent de mesures toutes fondées sur des calorimètres et effectuées en utilisant les mêmes trois montures identiques. Ces facteurs communs peuvent avoir été la source, dans tous les résultats, d'erreurs systématiques que l'on ne peut évaluer. Malgré cela, en partant de la meilleure estimation possible de la valeur la plus probable de l'efficacité de chaque monture (c'est-à-dire la moyenne arithmétique de tous les résultats pour cette

monture), on a calculé les différences systématiques moyennes qui donnent, pour chaque laboratoire, l'écart systématique par rapport à cette valeur la plus probable (fig. 4).

On remarque que, pour chaque laboratoire, ces écarts sont comparables à la meilleure estimation de l'incertitude de mesure (traits verticaux en tireté sur la figure 4). Suivant la méthode indiquée par Joiner [10] pour un échantillon de taille 6 et pour un niveau de confiance de 99,7 %, la limite de l'incertitude aléatoire dans la détermination de l'efficacité a été prise égale à 5,5 fois l'écart-type de  $\bar{\Delta}$  (traits pleins verticaux sur la figure 4). Il n'apparaît aucune corrélation entre ces incertitudes et l'écart entre la moyenne pour chaque laboratoire et la valeur la plus probable.

### Remerciements

Eric J. Griggin remercie J. Roberts qui a effectué au RSRE les mesures mentionnées dans ce rapport. Richard F. Clark est reconnaissant, pour leurs travaux de qualité, à G. D. McLaren et R. A. J. Smith qui ont construit et étudié les étalons de transfert.

### Bibliographie

- [1] SAKURAI, K. and MARUYAMA, T., A millimeter-wave microcalorimeter. *IRE Trans. Instrum.*, **I-11**, 1962, pp. 270-276.
  - [2] INOUE, T. YAMAMURA, K. and NEMOTO, T., Automatic calorimeter system for effective efficiency measurement of a bolometer mount in the 35 GHz band. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-27**, 1978, pp. 205-209.
  - [3] HARVEY, M. E., WR-15 microwave calorimeter and bolometer unit. *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Tech. Note 618*, mai 1972.
  - [4] BAGNALL, I. A., ROBERTS, J. and CLARK, S., The automated system used in the calibration of the UK waveguide power standards. *In CPEM 74 Digest*, 1-5 juil. 1974, pp. 185-187.
  - [5] CLARK, R. F., A semiautomatic calorimeter for measurement of effective efficiency of thermistor mounts. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-23**, 1974, pp. 403-408.
  - [6] ENGEN, G. F., A refined X-Band microwave calorimeter. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **63C**, 1958, pp. 77-82.
  - [7] NEMOTO, T., The microwave impedance standards. *Researches of the Electrotechnical Laboratory*, no. **708**, 1970 (Équation 6.11).
  - [8] SAKURAI, K. and NEMOTO, T., A thin film bolometer unit. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-16**, 1967, pp. 206-211.
  - [9] SAKURAI, K., Microwave power standard. *Researches of the Electrotechnical Laboratory*, no. **680**, déc. 1967.
  - [10] JOINER, B. L., Student-t deviate corresponding to a given normal deviate. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **73C**, 1969, pp. 15-16.
-

## ANNEXE E 5 \*

---

### Comparaison internationale d'intensité de champ électrique à 100 MHz

(Comparaison N° 72-7)

Par C. F. STUBENRAUCH, P. G. GALLIANO et T. M. BABIJ \*\*

---

**Résumé.** Ce document rend compte d'une comparaison internationale d'intensité de champ électrique à 100 MHz. Les laboratoires de quatre pays ont pris part à cette comparaison. Pour chaque laboratoire la dispersion des résultats va de + 0,75 dB à - 0,5 dB par rapport à la moyenne générale. On donne une description de l'étalon de transfert ainsi que le détail des résultats.

### Introduction

On vient de terminer une comparaison internationale d'intensité de champ électrique à 100 MHz. Cette comparaison a été décidée en 1969 dans une résolution prise par l'Assemblée Générale de l'Union Radio-Scientifique Internationale (URSI). Ultérieurement, en 1972, il fut décidé, lors d'une réunion à Sèvres, que le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du Comité Consultatif d'Électricité effectuerait les mesures. Les mesures effectives ont commencé en 1976.

Ont pris part à cette comparaison les laboratoires suivants : Fernmeldetechnisches Zentralamt (FTZ), Darmstadt, Rép. Féd. d'Allemagne ; Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), Turin, Italie ; l'Université technique de Wroclaw (TUW), Wroclaw, Pologne ; et le National Bureau of Standards (NBS), Boulder, États-Unis d'Amérique, qui a été choisi comme laboratoire pilote.

---

\* Traduction du document GT-RF/83-11.

\*\* C. F. Stubenrauch travaille au National Bureau of Standards, Boulder (États-Unis d'Amérique), P. G. Galliano à l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie) et T. M. Babij était à l'Université technique de Wroclaw, Wroclaw (Pologne). Il travaille maintenant au Bureau of Radiological Health, Rockville (États-Unis d'Amérique).

La comparaison a été de type circulaire; elle a commencé au laboratoire pilote (NBS), continué par le FTZ, l'IEN; l'étalon est retourné au NBS pour un contrôle intermédiaire; il a ensuite été mesuré au TUW et il est retourné au NBS pour l'étalonnage final.

Ce document donne une description de l'étalon de transfert, la technique de mesure utilisée dans chaque laboratoire et le résultat des mesures d'intensité de champ.

### Description de l'étalon de transfert

L'étalon de transfert qui a circulé est une antenne réceptrice conçue pour permettre de régler un champ électrique de 100 MHz produit par le laboratoire participant sur une valeur inconnue mais spécifiée. Chaque participant utilisait l'étalon de transfert pour produire ce champ et mesurait ensuite ce champ en utilisant les techniques habituelles du laboratoire.

L'étalon comportait un dipôle demi-onde alimenté au centre, en circuit ouvert, et un voltmètre haute fréquence, à forte impédance, semblable à celui qui a été décrit par Greene (1967) [1], comme le montre la figure 1. On a utilisé ce dessin parce que la longueur effective d'un dipôle horizontal demi-onde est relativement indépendante de sa

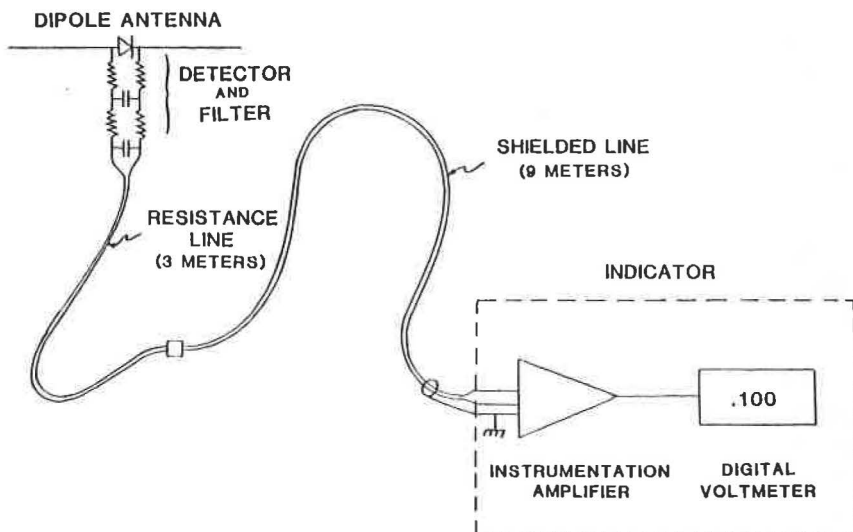


Fig. 1. — Schéma de l'étalon de transfert utilisé pour la comparaison internationale d'intensité de champ.

hauteur par rapport au sol tant que sa distance à celui-ci n'est pas inférieure à une fraction de longueur d'onde. De plus, l'utilisation d'un voltmètre haute fréquence, à haute impédance, permet d'avoir une mesure qui est relativement indépendante de l'impédance de sortie de l'antenne en fonction de sa hauteur.

L'étalon était construit de façon que les diodes du voltmètre soient facilement interchangeables. Pour assurer la continuité de l'expérience, quatre diodes, avec un code de couleur, étaient incorporées et chaque participant effectuait ses mesures avec chacune des diodes. De plus, le laboratoire pilote avait conservé deux autres diodes pour servir d'étalons de contrôle. Les diodes utilisées étaient des diodes Schottky à tension inverse élevée qui avaient été conditionnées dans un boîtier spécial en céramique et s'étaient avérées très stables et robustes.

La tension continue provenant du détecteur était amenée sur un voltmètre au moyen d'une ligne de transmission imprégnée de carbone à haute résistance. Cette ligne est par nature transparente pour le champ à haute fréquence et ne provoque par conséquent aucune perturbation de ce champ.

Le voltmètre était un voltmètre numérique fonctionnant sur batterie comportant un amplificateur d'instrumentation comme étage d'entrée. L'impédance d'entrée était supérieure à 200 M $\Omega$  ; le voltmètre était muni d'une borne de garde qui permettait d'obtenir un facteur de réjection de mode commun élevé.

On estime que l'étalon de transfert permettait de créer un champ à  $\pm 0,5$  dB de la valeur nominale.

### Techniques de mesure

L'étalon de transfert était placé à une hauteur d'environ 3 mètres au-dessus du sol. L'antenne de transmission était située à une distance de 9 à 20 mètres de l'étalon de transfert ; elle était réglée en hauteur afin de recevoir le maximum d'intensité du signal. Les mesures étaient faites à deux distances différentes et sur deux jours distincts. On répétait les mesures avec chacune des quatre diodes fournies.

Après avoir réglé l'intensité du champ transmis pour avoir une lecture sur le voltmètre de transfert comprise entre 95 et 105 millivolts, on enlevait l'étalon de transfert ; on mettait à sa place l'antenne de mesure du laboratoire participant et l'on mesurait l'intensité inconnue du champ. Pour tenir compte de la différence entre la lecture effective sur l'étalon de transfert et une lecture nominale de 100 millivolts, on appliquait alors à l'intensité mesurée du champ une correction fondée sur les caractéristiques connues de la diode du détecteur. On trouvera ci-après les caractéristiques de l'installation de mesure de chaque laboratoire.

### *National Bureau of Standards*

Le système utilisé au NBS est semblable à celui qui a été décrit par Greene en 1967 et, en fait, à l'étalon de transfert lui-même. La différence essentielle est que la diode utilisée comme détecteur doit être étalonnée comme un voltmètre haute fréquence afin de déterminer l'intensité du champ électrique. L'incertitude estimée de cette technique est de  $\pm 1$  dB. La distance entre transmetteur et récepteur est de l'ordre de 12 à 16 mètres et le sol sur cette distance peut être considéré comme de la glaise rocheuse sèche.

### *Fernmeldetechnisches Zentralamt*

L'instrument de mesure utilisé au FTZ était un appareil de mesure de champ VHF-UHF que l'on trouve dans le commerce, qui comporte une antenne réceptrice log-périodique. On évalue l'erreur totale à moins de  $\pm 3$  dB. Les distances de mesure entre les antennes étaient de 15 et 20 mètres. Sur cette distance le sol était sec et sableux.

### *Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris*

L'instrument de mesure utilisé à l'IEN était un appareil de mesure de l'intensité de champ et de bruit, que l'on trouve dans le commerce. On employait trois antennes dipôles accordées différentes. On mesurait l'affaiblissement du câble coaxial employé pour relier l'antenne à l'appareil de mesure de l'intensité du champ et on déterminait la tension à l'entrée de l'appareil de mesure de l'intensité du champ par la méthode de substitution en utilisant un générateur étalon haute fréquence.

On a évalué l'exactitude des mesures à  $\pm 1,5$  dB sans tenir compte de l'erreur du coefficient d'antenne. Dans le calcul de l'intensité du champ, on a utilisé le coefficient d'antenne fourni par le fabricant, qui ne donnait aucune incertitude.

Les distances entre antenne émettrice et antenne réceptrice étaient de 13,9 et 16,9 mètres. En surface le sol était sec, le premier jour où l'on a fait des mesures, et humide le second jour.

### *Université technique de Wrocław*

La technique de mesure utilisée au TUW était semblable à celle qui a été décrite par Greene en 1967. La diode employée dans le détecteur est une 1N82A choisie manuellement. L'incertitude totale est estimée égale à  $\pm 0,5$  dB.

Les distances entre antenne émettrice et antenne réceptrice étaient de 9 et 10 mètres ; le sol entre les deux était sec.

## Résultats et discussion

Les résultats sont donnés dans le tableau I, ainsi que sur la figure 2. Comme on peut le voir, les résultats tendent à concorder dans les limites des incertitudes mentionnées. Toutefois, on peut faire plusieurs remarques fondées sur une analyse des résultats.

TABLEAU I

Laboratoire	Champ électrique mV/m	Nombre de mesures	Écart-type mV/m	Incertitude estimée dB
NBS (fév. 1976)	114,6	44	2,0	$\pm 1$
FTZ (mai 1976)	109,3	16	4,3	$\pm 3$
IEN (mai 1977)	109,7	44	6,4	$\pm (1,5 + e_d)$
NBS (juillet 1977)	122,9	28	1,6	$\pm 1$
TUW (juin 1978)	125,8	16	1,6	$\pm 0,5$
NBS (nov. 1980)	115,9	35	2,4	$\pm 1$
Moyenne	115,7	4	7,8	

Note 1 :  $e_d$  est l'incertitude sur le facteur d'antenne pour les dipôles employés à l'IEN, qui n'était pas indiquée par le fabricant.

Note 2 : On estime à  $\pm 0,5$  dB l'incertitude sur la répétition d'une intensité de champ donnée avec l'étalon de transfert dans un lieu arbitraire.

Note 3 : La valeur moyenne est la moyenne de quatre valeurs, en prenant pour l'une de celles-ci la moyenne des trois mesures du NBS.

Tout d'abord, nous remarquons que les résultats de la seconde série de mesures effectuées au NBS, ainsi que ceux des mesures faites au TUW, sont quelque peu supérieurs à ceux qui ont été obtenus pour les autres mesures. On a étudié plusieurs raisons possibles à ce changement. Comme le voltmètre en courant était étalonné par rapport à un étalon indépendant de tension dans chaque laboratoire participant, on peut éliminer une variation dans son étalonnage. L'étalonnage des diodes du détecteur a été contrôlé et on n'a pas trouvé de variations supérieures à  $\pm 1$  %. De plus, on n'a pas observé que les deux diodes étalons de contrôle aient donné des résultats qui différaient de ceux des quatre diodes qui ont été utilisées dans tous les laboratoires participants. En dernier lieu, on a étudié l'éventualité d'un effet de l'humidité sur la ligne de résistance, occasionnant peut-être une résistance shunt qui aurait réduit la tension lue sur le voltmètre. Pour étudier cette éventualité, on a mesuré les caractéristiques de la ligne à 25 % d'humidité relative environ et à nouveau après avoir exposé la ligne pendant un mois à une humidité relative d'environ 55 %. On n'a observé aucune modification. Dans chaque cas, en particulier, la résistance shunt était supérieure à 100 M $\Omega$ . Des résistances shunt de cette importance n'ont aucun effet sur la tension mesurée.



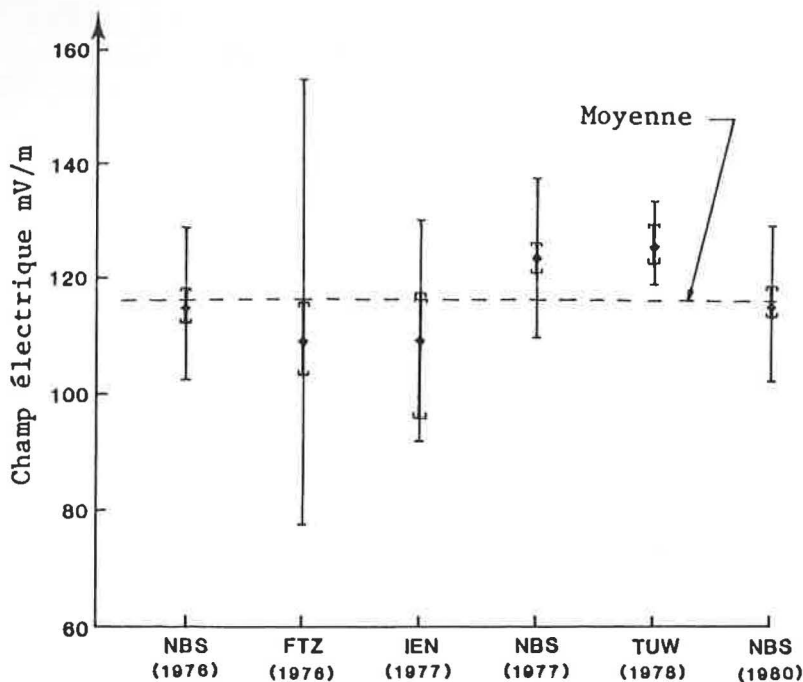


Fig. 2. — Tracé des valeurs de chaque laboratoire pour la comparaison internationale d'intensité de champ électrique. Les barres représentent l'estimation donnée par chaque laboratoire pour ses propres limites d'incertitude. Dans le cas de l'IEN, l'incertitude ne tient pas compte de l'incertitude sur l'étalonnage de l'antenne (voir texte). Les parties entre crochets indiquent le domaine des valeurs mesurées obtenues dans chaque laboratoire. La valeur moyenne est la moyenne de quatre valeurs, en prenant pour l'une de celles-ci la moyenne des trois mesures du NBS.

On a décidé de poursuivre la série de mesures puisque le décalage observé n'était pas important par rapport aux incertitudes totales attendues pour ce type de mesures. Nous remarquons que le résultat obtenu au TUW concorde avec celui de la seconde mesure faite au NBS.

Après retour et nouvel étalonnage de l'instrument, les résultats concordaient avec ceux que l'on avait obtenus lors des trois premières mesures. La question demeure de savoir si les caractéristiques de l'étalon de transfert se sont modifiées et sont ensuite revenues à ce qu'elles étaient, ou non. De plus, si une modification est intervenue, est-il très raisonnable de comparer la mesure de TUW aux trois premières, ou seulement à la seconde mesure du NBS ? L'explication n'est pas évidente et nous nous bornons à rapporter les détails.

On a fait une analyse statistique des résultats pour déceler tout effet sur les mesures dû, soit à une des diodes utilisées en particulier, soit à la distance entre émetteur et récepteur. Si l'on considère une sous-série restreinte des 16 mesures faites dans chaque laboratoire, on ne peut observer de différences significatives entre les différentes diodes.

De plus, les résultats obtenus en prenant en compte les diodes de contrôle conservées au NBS ne font apparaître aucune incohérence. Ceci n'est pas étonnant compte tenu de l'uniformité et de la robustesse des diodes utilisées.

Une analyse dans un seul sens des variances pour les résultats de chaque laboratoire a montré une variation statistiquement significative, en fonction de la distance pour trois des mesures au niveau de 0,005 ou moins. Au FTZ, la mesure à une distance de 20 mètres a donné des résultats 7,4 % supérieurs à ceux qui ont été obtenus à 15 mètres. A l'IEN, les résultats obtenus à 14 mètres étaient 6,4 % supérieurs à ceux qui ont été obtenus à 17 mètres. Le second résultat du NBS était 1,6 % supérieur à 15 mètres à celui qui a été obtenu à 18 mètres. On peut vraisemblablement attribuer les résultats obtenus au FTZ au fait que l'antenne utilisée sur l'appareil de mesure de l'intensité du champ était un dispositif dipôle log-périodique qui devait avoir une sensibilité à l'onde réfléchie au sol différente pour les deux géométries. A ce sujet, il conviendrait peut-être de noter qu'on rencontre des difficultés pour interpréter les mesures d'intensité du champ obtenu avec les antennes directionnelles dans des environnements complexes de champs. Nous remarquons que l'on fait souvent des mesures de champ en utilisant des sondes soi-disant « isotropiques » ; des antennes constituées de trois dipôles orthogonaux avec addition de puissance reçue plutôt que de tension.

Tous les autres laboratoires ont utilisé des antennes dipôles. Les analyses dans un seul sens pour les trois autres cas n'ont pas montré d'effet de distance statistiquement significatif.

Comme les aspects de mise en œuvre et les facteurs que nous venons d'exposer étaient de première importance, on n'a pas procédé à une analyse statistique plus complète. La souplesse qui était laissée à chaque laboratoire dans les méthodes de mesure aurait demandé une analyse statistique assez complexe pour des résultats limités.

### Remerciements

Nous tenons à remercier le Dr H. M. Altschuler du NBS pour son aide dans la conception de l'expérience. W. Spiess a fait les mesures au FTZ. Nous avons tiré profit des discussions que nous avons eues avec R. R. Bowman et le Dr D. S. Friday et nous leur en sommes particulièrement reconnaissants. Enfin, nous avons été très sensibles à l'aide et aux encouragements du Dr R. C. Baird du NRC.

### Bibliographie

- [1] GREENE, F. M., NBS field-strength standards and measurements (30 Hz to 1 000 MHz). *Proc. IEEE*, **55**, June 1967, pp. 970-981.
-

ANNEXE E 6 \*

---

**Rapport final sur la comparaison internationale  
de puissance surfacique à 2,45 GHz**

(Comparaison N° 72-11)

par J. D. HUNTER

CSIRO, Division of Applied Physics (Australie)

---

Laboratoire pilote : CSIRO, Division of Applied Physics (NML),  
Australie

Participants :

Department of Health, Education and Welfare (BRH), États-Unis  
d'Amérique

National Defence Research Institute (FOA), Suède

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), Italie

National Bureau of Standards (NBS), États-Unis d'Amérique

CSIRO, Division of Applied Physics (NML), Australie

National Physical Laboratory (NPL), Royaume Uni

## 1. Introduction

Lors de la 13<sup>e</sup> session du Comité Consultatif d'Électricité, à Sèvres, en 1972, on a proposé d'entreprendre une comparaison internationale de puissance surfacique à 2,45 GHz ; le NML fut désigné comme laboratoire pilote.

Les étalons voyageurs ont d'abord été mesurés par le laboratoire pilote en juillet 1975 ; ils ont ensuite circulé selon un schéma en « pétales » retournant au laboratoire pilote après avoir été mesurés dans les laboratoires situés en Amérique du Nord et à nouveau, pour une dernière mesure, après avoir circulé en Europe.

---

\* Traduction du document GT-RF/83-2.

## 2. Étalons voyageurs

Trois instruments de mesure de puissance surfacique, de type commercial, ont été proposés comme étalons voyageurs, deux par le BRH et un par le NML :

Narda 8100, constitué d'un indicateur, modèle 8110 (N° 02109) et d'une sonde amovible, modèle 8121A (N° 02210) ;

Holaday 1500, constitué d'un indicateur et d'une sonde fixe (N° 12817) ;

Narda 8305, constitué d'un indicateur, modèle 8315A (N° 03015) et d'une sonde amovible, modèle 8321 (N° 03021).

Chaque instrument était alimenté par batterie ; il comprenait un circuit électronique et un indicateur à aiguille dans une boîte métallique à laquelle la sonde sensible était reliée par un câble souple. Les sondes du Narda 8100 et du Holaday 1500 comportaient deux éléments orthogonaux montés dans le plan normal à l'axe de leur poignée tandis que la sonde du troisième instrument, le Narda 8305, qualifiée d'isotrope par son constructeur, comportait trois éléments orthogonaux. Chaque sonde portait un repère indiquant aux utilisateurs dans quelle direction il convenait de l'orienter dans un champ électromagnétique.

Avec ses étalons, le BRH a fourni un support pour la sonde qui a circulé avec les étalons et que les participants ont pu utiliser à leur guise.

Après avoir été étalonné par l'IEN, le Narda 8305 a cessé de fonctionner et a été retiré de la circulation.

## 3. Résultats et conclusions

Les résultats de la comparaison sont donnés dans le tableau I. Ces mêmes résultats sont représentés graphiquement sur les figures 1, 2, 3 par ordre chronologique avec une échelle de temps linéaire ; les résultats obtenus par le laboratoire pilote sont joints par une ligne en tireté pour essayer de mettre en évidence d'éventuelles dérives des étalons voyageurs. Lorsque les participants n'ont pas indiqué dans leur rapport la date de leurs mesures, le laboratoire pilote a déduit une date approximative de la correspondance relative aux mesures.

Les résultats sont exprimés sous forme du facteur d'étalonnage par lequel il faut multiplier la lecture sur l'échelle, au voisinage de  $10 \text{ mW/cm}^2$ . Il convient de noter que lors des étalonnages de Holaday 1500 et Narda 8305 effectués par l'IEN les lectures sur les échelles étaient quelque peu inférieures à  $10 \text{ mW/cm}^2$ . Toutefois, le

TABLEAU I

*Facteur d'étalonnage au voisinage de 10 mW/cm<sup>2</sup>*

Laboratoire	Date des mesures	Fréquence GHz	Température °C	Facteur d'étalonnage		Incertitude
				Narda 8100	Holiday 1500 Narda 8305	
NML	juil 75	2,45 ± 0,025	22 ± 2	1,00	0,91	± 0,5 dB
NBS	mars 76 (1)	2,45 ± 0,0001	23 ± 1,5	1,09	1,01	± 0,5 dB
BRH	juin 76 (1)	2,45	non indiquée	0,94	0,86	(± 0,69 dB) (2)
NML	avril 77	2,45 ± 0,025	22 ± 2	0,97	0,93	± 0,5 dB
FOA	août 77 (1)	2,45 ± 0,05	22 ± 2	0,92	0,86	± 0,15 (3)
IEN	oct 78	2,45 ± 0,05	21 ± 2	8,15	6,78	± 19 % (4)
				10,00	6,76	± 10 % (4)
NPL	mars 80 (1)	2,438 (a) 2,437 (b)	23	1,019 (a)	1,022 (b)	± 0,3 dB
NML	juil 80	2,45 ± 0,025	22 ± 2	0,93	0,98	± 0,5 dB

(1) Non indiquée dans le rapport. Date approximative évaluée d'après la correspondance se rapportant aux mesures.

(2) Non indiquée dans le rapport. Extraite de la publication (FDA) 75:8028 du Department of Health, Education and Welfare jointe au rapport.

(3) S'ajoutant directement au facteur d'étalonnage.

(4) Le rapport de l'IEN indique : « L'incertitude maximale de la puissance surfacique due aux erreurs d'étalonnage et d'approximation est 19 %. Il faut envisager une erreur additionnelle de 10 % pour la puissance surfacique mesurée due au rapport d'ondes stationnaires non désirées (après avoir fait la moyenne). »

Facteur d'étalonnage

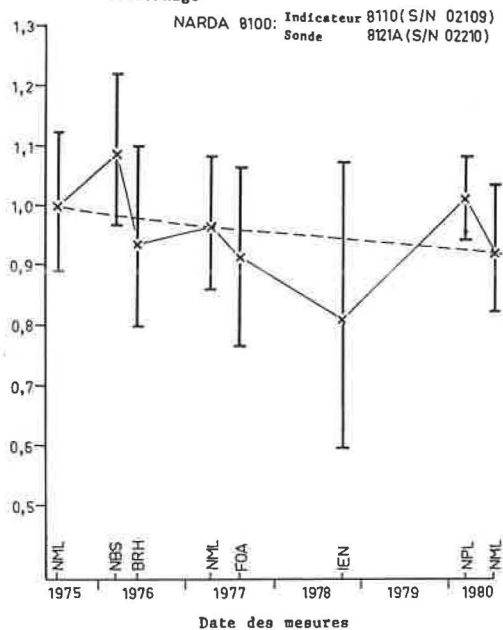


Fig. 1.

Facteur d'étalonnage

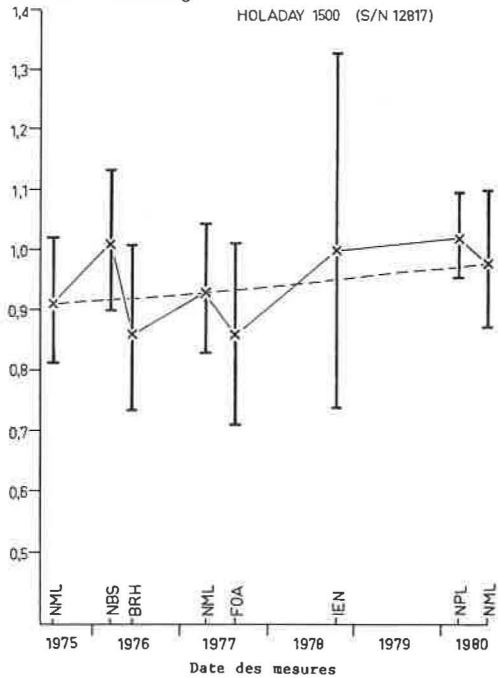


Fig. 2.

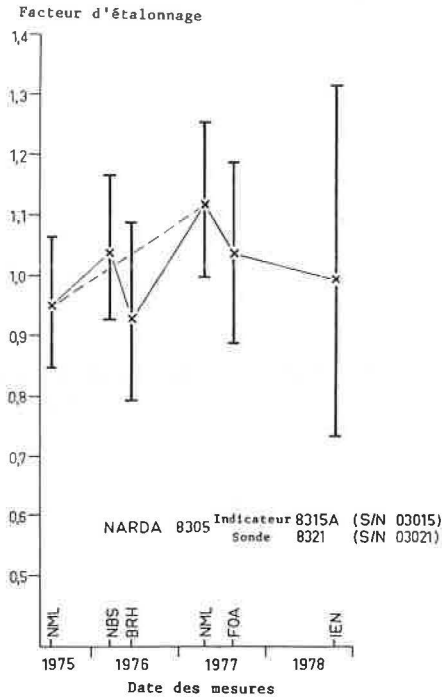


Fig. 3.

BRH a précisé que « les essais sur les instruments ont montré que tous les indicateurs étaient très linéaires ( $\pm 1\%$ ) dans leur domaine respectif ».

Il ressort du tableau I que les différences entre les résultats obtenus par les participants sont, dans bien des cas, systématiques. Cela apparaît clairement lorsque l'on compare les courbes obtenues en joignant les résultats consécutifs sur les figures 1, 2 et 3.

Le rapport maximal entre le résultat le plus élevé et le plus faible obtenus pour l'un quelconque des trois étalons voyageurs est environ 1,3 dB ; cette valeur inclut toute dérive éventuelle.

Il est regrettable que cette comparaison internationale ait duré aussi longtemps ce qui a exigé une grande stabilité à long terme des instruments. Une grande partie des retards a été due au fait que plusieurs participants mettaient au point leurs installations d'étalonnage pendant la comparaison elle-même et n'étaient pas toujours en mesure d'étudier les étalons voyageurs dès leur réception.

ANNEXE E 7 \*

---

**Rapport sur la comparaison internationale de mesures  
de puissance d'un laser à argon ionisé,  
aux longueurs d'onde  $\lambda = 488$  nm et  $\lambda = 515$  nm**

(Comparaison N° 72-13b)

Par M. ENDO et T. HONDA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

---

On a récemment terminé la comparaison internationale de mesures de la puissance d'un laser à argon ionisé aux longueurs d'onde  $\lambda = 488$  nm et  $\lambda = 515$  nm. C'est au cours de sa réunion d'octobre 1972 que le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences a décidé d'organiser cette comparaison à laquelle ont pris part : l'Electrotechnical Laboratory (ETL) du Japon, laboratoire pilote; le National Bureau of Standards (NBS) des États-Unis d'Amérique; et la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de la République Fédérale d'Allemagne.

Nous donnons dans ce rapport les résultats de cette comparaison.

### 1. Étalons de transfert

Les étalons de transfert qui ont fait l'objet de la comparaison ont été fournis par l'ETL (laboratoire pilote), la PTB et le NBS. Le tableau I donne les caractéristiques de ces étalons décrits ci-après.

---

\* Traduction du document GT-RF/83-3.



TABLEAU I

*Caractéristiques des étalons de transfert*

Étalon	ETL 0,488 0,515-6B	NBS TC-36	PTB LM-5
Domaine de puissance (W)	0,03 — 1,2	$10^{-5}$ — 2	0,01 — 10
Puissance surfacique maximale (W/cm <sup>2</sup> )	40	200	300
Domaine de longueurs d'onde (nm)	visible et infrarouge proche	400-2 000	300-1 064
Ouverture (diamètre du cône absorbant en mm)	8	20	12
Temps de lecture (s)	180	120	30
Sensibilité approximative (mW/W)	6,1	15	1,2

*a) LM-5 de la PTB*

La figure 1 donne le schéma de l'étalon de transfert LM-5 de la PTB. Cet étalon est fondé sur un système calorimétrique qui convertit en énergie thermique la puissance transportée par un faisceau laser de 2 à 10 mm de diamètre, pour une radiation de longueur d'onde comprise entre 300 nm et 1 064 nm, cette puissance pouvant varier de 10 mW à 10 W. L'élément absorbant est un cône creux en cuivre. L'angle au sommet du cône est de 45°. L'intérieur du cône est plaqué de nickel noirci. Grâce aux réflexions multiples à l'intérieur du cône, plus de 99 % du rayonnement incident sont absorbés. La chaleur produite passe, au travers de la plaque sur laquelle est monté le cône, dans un puits de chaleur. A ce flux de chaleur correspond une différence de température qui agit sur une thermopile ; la f.é.m. qui en résulte

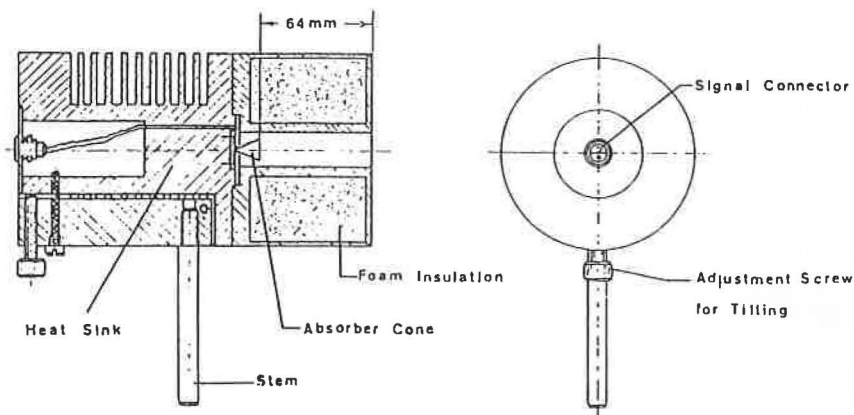


Fig. 1. — Schéma de l'étalon de transfert LM-5 de la PTB.

aux bornes de cette thermopile placées sur le panneau arrière de l'appareil est d'environ 1 mV lorsque le cône est irradié par un faisceau laser d'une puissance de 1 W. En fonction du temps, la réponse à une irradiation variant selon une fonction échelon est, à peu de chose près, exponentielle, avec une constante de temps  $\tau = 3$  s. L'impédance de sortie de la thermopile est de  $16 \Omega$ . Il était recommandé d'utiliser l'appareil à une température ambiante de 23 degrés.

b) *TC-33 du NBS*

L'étalon de transfert TC-33 du NBS, accompagné du manuel d'utilisation, est arrivé à l'ETL au début du mois de janvier 1978. Cet étalon de transfert est un instrument commercial. Des instruments de types comparables étudiés par le NBS sont utilisés de façon courante dans les programmes des mesures de vérification du NBS. L'instrument comporte un calorimètre double Modèle TC1 et un dispositif de mesure MC2 (figure 2). L'indicateur numérique monté sur le MC2 affichait les valeurs de la puissance mesurées.

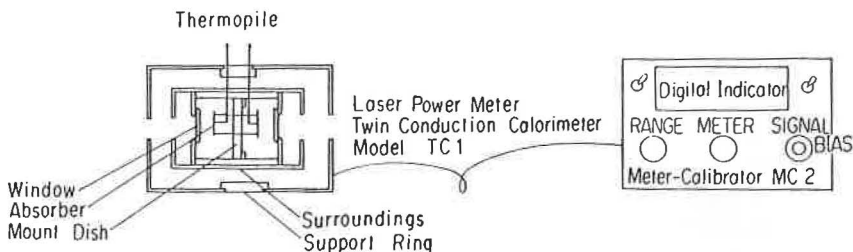
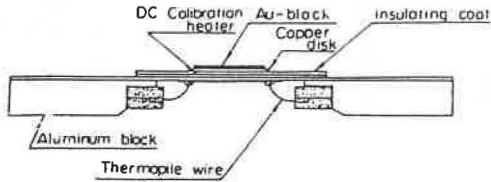


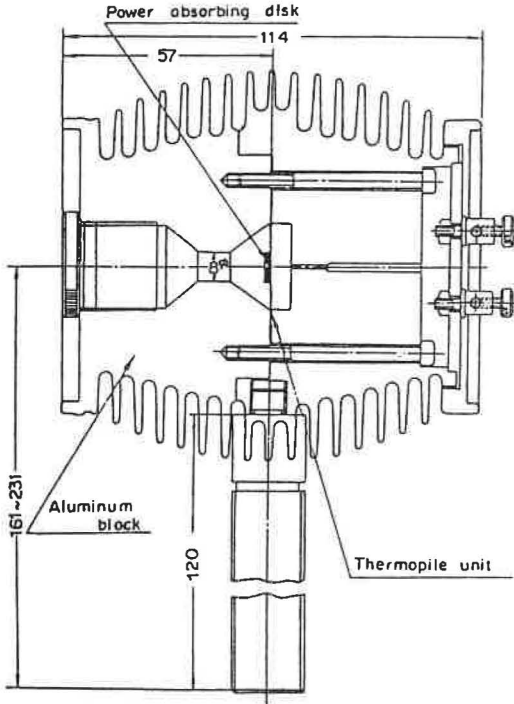
Fig. 2. Schéma du calorimètre double TC 1 et du dispositif de mesure MC 2 de l'étalon de transfert TC-33 du NBS.

c) *0,448 0,515-6B de l'ETL*

L'étalon de transfert de l'ETL est conçu pour mesurer des puissances de laser dans un domaine allant de 30 à 1 200 mW. La coupe de l'ensemble du thermocouple est représentée sur la figure 3 (a). La partie principale de l'étalon de transfert comprend un support en tantale avec des fils de thermocouples disposés en étoile. Au centre du support est fixé un absorbeur (disque d'absorption en cuivre recouvert de noir d'or) dans lequel est encastré un chauffage électrique alimenté en courant continu pour l'étalonnage. L'élément du thermocouple est logé dans la monture dont la paroi intérieure est noircie. L'ensemble est placé dans un bloc isotherme comme le montre la figure 3 (b).



(a) coupe de l'ensemble thermocouple ;



(b) monture de l'étalon de transfert de l'ETL.

Fig. 3. — Schéma de l'étalon de transfert 0,488 0,515-6B de l'ETL.

## 2. Organisation de la comparaison

Tous ces étalons de transfert ont été rassemblés au laboratoire pilote avant janvier 1978. Ils ont circulé entre les laboratoires selon le schéma en étoile représenté à la figure 4. Pour que le programme de comparaison s'exécute régulièrement et pour éviter l'influence des effets de vieillissement des étalons de transfert, il a été expressément demandé à chaque laboratoire de faire la totalité des mesures en quatre semaines. Lorsque l'étalon de transfert TC-33 est revenu au NBS en avril 1978, on a constaté que son coefficient d'étalonnage était différent de celui

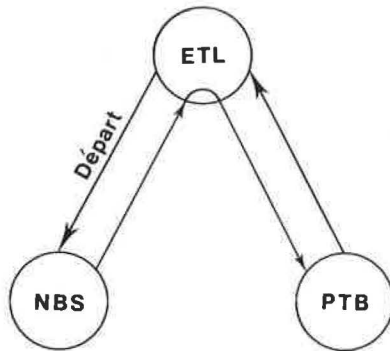


Fig. 4. — Schéma de circulation des étalons de transfert.

déterminé avant son départ du NBS. On a pensé que le TC-33 avait peut-être été endommagé pendant le transport. Le laboratoire pilote a donc accepté la proposition du NBS de remplacer le TC-33 par l'étalon de transfert TC-36, étant entendu que le NBS effectuerait les premières et les dernières mesures sur cet étalon.

Les mesures ont été faites de mars 1978 à janvier 1980. Le tableau II donne le calendrier des voyages des étalons de transfert.

TABLEAU II

*Mouvement des étalons de transfert*

	ETL	NBS	ETL	PTB	ETL	NBS
Arrivée		avril 78	oct. 78	janv. 79	juil. 79	nov. 79
Départ	mars 78	sept. 78	déc. 78	juin 79	sept. 79	
ETL 0,488 0,515-6B	○	○	○	○	○	—
NBS TC-33	○	×	—	—	—	—
NBS TC-36		○	○	○	○	○
PTB LM-5	○	○	○	○	○	—

Les mesures ont été faites à des températures variant de 21 à 23,5 degrés. L'humidité relative était de 30 à 78 %. Conformément au schéma de circulation « en étoile » le laboratoire pilote a effectué les mesures trois fois. On considère que les résultats des trois mesures sont bien comparables, car les étalons de transfert ont été suffisamment stables. Dans les calculs ultérieurs des moyennes, on a considéré ces trois déterminations comme une seule mesure.

TABLEAU III

Résultats des mesures

Étalon de transfert : ETL 0,488 0,515-6B

(a) Longueur d'onde : 488 nm

Puissance (mW)	ETL (1)		NBS		ETL (2)		PTB		ETL (3)		ETL (moy.) K #1 (W/mV)	Moyenne K #2 (W/mV)
	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$		
100	0,1621		0,1632	$2,4 \times 10^{-4}$	0,1624				0,1626			
200	0,1620	$1,5 \times 10^{-4}$	0,1632	$3,2 \times 10^{-4}$	0,1626	$2,6 \times 10^{-4}$	0,16368	$2,7 \times 10^{-4}$	0,1627	$2,0 \times 10^{-4}$	0,1624	0,1631
1 000	0,1627				0,1630				0,1632			

(b) Longueur d'onde : 515 nm

Puissance (mW)	ETL (1)		NBS		ETL (2)		PTB		ETL (3)		ETL (moy.) K #1 (W/mV)	Moyenne K #2 (W/mV)
	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$	K (W/mV)	$\sigma$		
100	0,1618		0,1629	$1,9 \times 10^{-4}$	0,1625				0,1624			
200	0,1621	$1,3 \times 10^{-4}$	0,1631	$1,1 \times 10^{-4}$	0,1626	$1,9 \times 10^{-4}$	0,16392	$1,6 \times 10^{-4}$	0,1626	$1,8 \times 10^{-4}$	0,1624	0,1631
1 000	0,1628				0,1632				0,1632			

\* 1 ETL (moy)  $K = [ETL (1) + ETL (2) + ETL (3)]/3$ .

\* 2 Moyenne  $\bar{K} = [ETL (moy) + NBS + PTB]/3$ .

TABLEAU IV

Résultats des mesures  
Étalon de transfert : PTB LM-5

(a) Longueur d'onde : 488 nm.											
Puissance (mW)	ETL (1)		NBS		ETL (2)		PTB		ETL (3)		ETL Moyenne (moy.) $\bar{K}^*2$ (W/mV)
	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	
100	0,7421		0,7549	$22 \times 10^{-4}$	0,7474				0,7393		
200	0,7454	$3,0 \times 10^{-4}$	0,7544	$31 \times 10^{-4}$	0,7479	$3,3 \times 10^{-4}$	0,7732	$10 \times 10^{-4}$	0,7407	$4,2 \times 10^{-4}$	0,7574
1 000	0,7455				0,7460				0,7410		
(b) Longueur d'onde : 515 nm											
Puissance (mW)	ETL (1)		NBS		ETL (2)		PTB		ETL (3)		ETL Moyenne (moy.) $\bar{K}^*2$ (W/mV)
	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	$K$ (W/mV)	$\sigma$	
100	0,7430		0,7519	$23 \times 10^{-4}$	0,7466				0,7391		
200	0,7453	$2,6 \times 10^{-4}$	0,7527	$25 \times 10^{-4}$	0,7474	$2,8 \times 10^{-4}$	0,7726	$9 \times 10^{-4}$	0,7402	$2,7 \times 10^{-4}$	0,7565
1 000	0,7457				0,7461				0,7404		

\* <sup>1</sup> ETL (moy)  $\bar{K} = [\text{ETL (1)} + \text{ETL (2)} + \text{ETL (3)}]/3$ .

\* <sup>2</sup> Moyenne  $\bar{K} = [\text{ETL (moy)} + \text{NBS} + \text{PTB}]/3$ .

TABLEAU V

Résultats des mesures  
Étalon de transfert : NBS TC-36

(a) Longueur d'onde : 488 nm		NBS (1)		ETL (1)		PTB		ETL (2)		NBS (2)		ETL (moy.)		NBS (moy.)		Moyenne	
Puissance (mW)	$K^{*3}$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K^{*4}$	$K^{*5}$	$\bar{K}^{*6}$	$K^{*5}$	$\bar{K}^{*6}$
100	1,037	$17 \times 10^{-4}$	1,0222		0,9515		1,035	$3,2 \times 10^{-4}$					0,9923	1,036	1,015		
200	1,037	$17 \times 10^{-4}$	1,0277	$12 \times 10^{-4}$	0,9569	$17 \times 10^{-4}$	1,0176	$21 \times 10^{-4}$	1,035	$6,4 \times 10^{-4}$							
1 000			1,0280		0,9634												
(b) Longueur d'onde : 515 nm		NBS (1)		ETL (1)		PTB		ETL (2)		NBS (2)		ETL (moy.)		NBS (moy.)		Moyenne	
Puissance (mW)	$K^{*3}$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K$	$\sigma$	$K^{*4}$	$K^{*5}$	$\bar{K}^{*6}$	$K^{*5}$	$\bar{K}^{*6}$
100	1,033	$21 \times 10^{-4}$	1,0230		0,9526		1,033	$14 \times 10^{-4}$					0,9920	1,033	1,014		
200	1,034	$19 \times 10^{-4}$	1,0251	$15 \times 10^{-4}$	0,9588	$16 \times 10^{-4}$	1,0177	$15 \times 10^{-4}$	1,032	$20 \times 10^{-4}$							
1 000			1,0266		0,9615												

\*<sup>3</sup> Coefficient d'étalonnage,  $K_m$  = Puissance du laser / « TC-36 », indication du dispositif de lecture pour l'instrument TC-36 du NBS seulement.  
 \*<sup>4</sup> ETL (moy)  $K = [ETL (1) + ETL (2)]/2$ .  
 \*<sup>5</sup> NBS (moy)  $K = [NBS (1) + NBS (2)]/2$ .  
 \*<sup>6</sup> Moyenne  $\bar{K} = [ETL (moy) + NBS (moy) + PTB]/3$ .

### 3. Résultats

Les résultats des mesures sont donnés aux tableaux III, IV et V. Dans chaque tableau les laboratoires participants figurent dans l'ordre de leur participation. Si  $P_{STD}$  est la puissance mesurée en utilisant l'équipement national de référence et  $V_{OUT}$  la tension de sortie mesurée (ou la lecture faite sur le compteur) en utilisant l'étalon de transfert, le coefficient d'étalonnage  $K_m$  se définit comme suit :

$$K_m = P_{STD}/V_{OUT}.$$

Les valeurs indiquées comme coefficient d'étalonnage  $K$  sont les moyennes arithmétiques de  $K_m$  en watts par millivolt pour l'étalon 0,488 0,515-6B de l'ETL (tableau III) et l'étalon LM-5 de la PTB (tableau IV), tandis que les valeurs  $K$  sont en watts par unité de la lecture du compteur pour l'étalon TC-36 du NBS (tableau V). L'écart-type  $\sigma$  de  $K_m/K$  a pour expression :

$$\sigma = \{\Sigma(K_m - K)^2/(N-1)\}^{1/2}$$

où  $N$  est le nombre de mesures. Les moyennes des résultats de mesure  $\bar{K}$  obtenus par le NBS, la PTB et l'ETL (moyenne) sont données dans la dernière colonne des tableaux III, IV et V. Si l'on donne un poids égal aux mesures individuelles des laboratoires participants, les valeurs moyennes constituent de bonnes estimations des coefficients d'étalonnage des étalons de transfert respectifs. D'après les tableaux III, IV et V qui donnent les résultats de mesures de puissance d'un laser à argon ionisé aux longueurs d'onde 488 nm et 515 nm, on voit que les valeurs moyennes des coefficients d'étalonnage  $K$  ne dépendent pas de façon significative de la longueur d'onde. La figure 5 montre que les différences entre les valeurs de  $K$  obtenues pour  $\lambda = 488$  nm et  $\lambda = 515$  nm vont

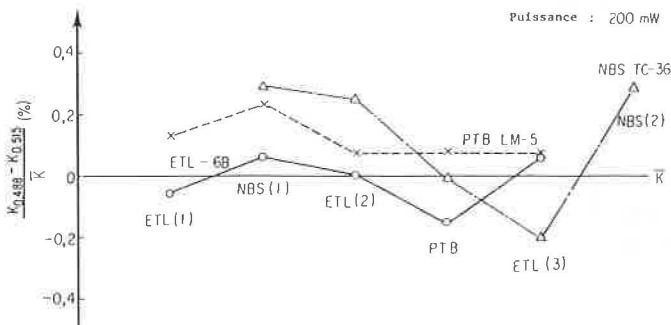


Fig. 5. — Différences entre les valeurs moyennes des coefficients d'étalonnage  $K$  pour  $\lambda = 488$  nm et  $\lambda = 515$  nm.



de + 0,06 % à - 0,15 % pour l'étalon de transfert 0,488 0,515-6B de l'ETL et de + 0,29 % à - 0,20 % pour l'étalon TC-36 du NBS. Le coefficient  $K$  de l'étalon LM-5 de la PTB est plus élevé d'environ 0,1 % à 488 nm qu'à 515 nm. Les tableaux III, IV et V montrent que la dispersion des coefficients d'étalonnage  $K$  est différente d'un étalon de transfert à l'autre. Au cours de la comparaison, le premier étalon de transfert TC-33 du NBS a été endommagé et remplacé par le TC-36 du NBS. Les mesures effectuées par la PTB sur son étalon LM-5 pendant la comparaison ont fait apparaître un changement de 6,5 % de la valeur de  $K$  mesurée avant le commencement de la comparaison. Compte tenu de ce qui vient d'être dit, les résultats de la comparaison à considérer sont surtout ceux obtenus avec l'étalon 0,488 0,515-6B de l'ETL. Ils sont reportés sur la figure 6. Les erreurs aléatoires sont

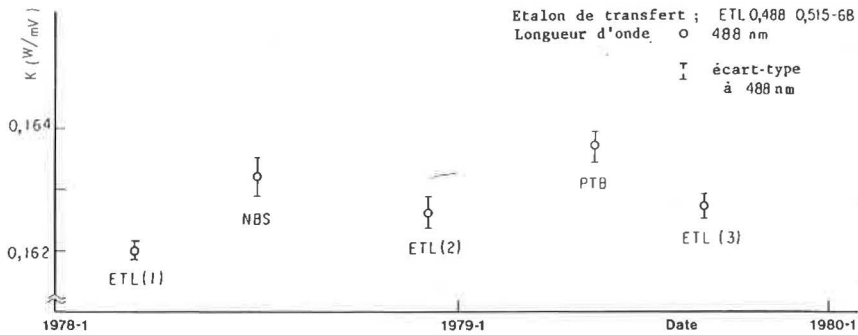


Fig. 6. — Résultats obtenus avec l'étalon de transfert 0,488 0,515-6B de l'ETL, pour  $\lambda = 488$  nm.

Les cercles indiquent les valeurs moyennes des coefficients d'étalonnage  $K$  ; les traits verticaux représentent les écarts-types sur ces valeurs.

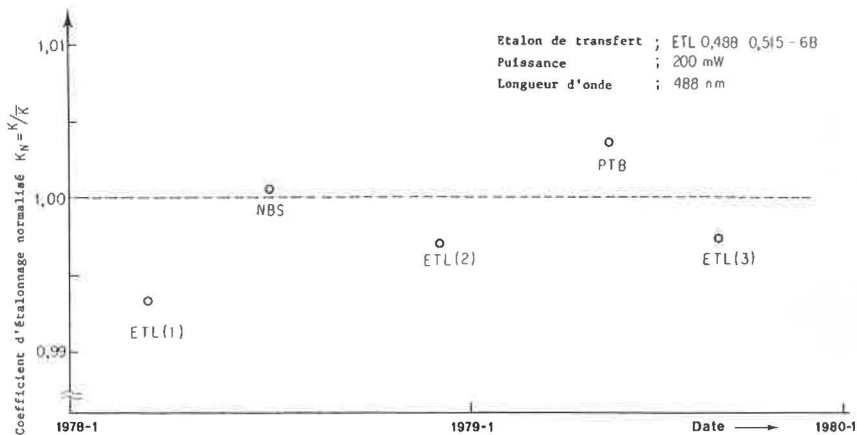


Fig. 7. — Coefficient d'étalonnage  $K_N$  normalisé.

exprimées par la dispersion des résultats individuels rapportée aux valeurs  $\bar{K}$  données dans les dernières colonnes du tableau III. La dispersion des résultats obtenus par les laboratoires participants avec l'étalon 0,488 0,515-6B de l'ETL apparaît sur la figure 6. Compte tenu de la stabilité apparente de 0,488 0,515-6B de l'ETL pendant plus de 18 mois et de l'accord entre les résultats des laboratoires participants, on peut considérer cette comparaison comme bonne. La figure 7 donne le coefficient d'étalonnage  $K_N$  normalisé. Il convient de remarquer que les résultats des trois laboratoires concordent à 0,8 % près pour  $\lambda = 488 \text{ nm}$  et à 0,9 % près pour  $\lambda = 515 \text{ nm}$ . On constate que les résultats d'un même laboratoire sont uniformément trop faibles ou trop élevés. Il paraît raisonnable de penser que cela traduit l'existence d'une erreur systématique sur les étalons conservés par chaque laboratoire.

Nous en concluons que la comparaison internationale de mesures de puissance d'un laser à argon ionisé a eu lieu avec succès entre les laboratoires participants : NBS, PTB et ETL.

---

ANNEXE E 8

---

**Comparaison internationale de  
puissance à 15,0 GHz : efficacité  
de montures bolométriques sur guide d'ondes R 140**

(Comparaison N° 75-A1)

par H. BAYER

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Rép. Féd. d'Allemagne)

---

Laboratoire pilote : Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

Participants :

Conseil National de Recherches (NRC), Canada  
Laboratoire Central des Industries Électriques (LCIE), France  
National Bureau of Standards (NBS), États-Unis d'Amérique  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Rép. Féd. d'Alle-  
magne  
Royal Signals and Radar Establishment (RSRE), Royaume-Uni

**Introduction**

Lors de sa quatrième réunion au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), du 19 au 21 mai 1975, le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du Comité Consultatif d'Électricité (CCE) a décidé de procéder à une comparaison internationale de puissance en guide d'ondes R 140 à la fréquence de 15 GHz. La grandeur à mesurer était l'efficacité réelle d'une monture bolométrique, efficacité définie par le rapport suivant [2] :

$$n_{\text{eff}} = \frac{P}{P_{\text{RF}}}$$

où  $P$  est la valeur de la puissance fournie, en courant continu, pour provoquer le même échauffement de l'élément absorbant de la monture que la puissance absorbée en radiofréquence à laquelle on la substitue, et  $P_{RF}$  est la valeur de la puissance en radiofréquence absorbée dans la monture.

Deux des participants (le RSRE et la PTB) ont fourni trois paires d'étalons de transfert. Deux de ces paires étaient des montures à fil de platine et une paire consistait en montures à thermistance.

Une paire de montures à fil a été endommagée durant le circuit (un fil s'est rompu et les brides ont été légèrement déformées). Cette paire fut en conséquence remplacée par une paire identique, qui a été mesurée pendant le second circuit, au cours duquel des brides ont encore été déformées.

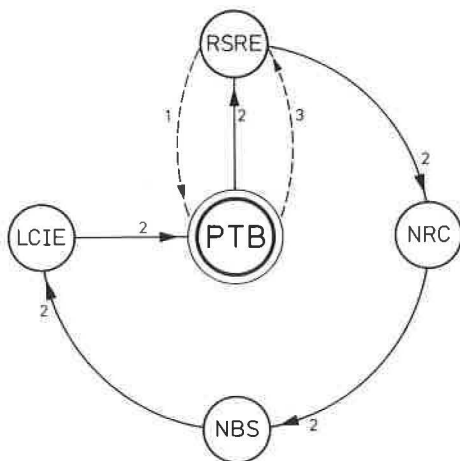


Fig. 1. — Schéma de circulation des étalons de transfert.

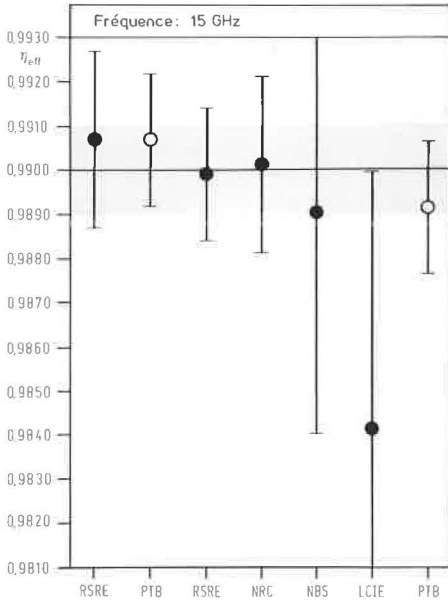
La figure 1 montre le trajet suivi par les étalons de transfert au cours de la comparaison qui a commencé en août 1978 et s'est achevée en juin 1982.

### Étalons de transfert et méthodes de mesure

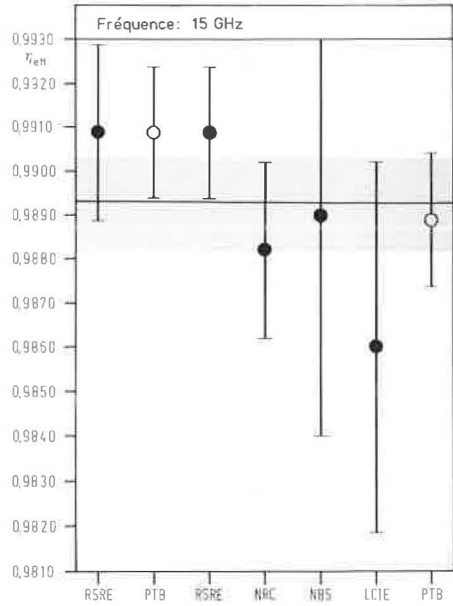
Les étalons de transfert qui ont circulé sont les suivants :

- deux montures bolométriques à fil de platine accordées, UK-J 21 et UK-J 22, mises au point et fabriquées au RSRE ;
- deux montures bolométriques à fil de platine accordées, PTB-2.22-460-1 et PTB-2.22-460-2, mises au point et fabriquées à la PTB ; ces

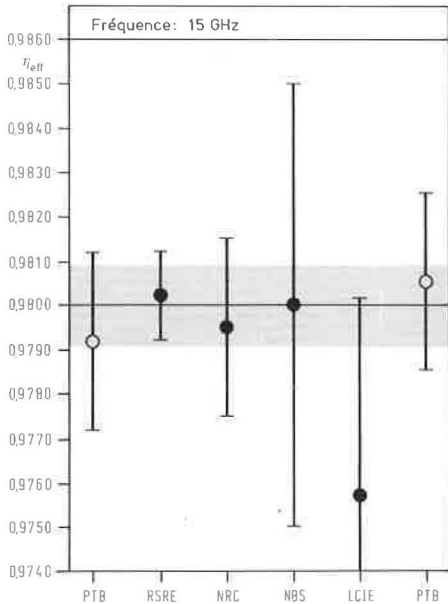
a) Etalon de Transfert NPL-J 21



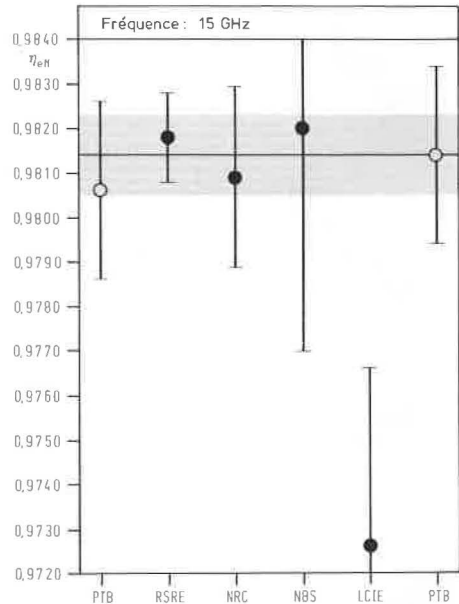
b) Etalon de Transfert NPL-J 22



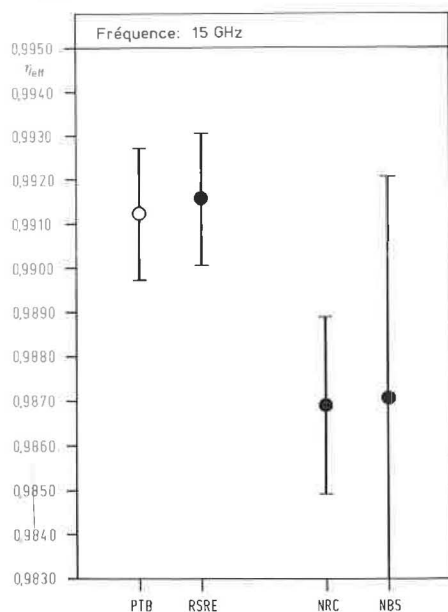
c) Etalon de Transfert PTB 222-432-5



d) Etalon de Transfert PTB 222-432-6



e) Etalon de Transfert PTB 2.22-460-1



f) Etalon de Transfert PTB 2.22-460-2

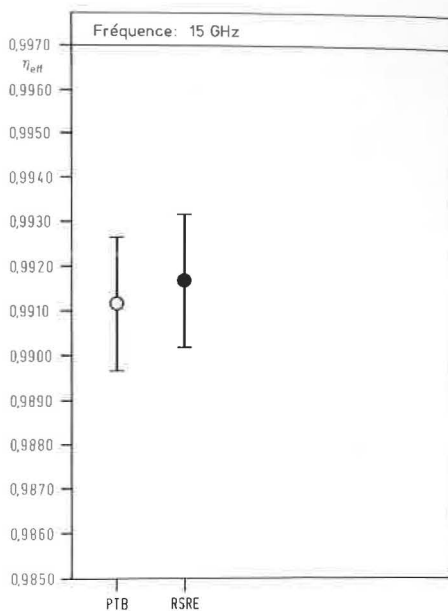


Fig. 2a à 2f. — Résultats des mesures de l'efficacité réelle ( $\eta_{eff}$ ) des montures bolométriques étalons de transfert (circuit principal). Pour les montures stables UK-J 21, UK-J 22, PTB-2.22-432-5 et PTB-2.22-432-6, la valeur moyenne pondérée calculée et son intervalle de confiance (partie hachurée) sont indiqués.

montures ont été remplacées par deux montures identiques, PTB-2.22-460-3 et PTB-2.22-460-4, pour le second circuit ;

— deux montures bolométriques à thermistance non accordées, de fabrication industrielle, du type HP 486 A, PTB-2.22-432-5 et PTB-2.22-432-6, fournies par la PTB.

Les montures à fil de la PTB ont été construites de façon à avoir une masse particulièrement faible et des brides minces. Pour fixer les brides sur le corps du guide d'ondes, on les a soudées pour la 460-1 et la 460-2, alors que pour la 460-3 et la 460-4 on a utilisé un adhésif métallique spécial.

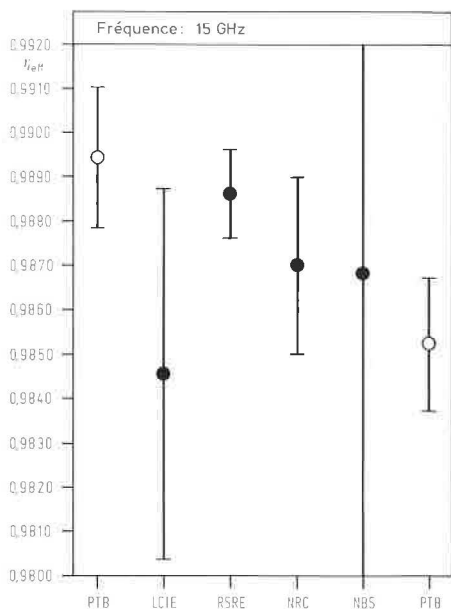
Dans la plupart des cas la puissance en radiofréquence a été étalonnée en fonction des représentations nationales du volt et de l'ohm des laboratoires en utilisant un micro-calorimètre du type décrit par Mac Pherson et Kerns [1], perfectionné par Engen [2] [3] (partiellement modifié et amélioré). Le LCIE et la PTB ont introduit les étalons de transfert directement dans le micro-calorimètre [4 à 10] ; le RSRE n'a procédé de cette façon que pour mesurer les montures à fil. Le NRC a utilisé un calorimètre semi-automatique avec un temps de réponse assez court [11]. Au NBS on a utilisé un dispositif à six portes [12], [13], [14], pour comparer les étalons de transfert à un étalon de travail

lui-même étalonné dans un micro-calorimètre du type Engen. Pour étalonner les montures à thermistance le RSRE a utilisé un milliwattmètre Hewlett-Packard 432 A en liaison avec un réflectomètre accordé. L'étalon de travail était un bolomètre étalon national. Une description plus détaillée des méthodes utilisées est donnée dans le rapport définitif complet publié comme Monographie BIPM [15].

### Résultats

Les valeurs de  $n_{\text{eff}}$  et leurs incertitudes, pour un niveau de confiance de 95 %, sont représentées sur les figures 2a à 2f pour le circuit principal et sur les figures 3a et 3b pour le circuit qui a été répété avec les montures à fil PTB-2.22-460-3 et PTB-2.22-460-4. Pour les montures de transfert UK J-21, UK J-22, PTB-2.22-432.5 et PTB-2.22-432-6, le laboratoire pilote a calculé la valeur la plus probable en effectuant une moyenne pondérée. Ces valeurs moyennes calculées, avec leurs intervalles de confiance, sont portées sur les figures 2a à 2d.

a) Etalon de Transfert PTB 2 22-460-3



b) Etalon de Transfert PTB 2 22-460-4

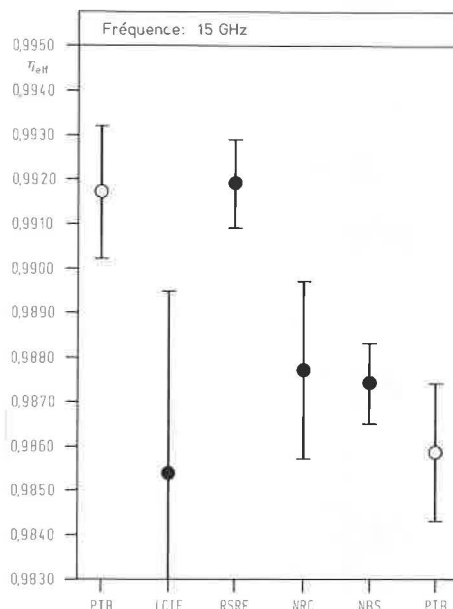


Fig. 3a et 3b. — Résultats des mesures de l'efficacité réelle ( $n_{\text{eff}}$ ) des montures bolométriques étalons de transfert (second circuit).

Les brides de ces deux montures ont subi des déformations.

Comme les montures de la série PTB-2.22-460 ont présenté des instabilités, il n'a pas été tenu compte des résultats obtenus avec ces étalons de transfert. Pour un examen de toutes les valeurs mesurées et calculées communiquées par les participants et pour une discussion plus détaillée, voir [15].

### Conclusions

Pour les étalons de transfert UK J-21/J-22 et PTB-2.22-432-5/6 on a constaté un assez bon accord entre les résultats du RSRE, du NRC, du NBS et de la PTB. La dispersion maximale de toutes les valeurs mesurées est de  $\pm 0,001$  pour les étalons UK J-21, PTB-2.22-432-5 et PTB-2.22-432-6 ; pour l'étalon UK J-22, tous les résultats donnés par les laboratoires mentionnés ci-dessus varient entre  $\pm 0,0015$ . Il semblerait que la valeur de cet étalon se soit légèrement modifiée entre les mesures faites au RSRE et celles du NRC.

Pour les étalons instables de la série PTB-2.22-460, une variation apparemment plus grande est survenue entre les deux séries successives de mesures du RSRE et du NRC. Lorsque ces étalons de transfert sont revenus dans le laboratoire pilote, on a constaté de légères déformations des brides (sur le 460-1 et le 460-2), ainsi qu'un déplacement, de l'ordre d'une fraction de millimètre, du corps du guide d'onde par rapport au plan des brides (sur le 460-3 et le 460-4). On suppose que ce sont des pressions ou des forces exercées sur les brides au moment de la connexion avec le dispositif étalon (peut-être lorsque l'on utilise des cales déformables) qui ont occasionné ces irrégularités.

Il en résulte que la méthode de construction utilisée pour les montures de la série 460 ne convient pas pour des étalons de transfert utilisés dans les comparaisons internationales.

### Bibliographie

- [1] MAC PHERSON A. C., KERNS D. M., A microwave microcalorimeter. *Rev. Sci. Instrum.*, **26**, 1955, p. 27.
- [2] ENGEN G. F., A refined X-band microwave microcalorimeter. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **63C**, 1959, pp. 77-82.
- [3] ENGEN G. F., A self-balancing direct-current bridge for accurate bolometer power measurements. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **59**, 1957, pp. 101.
- [4] BLOUET J., La métrologie en haute fréquence. *Rev. Gén. Élect.*, **78**, 1969, pp. 395-397.
- [5] BLOUET J., Étalons de puissance HF, *Bulletin BNM*, **36**, 1979, pp. 87-92.
- [6] ÉRARD L., Étalons primaires en haute fréquence. *Rev. Gén. Élect.*, **85**, 1976, pp. 899-900.



- [7] BAYER H., Mikrokalorimeter-Präzisionsmeßplatz zur Bestimmung des effektiven Wirkungsgrades. vom Bolometer-Meßkopf im Frequenzbereich von 8,2 GHz bis 12,4 GHz, *PTB-Mitteilungen*, **80**, 1970, pp. 261-269.
- [8] BAYER H., Aufbau von Präzisionsmeßplätzen für Leistung und Dämpfung. *Kleinheubacher Berichte (U.R.S.I.)*, **16**, 1973, pp. 41-58.
- [9] BAYER H., JANIK D., Die Unsicherheiten der PTB-Meßplätze für HF-Leistung, Dämpfung und Spannung. *Kleinheubacher Berichte (U.R.S.I.)*, **18**, 1975, pp. 57-74.
- [10] BAYER H., Neuere Ergebnisse der Dämpfungs- und Leistungsmessung im Hochfrequentz- und Mikrowellenbereich mit Normalmeßeinrichtungen in Koaxial- und Hohlleitertechnik. *Kleinheubacher Berichte (U.R.S.I.)*, **23**, 1980, pp. 89-98.
- [11] CLARK R. F., A semiautomatic calorimeter for measurement of effective efficiency of thermistor mounts. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-23**, 1974, pp. 403-408.
- [12] WEIDMAN M. P., A semiautomatic six-port for measuring millimeter-wave power and complex reflection coefficient. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **MTT-25**, 1977, pp. 1083-1085.
- [13] ENGEN G. F., The six-port reflectometer — an alternative network analyzer. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **MTT-25**, 1977, pp. 1075-1079.
- [14] ENGEN G. F. An improved circuit for implementing the six-port techniques for microwave measurements. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **MTT-25**, 1977, pp. 1080-1083.
- [15] BAYER H. Final Report of the International Intercomparison of RF power in waveguide R 140 at 15 GHz. *BIPM Monographie* **84/3**, 1984, 41 pages.

## ANNEXE E 9

---

### **Comparaison internationale de tension sur ligne coaxiale à 100 MHz, 250 MHz, 500 MHz et 1 000 MHz**

(Comparaison N° 75-A5)

par H. BAYER et D. JANIK

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Rép. Féd. d'Allemagne)

---

Laboratoire pilote : Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).

Participants :

Institut de recherche scientifique (VNIIM), U.R.S.S..

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (ASMW),  
Rép. Dém. Allemande.

CSIRO, Division of Applied Physics (NML), Australie.

Electrical Quality Assurance Directorate (EQD), Royaume-Uni.

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

Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), Hongrie.

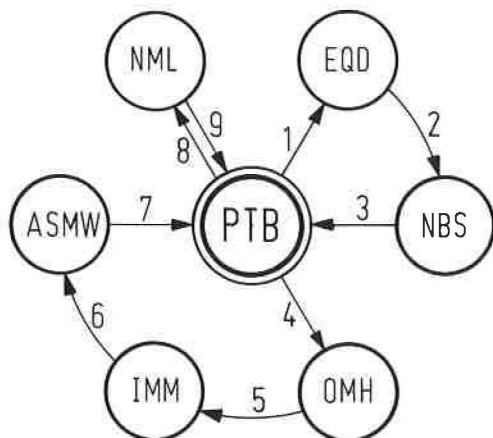
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Rép. Féd. d'Allemagne.

### **Introduction**

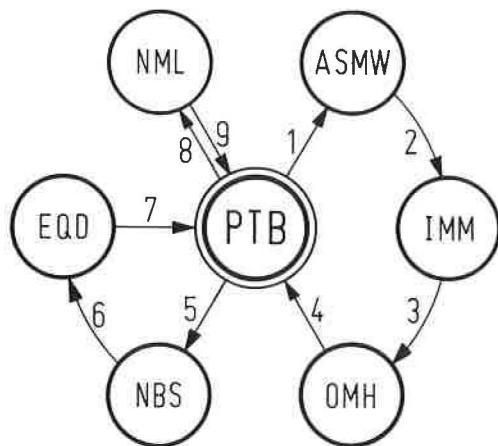
Lors de sa quatrième réunion au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), du 19 au 21 mai 1975, le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du Comité Consultatif d'Électricité (CCE) a décidé d'entreprendre une comparaison internationale de tension sur ligne coaxiale aux fréquences de 100 MHz, 250 MHz, 500 MHz et 1 000 MHz. Quatre étalons de transfert ont été fournis, trois par le laboratoire pilote (PTB) et un par l'OMH. La comparaison a débuté en septembre 1976 et s'est achevée en mars 1982.

Les deux types d'étalons de transfert utilisés (montures à résistance et convertisseurs thermiques) ont fait l'objet des deux circuits de mesure

indépendants schématisés sur la figure 1. Le laboratoire pilote a contrôlé la stabilité à long terme des étalons de transfert; quatre mesures séparées ont été faites sur chaque étalon, l'intervalle moyen entre deux contrôles successifs étant d'environ un an et demi. L'élément thermique de l'étalon hongrois OMH-1 a brûlé juste avant que cet étalon soit mesuré à nouveau pour la dernière fois. Un nouvel élément thermique a été monté, mais il n'est pas possible de tenir compte de cette dernière mesure pour l'évaluation des résultats de la comparaison.



a) Premier circuit (montures à résistance étalons de transfert PTB-I et PTB-II).



b) Second circuit (convertisseurs thermiques étalons de transfert PTB-III et OMH-1).

Fig. 1. — Schéma de circulation des étalons de transfert au cours de la comparaison internationale GT-RF 75 A-5.

## Étalons de transfert et méthodes de mesure

Les deux montures coaxiales à résistance, désignées PTB-1 et PTB-2, ont été fournies par le PTB [1].

Fondamentalement elles sont de construction identique, les seules différences étant que l'impédance de ligne et la résistance d'adaptation sont de  $50 \Omega$  pour PTB-1 et de  $75 \Omega$  pour PTB-2. Chaque monture comporte un circuit en pont comprenant deux résistances sensibles à la température. Ces résistances servent à équilibrer le pont, d'abord lorsqu'on applique la tension en radiofréquence, puis lorsqu'on la remplace par une tension continue dans le plan du connecteur d'entrée. Une batterie de 6 V en courant continu et un détecteur de zéro approprié étaient fournis par chaque participant pour compléter le circuit en pont. Chaque étalon était entouré d'une gaine parcourue par un courant d'eau à température stabilisée. Les connecteurs d'entrée étaient du type GR-900, leurs plans avant constituant les plans de référence pour les comparaisons de tensions.

Les étalons de transfert PTB-3 et OMH-1 étaient des convertisseurs thermiques [2] comportant un branchement en T à l'intérieur de leur boîtier. La sortie de PTB-3 était du type N-mâle et celle de OMH-1 du type GR-900. Les interfaces de ces connecteurs étaient utilisées comme plans de référence pour la comparaison des tensions.

La grandeur à mesurer était la différence relative courant alternatif-courant continu, définie par

$$\delta = \frac{U_{AC} - U_{DC}}{U_{DC}},$$

$U_{AC}$  étant, soit la valeur de la tension alternative (RF) suffisamment constante appliquée dans le plan d'entrée du connecteur de la monture à résistance, soit la tension RF sortant du plan de référence du connecteur de sortie d'un convertisseur thermique dont l'entrée est connectée à la sortie d'un générateur RF stable ;  $U_{DC}$  étant la moyenne des valeurs absolues des tensions continues  $U_{DC}^+$  et  $U_{DC}^-$  de polarités opposées substituées à la tension RF.

$$U_{DC} = \frac{1}{2} (U_{DC}^+ + U_{DC}^-).$$

La principale méthode de mesure pour déterminer  $\delta$  était la suivante : [3], [4], [5], [6], [7].

La tension en radiofréquence à utiliser pour déterminer  $\delta$  était produite et mesurée au moyen des dispositifs étalons propres à chaque laboratoire. Cette tension était appliquée dans le plan d'entrée du connecteur de la monture à résistance étalon de transfert PTB-1 ou PTB-2 et le pont incorporé dans chacun de ces étalons était équilibré.

On remplaçait alors la tension en radiofréquence par une tension continue donnant la même position d'équilibre du pont.

En ce qui concerne les étalons de transfert PTB-3 et OMH-1 qui étaient des convertisseurs thermiques, il faut considérer que la tension à comparer est produite dans le plan de référence de leurs connecteurs de sortie, qui doivent par conséquent être connectés avec le dispositif étalon.

La plupart des laboratoires (ASMW, EQD, NML, PTB, VNIIM) ont utilisé comme étalons de tension en radiofréquence des étalons de puissance coaxiaux [4] ayant des impédances d'entrée bien connues. Si des étalons primaires compatibles avec les deux types de connecteurs (GR-900 et N) n'étaient pas disponibles, un adaptateur était intercalé ; on en tenait compte en appliquant une correction calculée en utilisant les équations relatives aux lignes de transmission (cela a été le cas, par exemple, pour connecter l'étalon de transfert PTB-3 avec les dispositifs primaires de l'EQD et du NML équipés de connecteurs GR-900). Pour mesurer PTB-1 et PTB-2, l'EQD, la PTB et le VNIIM ont utilisé des connections spéciales en T pour relier les étalons de transfert à mesurer au dispositif étalon primaire.

L'ASMW, le NBS et le NML ont comparé les étalons de transfert à un étalon de travail, dont la valeur était connue par rapport à l'étalon primaire. Le VNIIM a utilisé en plus une méthode de détection de tension de crête [8], [9].

### Résultats des mesures

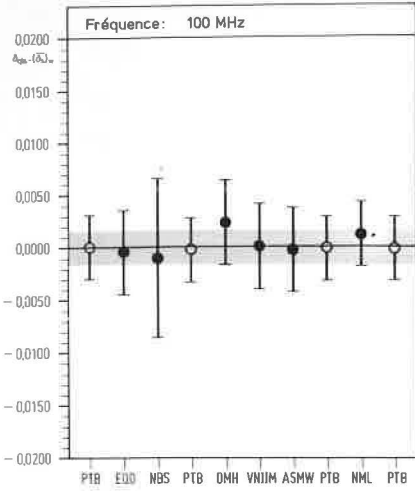
Les principaux résultats de ces comparaisons sont représentés sur les figures 2a à 2p. Toutes les valeurs mesurées par les participants sont données par rapport à la valeur la plus probable calculée comme moyenne pondérée de tous les résultats pour chaque étalon de transfert. Les incertitudes estimées correspondent à un intervalle de confiance de  $3\sigma$  (99,73 %).

TABLEAU I

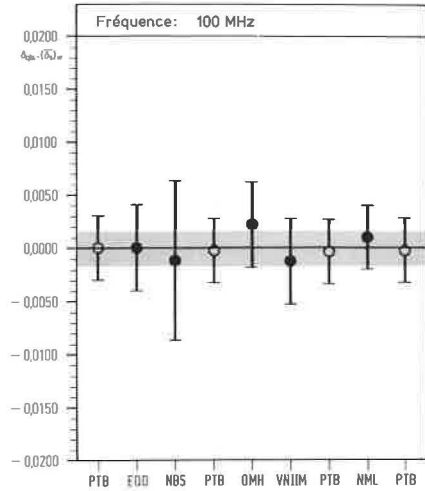
*Valeurs moyennes pondérées pour les étalons de transfert qui ont circulé  
(Grandeur mesurée :  $\delta$ )*

Fréquence (MHz)	Valeurs moyennes pondérées			
	PTB-1	PTB-2	PTB-3	OMH-1
100	0,0022 ± 0,0016	0,0023 ± 0,0016	0,0102 ± 0,0015	0,0069 ± 0,0014
250	0,0044 ± 0,0017	0,0037 ± 0,0018	0,0534 ± 0,0019	0,0286 ± 0,0018
500	0,0039 ± 0,0023	0,0079 ± 0,0022	0,01165 ± 0,0023	0,0193 ± 0,0023
1 000	0,0025 ± 0,0030	0,0069 ± 0,0026	0,2090 ± 0,0029	0,1147 ± 0,0029

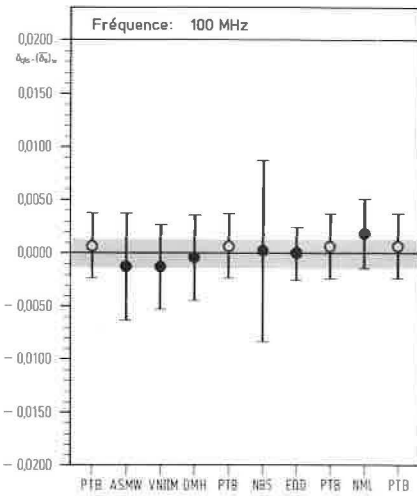
a) Etalon de Transfert: PTB-I



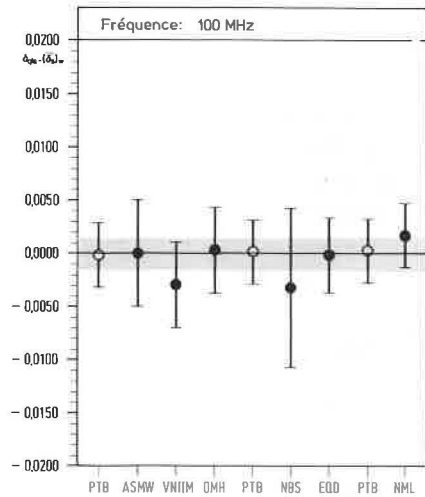
b) Etalon de Transfert: PTB-II



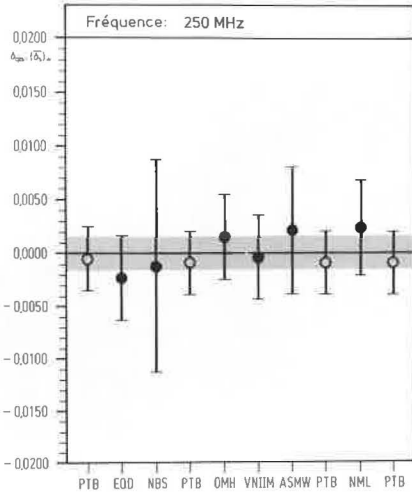
c) Etalon de Transfert: PTB-III



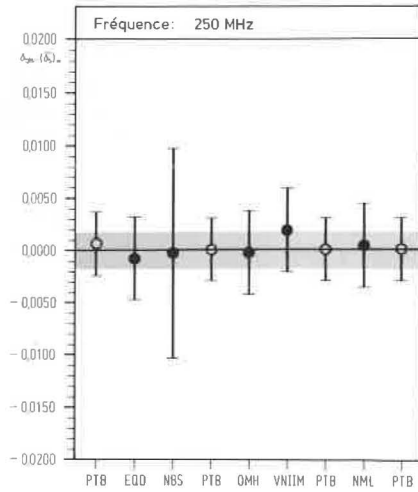
d) Etalon de Transfert: OMH-I



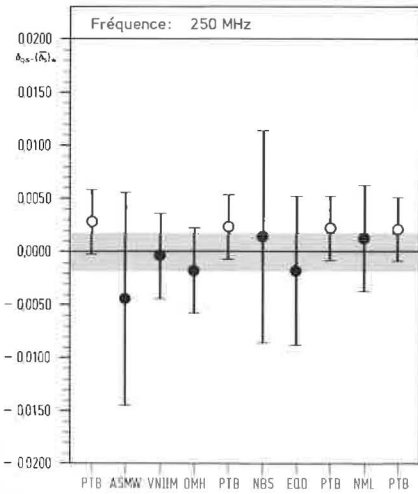
e) Étalon de Transfert: PTB-I



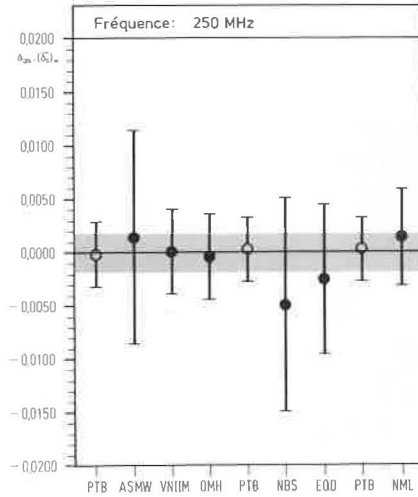
f) Étalon de Transfert: PTB-II



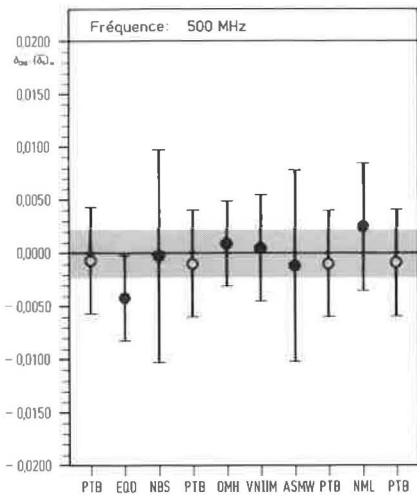
g) Étalon de Transfert: PTB-III



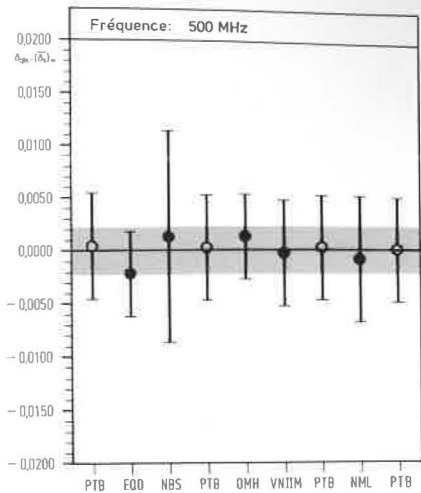
h) Étalon de Transfert: OMH-I



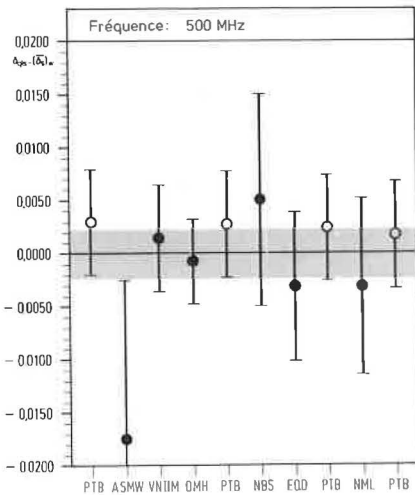
i) Etalon de Transfert: PTB-I



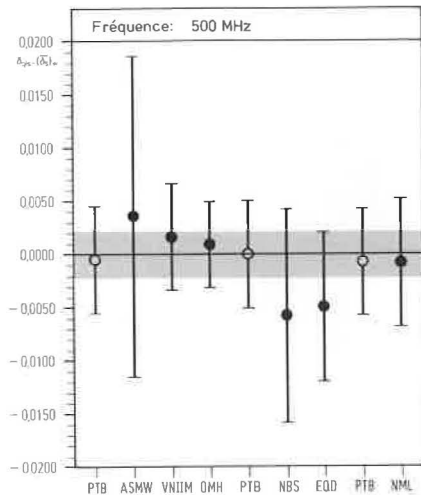
l) Etalon de Transfert: PTB-II



k) Etalon de Transfert: PTB-III

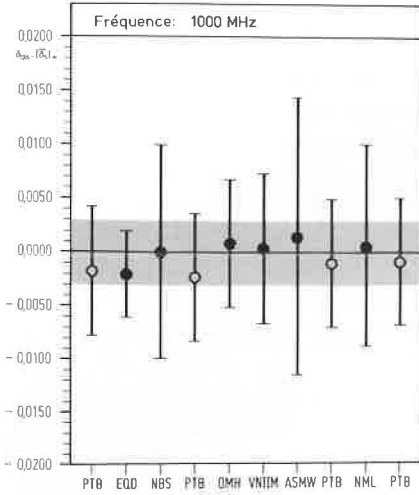


l) Etalon de Transfert: OMH-I

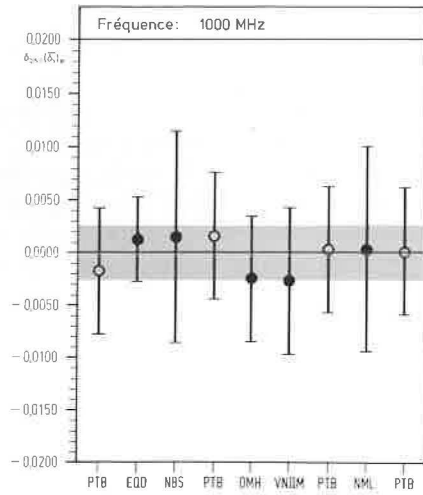




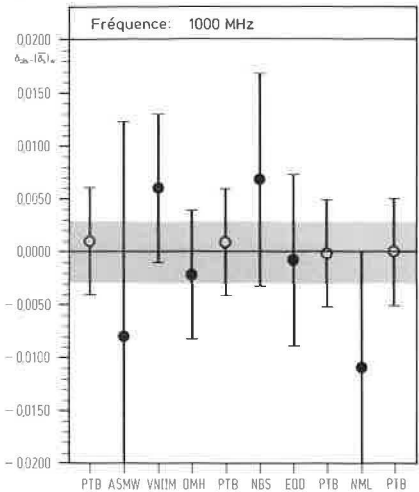
m) Etalon de Transfert: PTB-I



n) Etalon de Transfert: PTB-II



o) Etalon de Transfert: PTB-III



p) Etalon de Transfert: OMH-I

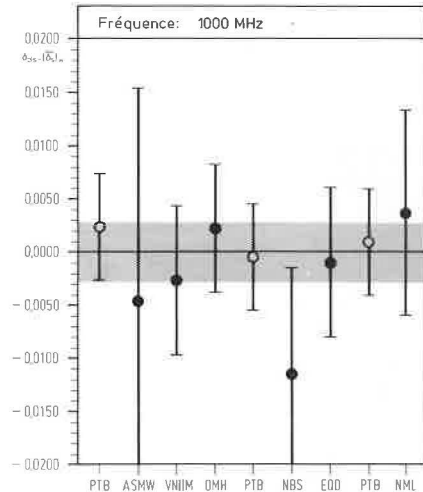


Fig. 2a à 2p. — Résultats des mesures de la différence relative courant alternatif-courant continu  $\delta = \delta_{q|s} \pm \Delta\delta$  communiqués par les participants.

$\delta_{q|s}$  est la valeur mesurée par le laboratoire  $s$  au cours de la période de mesure  $q$  ( $q \neq 1$  seulement pour le laboratoire pilote)  $(\delta_s)_w$  est la valeur moyenne pondérée pour l'étalon  $s$ .

Toutes les différences sont calculées par rapport à la valeur moyenne pondérée. L'intervalle de confiance de la valeur moyenne pondérée est indiqué en hachuré.

Les résultats des mesures de tous les participants sont en bon accord compte tenu des incertitudes indiquées. Pour les fréquences les plus basses, 100 MHz et 250 MHz, les écarts entre les valeurs mesurées et la valeur moyenne pondérée, et les écarts entre ces valeurs elles-mêmes sont dans bien des cas nettement inférieurs aux limites données par les incertitudes. Pour aucun des dispositifs on n'a pu constater d'écarts systématiques qui vailent la peine d'être mentionnés.

Les écarts moyens par rapport à la valeur moyenne pondérée augmentent avec la fréquence. Pour l'étalon de transfert PTB-3, le seul à être équipé d'un connecteur de type N, les écarts sont plus grands que pour les autres étalons.

La stabilité à long terme, observée sur plus de cinq ans, était bonne pour tous les étalons de transfert. Leur dérive était petite par rapport aux incertitudes des mesures.

La comparaison a présenté un accord remarquablement bon entre les résultats des mesures de tous les participants. Pour une discussion plus détaillée et une présentation de toutes les valeurs mesurées et calculées, on peut se reporter au rapport final détaillé publié comme Monographie BIPM [10].

### Bibliographie

- [1] HARRIS, I. A., The theory and design of coaxial mounts for the frequency band 0 to 4 000 MHz. *Proc. Inst. El. Eng.*, **103C**, 1956, pp. 1-10.
- [2] HERMACH, F. L. and WILLIAMS, E. S., Thermal voltage converters for accurate voltage measurements to 30 MHz. *Trans. AIE (Communications and Electronics)*, **79**, 1960, pp. 200-206.
- [3] CLARK, R. F. and JURKUS, A. P., Calibration of thermal transfer standards of RF voltage. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-16**, 1967, pp. 232-237.
- [4] JANIK, D., Spannungsmessung im Frequenzbereich bis 1 GHz. *PTB-Bericht PTB-E-10*, 1978, pp. 127-139. Braunschweig, Physikalisch-Technische Bundesanstalt.
- [5] JANIK, D., Voltage accurate measuring methods — Results of an experimental comparison. *IEE Conf. Publ. N° 152, Euromeas 1977*, pp. 27-28.
- [6] SELBY, M. C., Bolometric voltage and current standard for high and microwave frequencies. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **72C**, 1968, pp. 61-79.
- [7] AKNAEV, R. F., FEDEROV, A. M., GALAKHOVA, O. P., KRESTOVSKY, V. V. and ROZHDESTVENSKAYA, T. B., Standard apparatus for the volt realization in the frequency range from 20 MHz to 1 500 MHz. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-25**, 1976, pp. 538-541.

- [8] FEDEROV, A. M., Slide back voltmeters. *Izdatelstro Standartov*, Moscow 1976.
  - [9] HUDSON, P. A. and ONDREJKA, A. R., Measurement standards for low and medium peak pulse voltages. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **70C**, 1966, pp. 13-18.
  - [10] BAYER, H. and JANIK, D., Final report of the international intercomparison of voltage at 100 MHz, 250 MHz, 500 MHz and 1 000 MHz (GT-RF 75 A-5, detailed report), *BIPM Monographie*, **84/1**, 1984, 57 pages.
-

ANNEXE E 10 \*

---

**Comparaison internationale  
de coefficients de réflexion à 10 GHz**

(Comparaison N° 75-A12)

par F. L. WARNER

Royal Signals and Radar Establishment (Royaume-Uni)

---

**Résumé.** Cinq étalons voyageurs à guide d'ondes à hauteur réduite, destinés à fournir des rapports d'ondes stationnaires situés entre 1,02 et 1,2, ont été mesurés à 10 GHz par les laboratoires nationaux d'étalonnage du Royaume-Uni, des États-Unis d'Amérique, d'Australie, du Japon, d'Italie et du Canada. Les valeurs moyennes obtenues par les six participants s'échelonnent de 1,018 2 à 1,021 2 pour le plus faible et de 1,197 6 à 1,203 1 pour le plus fort.

## 1. Introduction

La comparaison internationale des rapports d'ondes stationnaires (R.O.S.) à 10 GHz effectuée sous les auspices du Comité Consultatif d'Électricité (CCE) du Comité International des Poids et Mesures est maintenant achevée. Les six laboratoires suivants y ont participé :

1. Royal Signals and Radar Establishment (RSRE), Royaume-Uni.
2. National Bureau of Standards (NBS), États-Unis d'Amérique.
3. CSIRO, Division of Applied Physics (NML), Australie.
4. Electrotechnical Laboratory (ETL), Japon.
5. Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), Italie.
6. Conseil National de Recherches (NRC), Canada.

---

\* Traduction d'un abrégé du document GT-RF/83-8.

Cette comparaison internationale a débuté en 1978 et s'est achevée en 1982. Le RSRE a été le laboratoire pilote. Un guide d'ondes rectangulaire de dimensions internes 22,860 mm × 10,160 mm (0.9000" × 0.4000"), désigné sous la référence WG16 au Royaume-Uni, WR90 aux États-Unis d'Amérique et R100 par la CEI, a été spécifié pour servir de référence dans chaque équipement de mesure. Cinq étalons voyageurs en guide d'ondes à hauteur réduite [1], équipés de charges coulissantes, ont été utilisés dans cette expérience. Quatre ont été fournis par le RSRE et un par le NBS. Les étalons voyageurs du RSRE étaient conçus pour donner des rapports d'ondes stationnaires voisins de 1,02, 1,05, 1,1 et 1,2. Ces quatre étalons ont été désignés sous la référence RSRE 1,02, RSRE 1,05 etc., et ont suivi le schéma de circulation suivant :

RSRE → NBS → NML → ETL → IEN → RSRE → NRC → RSRE.

L'étalon voyageur américain, désigné sous le nom NBS B, donne un rapport d'ondes stationnaires proche de 1,19 et a suivi le schéma de circulation suivant :

NBS → NML → ETL → IEN → RSRE → NRC → NBS.

## 2. Les étalons voyageurs

Les quatre étalons voyageurs du RSRE sont des guides d'ondes rectangulaires de 304,8 mm (12") de long, de hauteur réduite, de largeur normale, obtenus par dépôt électrolytique sur des mandrins en acier inoxydable et dorés par la suite. Ils comportent des charges coulissantes Eccosorb MF117 actionnées par des micromètres et effilées de telle sorte que pour chaque étalon le sommet de la charge se situe à mi-chemin entre les deux côtés larges et à mi-chemin entre le centre et l'un des côtés étroits. De toutes les configurations que nous avons expérimentées, celle-ci a donné les meilleurs résultats. Ces étalons voyageurs du RSRE ont des brides circulaires obtenues par un dépôt électrolytique. Grâce à cette technique de fabrication, nous n'avons plus besoin de soudures ni d'adhésif entre les guides d'ondes et les brides associées. Ces brides circulaires sont compatibles avec les brides carrées normalisées UG-39/U. Elles comportent, dans des pièces rapportées en acier inoxydable, deux trous de centrage de 3,175 mm (0.1250") placés à 45,720 mm (1.8000") de part et d'autre de l'axe de symétrie du guide sur une perpendiculaire aux côtés larges. Puisque de tels trous de centrage ne sont largement utilisés qu'au RSRE, leur utilisation n'a pas été rendue obligatoire dans cette comparaison internationale. Les quatre trous normalisés de chaque bride ont aussi

été positionnés avec un soin extrême. La finition des surfaces de contact de ces brides avait été, à l'origine, poussée jusqu'à l'obtention d'un poli optique mais, à la fin de la comparaison internationale, des imperfections mineures provoquées par un usage normal étaient visibles sur toutes. Les hauteurs internes des quatre étalons du RSRE (en ordre croissant du rapport d'ondes stationnaires) étaient alors respectivement de : 9,961 9 mm (0.3922"), 9,677 4 mm (0.3810"), 9,235 4 mm (0.3636") et 8,465 8 mm (0.3333"), avec une tolérance de  $\pm 0,002 5$  mm ( $\pm 0,0001$ ") dans chaque cas.

L'étalon voyageur du NBS est semblable à ceux fournis par le RSRE. C'est un guide d'ondes en cuivre électrolytique non plaqué de 0,25 m (10") de long, de hauteur réduite et de largeur normale qui comporte une charge coulissante de forme pyramidale actionnée par un micromètre. Une bride en cuivre y est soudée qui comporte, dans des pièces rapportées en acier inoxydable, quatre trous de fixation normalisés.

Pour le type d'étalon voyageur utilisé dans cette comparaison internationale, le rapport d'ondes stationnaires est donné, dans une première approximation, par  $h_n/h_r$  où  $h_n$  est la hauteur interne d'un guide d'ondes de taille normale sur l'appareil de mesure et  $h_r$  la hauteur interne du guide d'ondes dans l'étalon voyageur. Les effets secondaires résultent de :

- a) la capacitance de discontinuité de l'étalon [2] ;
- b) les pertes dans la bride de raccordement du guide d'ondes entre l'appareil de mesure et l'étalon voyageur [3] ;
- c) les erreurs sur la hauteur et la largeur du guide d'ondes de référence de l'équipement de mesure [4] ;
- d) l'arrondi des angles du guide d'ondes de référence sur l'appareil de mesure [5] ;
- e) le déplacement du plan E [4], le déplacement du plan H [4], et le défaut d'alignement [5] entre le guide d'ondes de l'équipement de mesure et l'étalon voyageur.

Une analyse détaillée a montré que (d) et (e) sont de grandeur négligeable dans le cas présent et que (a) peut être calculé de façon précise. Ainsi (b) et (c) sont les sources majeures d'incertitude.

### 3. Équipements de mesure utilisés

Chaque participant a effectué des mesures en utilisant un réflectomètre compensé. Une ligne de précision a également été utilisée au RSRE et au NML pour obtenir des résultats complémentaires.

#### 4. Méthode de mesure

Avant le début de cette comparaison internationale, les laboratoires qui ont fourni les étalons voyageurs ont déterminé les positions des micromètres  $L_1$  et  $L_2$  qui donnent respectivement les rapports d'ondes stationnaires minimal et maximal et les ont communiquées aux participants\*.

La méthode spécifique de mesure a été la suivante :

«Connecter chaque étalon voyageur à l'appareil de mesure et l'enlever quatre fois de suite. Après chaque connexion, mesurer le module du coefficient de réflexion quatre fois avec le micromètre réglé à  $L_1$  et quatre fois à  $L_2$ ».

De cette façon, trente-deux mesures du coefficient de réflexion ont été nécessaires pour chaque étalon voyageur.

#### 5. Analyse des résultats

Le mouvement des charges coulissantes produit un déplacement circulaire du coefficient de réflexion d'entrée sur un abaque de Smith et le centre de ce cercle représente le coefficient de réflexion  $\Gamma_s$  produit uniquement par l'échelon. Nous pouvons indiquer par  $|\Gamma_{\min}|$  et  $|\Gamma_{\max}|$  respectivement les modules des coefficients de réflexion mesurés au minimum et au maximum sur le micromètre aux points de référence  $L_1$  et  $L_2$ . On a alors :

$$|\Gamma_s| = \frac{|\Gamma_{\min}| + |\Gamma_{\max}|}{2} \quad (1)$$

Le rapport d'ondes stationnaires de l'échelon est donné par :

$$S = \frac{1 + |\Gamma_s|}{1 - |\Gamma_s|} \quad (2)$$

Les équations (1) et (2) ainsi que des techniques appropriées pour établir des moyennes ont été utilisées pour trouver, pour chaque participant, les valeurs moyennes des rapports d'ondes stationnaires pour les cinq échelons. Les résultats sont présentés sur les figures 1 à 4, où chaque barre d'erreur donne l'incertitude totale avec un degré de confiance de 95 %.

---

\* Par inadvertance, les valeurs de  $L_1$  et  $L_2$  de l'étalon «NBS B» n'ont pas été envoyées au NRC; les techniciens de ce laboratoire ont donc utilisé des valeurs qu'ils ont déterminées eux-mêmes.

Chaque participant a rendu compte de son incertitude systématique estimée avec un degré de confiance de 95 %. Les incertitudes aléatoires et totales ont été déterminées de façon traditionnelle.

## 6. Discussion des résultats et conclusions

Les valeurs moyennes du rapport d'ondes stationnaires vont de 1,018 2 à 1,021 2 pour le plus petit échelon et de 1,197 6 à 1,203 1 pour le plus grand. Les lignes en pointillé des figures 1 à 3 donnent les valeurs théoriques pour les rapports d'ondes stationnaires de base, en considérant que la perte due au connecteur est zéro et que les dimensions internes du guide d'ondes sont exactes. Lors de la détermination de ces valeurs théoriques, la capacité de discontinuité a été prise en compte en utilisant l'équation (2b) page 308, référence bibliographique 2. Les valeurs du NML semblent être sensiblement inférieures à celles obtenues par les autres participants. Cela tient aux raisons suivantes :

a) La grande dimension interne du guide d'ondes de référence du NML est de 0,018 mm (0.0007") supérieure à la valeur correcte, tandis

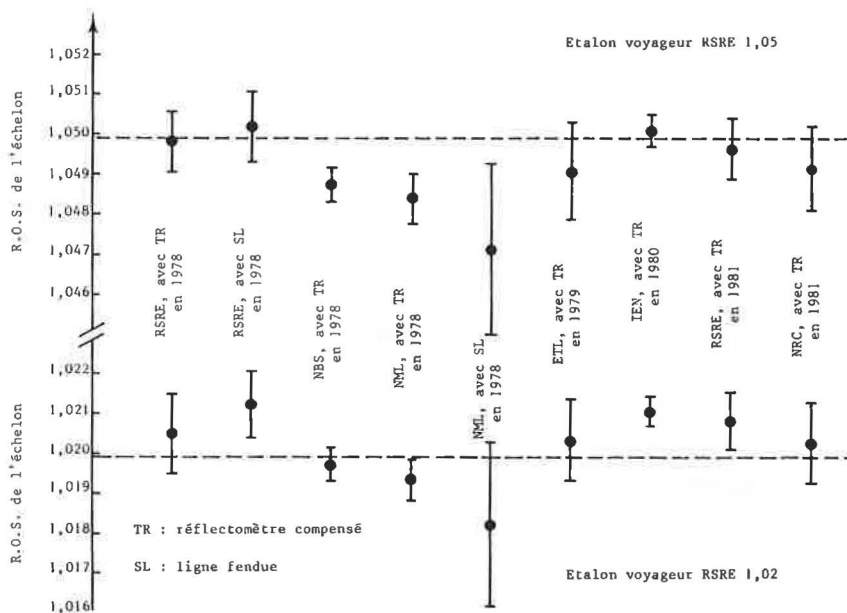


Fig. 1. — Résultats pour les étalons voyageurs RSRE 1,05 et RSRE 1,02.



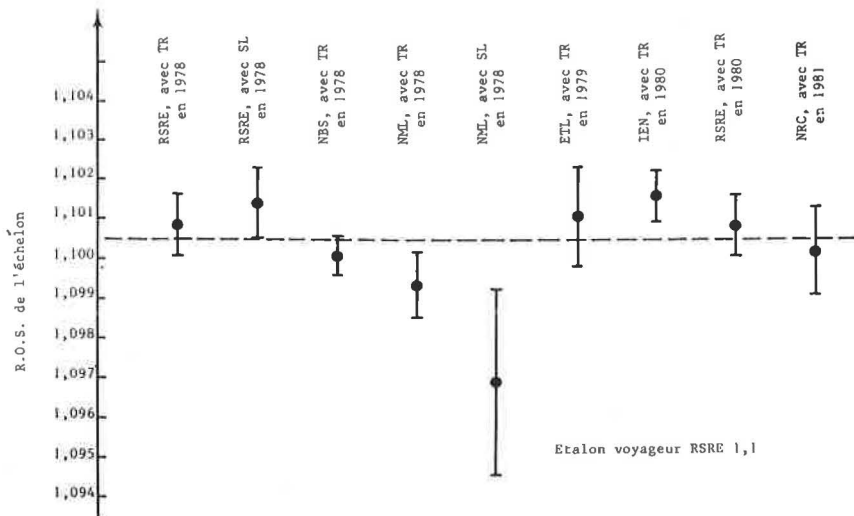


Fig. 2. — Résultats pour l'étalon voyageur RSRE 1,1.

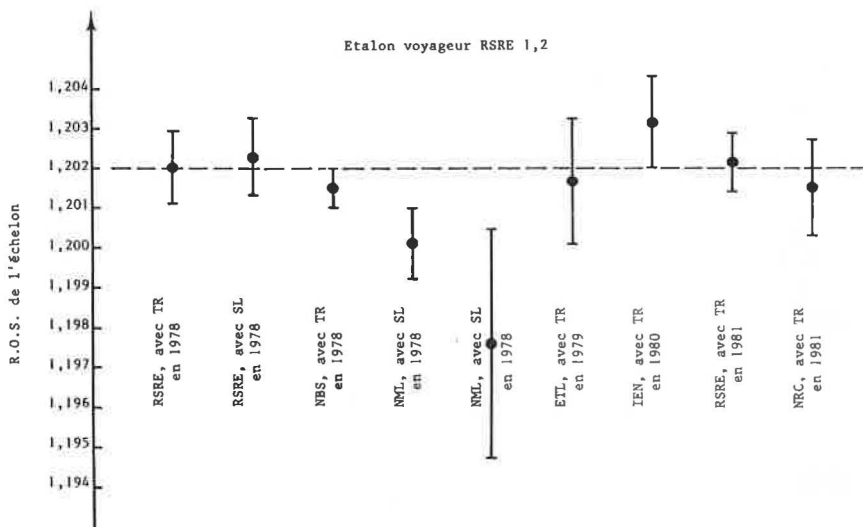


Fig. 3. — Résultats pour l'étalon voyageur RSRE 1,2.

que les guides d'ondes de référence utilisés par les autres participants ont une marge d'erreur de  $\pm 0,0025$  à  $\pm 0,005$  mm ( $\pm 0,0001''$  à  $\pm 0,0002''$ ) pour les dimensions internes ;

b) le NML utilise des brides de référence en alliage d'aluminium pour ses deux appareils de mesure. Des brides de ce type semblent occasionner une perte nettement supérieure à celle produite par les

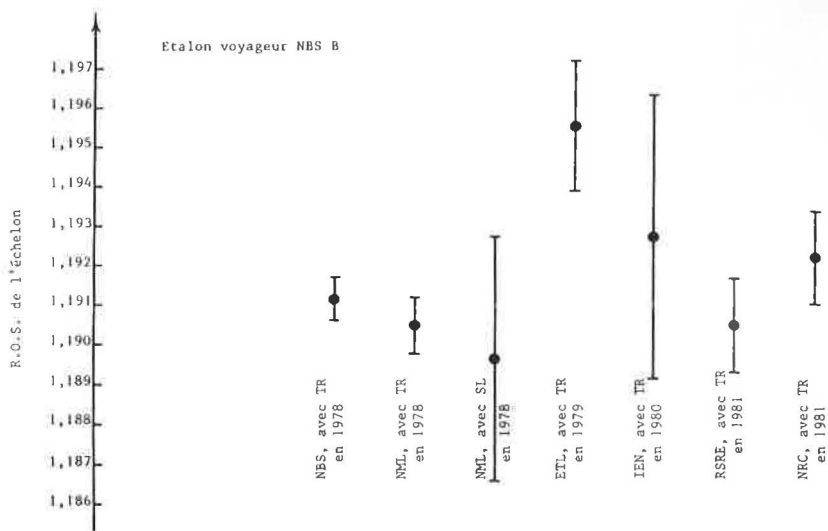


Fig. 4. — Résultats pour l'étalon voyageur NSB B.

brides en cuivre plaqué or obtenues au RSRE. P.I. Somlo [3] a obtenu une perte dans les brides proche de 0,006 dB quand il a connecté une bride en laiton à une bride en aluminium, alors que P. J. Skilton [6] a obtenu des pertes d'environ 0,000 5 dB au RSRE lorsqu'il utilisait les brides en cuivre recouvert d'or.

Pour réduire l'effet de perte de la bride, P. I. Somlo a proposé un type d'étalon voyageur à coefficient de réflexion amélioré [3].

Les modules des coefficients de réflexion des charges coulissantes ont été déterminés d'après les résultats qui nous ont été rapportés. Leurs valeurs étaient de 0,001 8 pour le NBS B et de moins de 0,000 8 pour toutes les charges du RSRE.

Cette comparaison internationale a apporté un grand nombre d'informations sur la reproductibilité des appareils de mesure et des dispositifs de raccordement des guides d'ondes. On a demandé aux participants, sans toucher à la connexion entre l'appareil de mesure et un étalon voyageur donné, de mesurer quatre fois chaque coefficient de réflexion (*voir* section 4), l'écart-type,  $\sigma_A$ , de ces quatre mesures donne une indication sur la reproductibilité de l'appareil de mesure. Avec des réflectomètres compensés, les valeurs obtenues par tous les participants pour  $\sigma_A$  sont extrêmement basses ( $< 10^{-5}$  dans presque tous les cas et occasionnellement  $< 10^{-6}$ ). Ces très basses valeurs de  $\sigma_A$  sont une remarquable preuve de la stabilité des réflectomètres utilisés par tous les participants. Les mesures à la ligne fendue au RSRE et au NML ont donné des valeurs de  $\sigma_A$  plus hautes que les réflectomètres.

Par exemple, les valeurs  $\sigma_A$  données par la ligne fendue du RSRE s'échelonnent de  $4 \times 10^{-5}$  à  $1,2 \times 10^{-4}$  sur les quatre étalons voyageurs du Royaume-Uni.

Un écart-type différent,  $\sigma_B$  a pu être déterminé grâce aux quatre valeurs moyennes des coefficients de réflexion obtenues en alliant les valeurs 1, 2, 3 et 4 à la charge coulissante positionnée en  $L_1$  dans chaque cas. Les valeurs de  $\sigma_B$  sont en gros d'un ordre de grandeur plus grand que les valeurs du réflectomètre pour  $\sigma_A$ . Ainsi, les valeurs de  $\sigma_B$  donnent une indication sur la reproductibilité du couplage du guide d'ondes entre l'étalon voyageur et l'appareil de mesure. Les valeurs moyennes mondiales de  $\sigma_B$  pour les quatre étalons voyageurs du Royaume-Uni restent situées dans le domaine de 0,000 07 à 0,000 1. La valeur correspondante pour le prototype NBS B est 0,000 28. Durant une partie de cette comparaison internationale, on pouvait noter une corrosion sur la bride de l'étalon NBS B et il se peut que cela ait entraîné une valeur plus grande de  $\sigma_B$ . Les valeurs les plus basses de  $\sigma_B$  ont été obtenues par le NRC. Le personnel de ce laboratoire d'étalonnage a utilisé à la fois des pions de centrage et des clés dynamométriques (1,13 Nm) pour connecter les étalons voyageurs à leurs appareils de mesure. Aucun autre participant n'a utilisé de clés dynamométriques. Ainsi, il est maintenant évident que la reproductibilité du raccordement d'un guide d'ondes peut être améliorée grâce à l'utilisation de clés dynamométriques.

## 7. Remerciements

L'auteur remercie très vivement MM. R. F. Clark du NRC, T. Iwasaki de l'ETL, G. Rietto de l'IEN, P. I. Somlo du NML et B. C. Yates du NBS pour leur remarquable coopération et leurs très utiles commentaires durant cette comparaison internationale. Il mentionne aussi l'aide précieuse que lui ont apportée MM. P. Herman et J. H. Pace (maintenant décédé) pour les mesures effectuées au RSRE.

## 8. Bibliographie

- [1] BEATTY, R. W., Impedance measurements and standards for uniconductor waveguide. *Proc. IEEE*, **55**, 1967, pp. 933-941.
- [2] MARCUVITZ, N., *Waveguide Handbook*, McGraw Hill, 1951, pp. 307-309.
- [3] SOMLO, P. I., The Effect of flange loss on the reflection coefficient of reduced-height waveguide reflection standards. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **MTT-27**, 1979, pp. 795-797.

- [4] LEVY, R., Reflection coefficient of unequal displaced rectangular waveguides. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **MTT-24**, 1976, pp. 480-483.
  - [5] ALISON, W. B. W. *et al.* A Handbook for the mechanical tolerancing of waveguide components. (Sponsored by the RCRDC Technical Committee on Microwave Components and Techniques, Ministry of Defense (PE)), sept. 1972.
  - [6] SKILTON, P. J., A Technique for determination of loss, reflection and repeatability in waveguide flanged couplings. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-23**, 1974, pp. 390-394.
-

ANNEXE E 11 \*

---

**Comparaison internationale de puissance  
d'un faisceau ultrasonique (2 et 5 MHz)**

(Comparaison N° 78-15)

par C. E. TSCHIEGG, M. GREENSPAN et D. G. EITZEN  
National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique)

---

**Résumé.** Certains transducteurs à quartz conçus et fabriqués au National Bureau of Standards en vue de transmettre des puissances ultrasoniques semblent suffisamment stables et linéaires pour servir d'étalons. En conséquence, on a organisé une comparaison internationale de mesures de puissance d'onde continue (CW) émise par ces étalons. Les sept laboratoires qui participaient à cette comparaison ont réalisé ces mesures en utilisant une ou plusieurs des méthodes qu'ils emploient de coutume et en ont relaté les résultats au National Bureau of Standards qui était le laboratoire pilote. Les résultats sont présentés en majorité sous forme de tableaux. On trouve en annexe quelques remarques sur la stabilité.

---

\* Traduction du résumé du document GT-RF/83-12.



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

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

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

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





---

NOTE  
ON THE ORGANS OF  
THE CONVENTION DU MÈTRE

---

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

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

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

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

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

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

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

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

The activities of BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement for electricity (1927), photometry (1937), and ionizing radiations (1960). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929 and two new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories. Some thirty physicists or technicians are working in the BIPM laboratories. They are mainly conducting metrological research, international comparisons of realizations of units and the checking of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in Procès-Verbaux des séances du Comité International gives the details of the work in progress. BIPM's annual appropriation is of the order of 10 720 000 gold francs, approximately 19 450 000 French francs (in 1983).

---

\* As of 31 December 1983 forty-six States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, German Democratic Rep., Germany (Federal Rep. of), Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep.), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

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

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

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

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

- *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*;
- *Sessions des Comités Consultatifs*;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (this collection for private distribution brings together articles published in scientific and technical journals and books, as well as certain work published in the form of duplicated reports).

From time to time BIPM publishes a report on the development of the Metric System throughout the world, entitled *Les récents progrès du Système Métrique*.

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

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



AGENDA  
for the 16th Meeting

---

1. Reports of the delegates from member laboratories :
    - Direct (or indirect) determinations of the units.
    - Realization, maintenance and dissemination of the units (including multiples and sub-multiples).
    - Trends and priority developments.
  2. Current and future work at BIPM.
  3. Progress in international intercomparisons :
    - BIPM (Sèvres): 10 pF capacitance standards.
    - VSL (Delft): ac/dc transfer standards.
    - PTB (Braunschweig): electrical power at low frequencies.
    - PTB (Braunschweig): inductance standard.
  4. Report from the Working Group on radiofrequency quantities. Means of speeding up the intercomparisons.
  5. Future international comparisons :
    - resistors;
    - standard cells;
    - radiofrequency quantities.
  6. Publication of the results of international comparisons.
  7. Maintenance of the ohm using the quantum Hall effect.
  8. Expression of measurement uncertainties for international comparisons.
  9. Possible new value for  $2e/h$ , in view of evidence that the frequency-to-voltage conversion factor of 483 594 GHz/V used in most national laboratories seems to lead to a relative disagreement with the SI volt of  $8 \times 10^{-6}$ .
  10. Miscellaneous subjects.
-

---

REPORT  
OF THE  
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ  
(16th Meeting — 1983)  
TO THE  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by A. F. DUNN, Rapporteur

---

The Comité Consultatif d'Électricité (CCE) held its sixteenth meeting at the Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, where it held five sessions on the 23rd, 24th, 25th of March 1983.

The following were present :

H.-J. SCHRADER, acting president of the CCE.

The delegates from member laboratories :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],  
Berlin (W. SCHLESOK).

Bureau National de Métrologie, Paris : Laboratoire Central des  
Industries Électriques, Fontenay-aux-Roses (J. OSWALD,  
N. ELNÉKAVÉ, F. DELAHAYE, A. FAU, R. KNOSP).

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa  
(A. F. DUNN).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield  
(I. K. HARVEY).

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

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin  
(E. ARRI).

National Bureau of Standards [NBS], Washington (B. N. TAYLOR).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (O. C. JONES,  
C. H. DIX).

National Physical Research Laboratory [NPRL], Pretoria  
(R. TURNER).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig  
(V. KOSE).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. KAARLS).

The director of the BIPM (P. GIACOMO).

Invited guest :

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (ZHANG DESHI).

Also attending the meeting : A. E. BAILEY, chairman of the Working Group on radiofrequency quantities, J. TERRIEN, director emeritus of the BIPM, T. J. QUINN, deputy director of the BIPM, G. LECLERC, T. WITT, D. REYMANN et A. SAKUMA (BIPM).

Sent regrets :

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

Absent :

Institut National de Métrologie de la Roumanie [INM], Bucarest.

The chairman of the CCE and the director of the BIPM welcomed the participants; the provisional agenda, with the addition sent to members on 20 January, 1983, was adopted with agreement that item 2 be delayed until Thursday, 24 March 1983.

M. Dunn was appointed rapporteur.

### 1. Reports from the laboratories (Documents, CEE/83-1 to 83-36)

Each laboratory made a brief presentation on its current activities in which the realization of the SI units, the conservation and maintenance of the units, and the projections for future work were emphasized. In particular :

ASMW reported results on a high-field (1 T)  $\gamma_p$  experiment completed just 10 days earlier, which when combined with a low field measurement leads to

$$A_{ASMW} = A_{SI} - (2.6 \pm 2) \mu A$$

from which is derived

$$A_{BIPM} = A_{SI} - 1.1 \mu A.$$

CSIRO reported results on the first measurements for the volt realization by their mercury-pool electrometer which, when combined with the Josephson-effect maintenance of the volt, leads to a value

$$2e/h = 483\,598.3 \pm 1.0 \text{ GHz/V.}$$

It was emphasized that this was a preliminary value.

LCIE reported on the recent completion of a measurement of voltage with their Kelvin electrometer « volt balance », which leads to a value

$$2e/h = 483\,595.7 \pm 1.2 \text{ GHz/V.}$$

NPL reported a new determination of the unit of resistance by the calculable capacitor, leading to

$$\Omega_{\text{NPL}} = \Omega_{\text{SI}} - (1.06 \pm 0.1) \mu\Omega$$

which when combined with their « power balance » equating electrical power to mechanical power leads to a preliminary value of

$$2e/h = 483\,596.5 \pm 0.5 \text{ GHz/V.}$$

A number of other active developments were reported by several laboratories, with outlines of some of the attendant problems. It appears that many of these developments should be much closer to completion, with satisfactory assessments of uncertainties, in the next one to three years.

The work on the least-squares adjustment of the fundamental constants is being continued by B. N. Taylor of NBS and others. From this information it appears that the indirectly derived value of  $2e/h$  differs by a significant amount from the quotient of frequency by voltage (483 594.0 GHz/V) adopted by CCE in 1972 for use with the Josephson-effect maintenance of the unit of voltage (Agenda Item 9).

After considerable discussion, this statement following was accepted by the members for inclusion in this report :

The Comité Consultatif d'Électricité recognizes :

— that many national standards laboratories use the Josephson effect to maintain an unvarying representation of the volt but that not all use the same value for the quotient of frequency by voltage,

— that the value of this quotient (483 594.0 GHz/V) declared by the CCE in 1972 and 1975 and which many laboratories use to maintain their voltage standard may be in error by a significant amount which cannot yet be evaluated,

— that many national laboratories are carrying out direct realizations of the SI unit of voltage or current as well as determinations of fundamental constants which can yield an indirect value of  $2e/h$  in SI units,

— that it is highly desirable to have in all national laboratories a representation of the volt that is at the same time uniform and in agreement with its SI definition.

In consequence, the CCE :

— recommends that national laboratories vigorously pursue the realization of the units and the determination of the fundamental constants in question,

— plans to meet in three years to reconsider the question in the light of evidence then available, with a view to adopting a new value, consistent with the SI, for the quotient of frequency by voltage to be used by all national standards laboratories,

— and recommends that laboratories do not change their value for this quotient until the new value is adopted.

## **2. Progress in international intercomparisons** (Agenda Item 3)

### **2.1. BIPM : 10 pF capacitance standards (Document CCE/83-25)**

Three of the four planned circuits have been completed, with the fourth to commence very shortly. The comparative results are presented in the document CEE/83-25.

### **2.2. VSL : ac/dc transfer standards (Document CCE/83-28)**

Three of the six planned circuits have been completed, with the fourth in progress. No comparative results have been published.

### **2.3. PTB : electric power at low frequencies [120 V, 5 A, 50 Hz, PF 1, PF 0.5 (lead and lag)]**

The first European circuit has been completed and the second started; the North American circuit is planned for late 1983. No comparative results have been published.

### **2.4. PTB : inductance**

In the absence of the inductance standard offered by IMM, no progress has been made. Currently there is an inductance-standard circulation within Europe; it is possible that the 10 mH standard from this circulation could be satisfactory for CCE use, after the BCR circulation is completed. This intercomparison will be delayed indefinitely.

## **3. Future international comparisons** (Agenda Item 5)

It was suggested by BIPM that international comparisons of one-ohm standards be re-established. The best one-ohm standard resistors are excellent transfer standards which, when transported carefully, can be used to compare the resistance standards of the various national laboratories with a relative uncertainty of about  $1 \times 10^{-7}$ . They can therefore be useful to estimate the accuracy of determinations of the ohm.



Intercomparisons, made at regular intervals, provide valuable information about the relative values of the representations of the ohm maintained in the major laboratories at well-defined dates. It should be noted that the one-ohm standard resistors of BIPM are used only as short-term transfer standards in these comparisons and are treated, in the comparison scheme, in the same way as those from any other laboratory.

Eleven laboratories were in favor of re-establishing the intercomparisons of one-ohm standards. The majority of these laboratories also wished to undertake intercomparisons of 10 000  $\Omega$  standards. The intercomparisons will probably be divided into parts in order to reduce the work to a manageable level and to reduce the time required to carry it out. It was suggested that the laboratories be divided into two groups, one group being particularly concerned with fundamental constants.

Some delegates proposed the re-establishment of simultaneous intercomparisons of standard cells at BIPM but this proposal was not as widely well-received. Many delegates felt that transportation problems would probably nullify the benefits of such an intercomparison; others felt that the Josephson effect system used by the BIPM maintains a uniform representation of the volt and that the purposes of the intercomparisons would be achieved by bilateral comparisons with BIPM at convenient times. BIPM will begin to make the appropriate arrangements.

#### **4. Report from the Working Group on radiofrequency quantities** (Document CCE/83-33) (Agenda Item 4)

The chairman of GTRF (A. E. BAILEY) presented the report of the meeting held at BIPM the preceding week (16, 17, 18 March 1983). Of the total of 42 intercomparisons scheduled at the time of the last meeting in 1978, eight have been completed, five are complete except for preparation of a final report, ten were cancelled due to current lack of interest, and nineteen are in progress or will be started shortly. In addition, four new intercomparisons were identified in 1983 and initial arrangements established. Full details are given on page E 121.

It has become obvious to the laboratories taking part in these intercomparisons, particularly as pilot laboratories, that there are too many intercomparisons being scheduled, taking account of the facilities and personnel available in the various laboratories. After considerable discussion, GTRF proposed a set of guidelines to apply to future cyclical intercomparisons of radiofrequency quantities amongst laboratories. The guidelines contained in the Appendix to the GTRF Report (see page E 126) also make proposals concerning publication and dissemination of the results of international intercomparisons. These proposals concerning publication would probably apply to all international intercomparisons. (Agenda Item 6.)

## **5. Publication of the results of international comparisons**

(Appendix to document CCE/83-33) (Agenda Item 6)

The guidelines proposed by the Working Group on radiofrequency quantities, relative to the publication of the results of international comparisons that it organizes, can also be applied to the publication of the results of international comparisons organized by the CCE.

Pilot laboratories of each comparison should, without undue delay, supply BIPM with the bibliographical references to published complete final reports. These references can then be published in *Metrologia*.

## **6. Maintenance of the ohm in terms of $h/e^2$ : quantized Hall resistance**

(Agenda Item 7)

(Documents CCE/83-3, 7, 8, 19, 20, 21, 22, 32)

Amongst the documents distributed before the meeting, and in the brief presentations from each laboratory, there were numerous references to progress on the quantum Hall effect experiments. Four laboratories are actively engaged in experimental verifications and two more are actively planning their experiments. In the brief three years that this effect has been established, it is clear that extremely reproducible results can be obtained but that other effects, possibly systematic, limit the reproducibility from one laboratory to another to about one part in  $10^6$  at this time.

The CCE considers the work on the quantum Hall effect to be urgent and very important, and adopted Recommendation E 1 (1983).

## **7. Current and future work in electricity at BIPM**

(Documents CCE/83-26, 37) (Agenda Item 2)

The new head of the Electricity group (T. WITT) outlined the activities in BIPM, which include possibly more than 50 % of the time being devoted to calibration services to satisfy the demands of national laboratories who are adherents of the Convention du Mètre. The CCE commends, for future activities, the work on automation, ac/dc transfer and quantized Hall resistance, following the developments in the core area of dc resistance measurements at  $1 \Omega$  and  $10\,000 \Omega$ . Following discussion, the CCE adopted Recommendation E 2 (1983).

**8. Expression of uncertainties in measurements**  
(Document CCE/83-4) (Agenda Item 8)

It appears that the various organizations and committees concerned with the expressions of the uncertainties associated with a measurement or a series of measurements are approaching consensus on a workable procedure. It was urged that the pilot laboratories of both CCE and GTRF intercomparisons work toward a uniform treatment of uncertainties.

**9. Miscellaneous subjects**  
(Agenda Item 10)

It was announced that LCIE will be celebrating its centennial on 6 December, 1983, and all metrological laboratories are invited to participate.

The question of private laboratories wishing to take part in international intercomparisons sponsored by BIPM was raised. The warning against this practice was passed to the pilot laboratories of the intercomparisons.

The liaison between CCE and URSI (Commission A) will continue to be looked after by V. KOSE of PTB. There is a possible conflict between URSI and CPEM, but V. KOSE (PTB) and R. KAARLS (VSL) are continuing to cooperate.

\*  
\* \*

Mr Terrien thanked the chairman for his able handling of the 16th meeting of the CCE and, in turn, Mr. Schrader thanked the delegates for their attention and assistance and particularly thanked Mr. Terrien for his wise counsel in helping to draft the Recommendations of the meeting.

April 1983.

**Recommendations  
of the Comité Consultatif d'Électricité  
submitted  
to the Comité International des Poids et Mesures**

Quantum Hall effect

RECOMMENDATION E 1 (1983)

The Comité Consultatif d'Électricité

*having examined* the present state of work on the quantum Hall effect,  
*considering*

— that this effect, now being brought into operation in a number of laboratories, has provided extremely reproducible results for a given laboratory and for a given experimental arrangement, and which offers therefore the possibility of detecting and measuring any drift in the resistance standards representing the ohm in each laboratory, but that the reproducibility from one laboratory to another is not yet assured to better than one part in  $10^6$ ,

— that the study of this effect will contribute to a better determination of fundamental physical constants,

*recommends*

— that research on the quantum Hall effect be pursued as a matter of urgency,

— that the continued use and development of the calculable capacitor be closely linked to this work,

— that proposed values for the quantized Hall resistance be sent to BIPM by February 1986 for consideration at the next meeting of the CCE with a view to adopting a value, consistent with the SI, to be used by all national standards laboratories.

## Work on electricity at the BIPM

### RECOMMENDATION E 2 (1983)

#### The Comité Consultatif d'Électricité

##### *considering*

— the importance of electrical measurements for science, industry and trade,

— the key rôle played by the BIPM reference standards in providing the basis upon which world-wide uniformity in these measurements is ensured,

— the increase in sophistication brought about by recent technological developments which is now placing greater demands on the accuracy of electrical standards,

— the accompanying increase in the number of national laboratories requiring access to BIPM standards,

— the increase in the number of electrical quantities for which BIPM is now called upon to establish reference standards,

— the essential requirement for BIPM to maintain its electrical standards at the highest level in order to satisfy these demands,

##### *considering also*

— that the programme of work currently planned at BIPM for the years 1985-1988 in electricity is the minimum required to meet the foregoing needs,

— but that the number of staff presently available is insufficient to carry it out,

##### *recommends*

— that urgent steps be taken to increase the personnel and other resources available for electrical work at BIPM.

---

## **Report of the Working Group on radiofrequency quantities**

The Working Group met at the Pavillon de Breteuil, Sèvres on the 16th, 17th and 18th of March 1983.

Present : Mr. A. E. BAILEY, chairman, MM. C. M. ALLRED (NBS, Boulder), H. BAYER (PTB), XI DEXIONG (NIM), A. F. DUNN (NRC), L. ÉRARD (LCIE), I. K. HARVEY (CSIRO), O. C. JONES (NPL), R. KAARLS (VSL), T. NEMOTO (ETL), G. RIETTO (IEN), F. L. WARNER (RSRE), R. W. YELL (NPL).

The Director of the BIPM, P. GIACOMO.

Also present at the meeting : MM. J. TERRIEN, director emeritus of the BIPM; T. J. QUINN, deputy director of the BIPM; G. LECLERC and T. WITT (BIPM).

Sent regrets : the ASMW and the IMM representatives.

Absent : the representative from IRT.

The chairman and the director of BIPM welcomed the members of the Working Group. The agenda was approved and Mr. Érard was appointed as rapporteur.

### **1. International comparisons completed since the last meeting of the Working Group in July 1978**

Eight intercomparisons have been completed, details are given in Table I.

### **2. Comparisons almost completed**

Details of five comparisons which are almost complete, but for which the final report remains to be written, are given in Table II.

### **3. Progress on continuing comparisons**

A summary of the state of progress of the comparisons arranged in 1972, 1975 and 1978 is given in Table III.

#### **4. New comparisons**

New comparisons approved by the Working Group are listed in Table IV. The list of participants for each comparison is not intended to be final or complete : other interested laboratories will be welcome to take part.

#### **5. Possible subjects for future comparisons**

Table V lists a number of topics which the Working Group has noted as possible bases for intercomparisons at some time in the future. In some cases it is likely that informal comparisons will be arranged directly between the interested laboratories. The Working Group will not formally sponsor these, although it will be interested in receiving reports of the results.

#### **6. Activities of the Working Group**

##### **6.1. Ultrasonic comparisons**

The Working Group is prepared to continue to arrange ultrasonic comparisons as required, since it does not seem necessary to set up a working group specially for this purpose.

##### **6.2. Laser power and energy**

The Working Group will continue to arrange comparisons of laser power and energy so long as this does not interfere with the activities of other Consultative Committees. It will keep the CCPR informed of results of these comparisons.

##### **6.3. Pulse measurements**

The Working Group expects to continue to be interested in these measurements.

##### **6.4. Organization of comparisons : publication of results**

The Working Group discussed general principles for the organization of future comparisons. It also considered arrangements for the publication of results. The results of these discussions are embodied in the guidelines given in the Appendix to this report.

## 7. Other business

### 7.1. Liaison with other Organizations

Dr. Bayer read a message from the Chairman of the URSI Commission A to the Working Group :

« A proposal was made that a special issue of the Proceedings IEEE should be published on the occasion of the XXIst URSI General Assembly treating the state of art in precision electrical measurements from the DC to the submillimetre and laser frequency range. »

The members of the Working Group agreed to this proposal, because such an issue will represent a useful scientific reference book for all specialists.

It was thought that better links ought to be established between the BIPM and the Working Group on the one hand and the Community Bureau of Reference (BCR) of the European Economic Community, on the other. It was suggested that BIPM might receive reports of the meetings of the expert group on electrical and magnetic measurements of BCR.

### 7.2. Future programme

Each member of the Working Group gave an account of the general direction of new developments in his laboratory.

### 7.3. Date of next meeting

The Working Group expects to hold its next meeting in May 1986.

March 18, 1983

Rapporteur

L. ÉRARD

Chairman

A. E. BAILEY



TABLE I \*

*Comparisons completed since the last meeting of the Working Group  
(July 1978)*

- 72-2 Attenuation at 7.0 GHz in coaxial line.  
(Pilot laboratory : NPL; participants : IEN, NBS, PTB).  
The final report on this intercomparison is given in document GT-RF/83-15.
- 72-5 Power in waveguide at 35 GHz.  
(Pilot laboratory : NRC; participants : ETL, NBS, RSRE).  
The final report is in GT-RF/83-1 and an account has been published in *Metrologia*, **17**, 1981, pp. 27-31.
- 72-7 Electric-field strength at 100 MHz.  
(Pilot laboratory : NBS; participants : IEN, FTZ, UTW).  
The final report is in GT-RF/83-11 and an account published in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-32**, 1983, pp. 235-237.
- 72-11 Power flux density at 2.45 GHz.  
(Pilot laboratory : CSIRO; participants : BRH, IEN, NBS, NPL, RIND).  
The final report is in GT-RF/83-2.
- 72-13b CW laser power : Ar<sup>+</sup> laser at 488 and 515 nm wavelengths.  
(Pilot laboratory : ETL; participants : NBS, PTB).  
Final report in GT-RF/83-3.
- 75-A9 Attenuation at 35 GHz.  
(Pilot laboratory : RSRE; participants : NRC, NBS).  
Final report in GT-RF/83-4. The value of this comparison was reduced as a result of faults which developed in the travelling standards.
- 75-A12 Reflexion coefficient (modulus) at 10 GHz.  
(Pilot laboratory : RSRE; participants : ETL, IEN, NBS, CSIRO, NRC).  
Final report in GT-RF/83-8.
- 78-15 Ultrasonic beam power.  
(Pilot laboratory : NBS; participants : BRH, NPL, NRC, PTB, RPB, UI).  
Final report in GT-RF/83-12. An account has been published in *NBS Journal of Research*, **88**, N° 2, (March-April 1983), pp. 91-103.

---

\* The list of laboratories mentioned in this table and in the following ones can be found on page E 20.

TABLE II

*Comparisons nearly completed*

- 72-1 Phase shift in waveguide R 100 at 9.0, 10.0 and 11.2 GHz.  
(Pilot laboratory: NBS; participants: ETL, IEN, CSIRO, RSRE).  
All the laboratories have completed their measurements. The comparison has in fact been terminated because of diminished resources at NBS. NBS is preparing the final report (see GT-RF/83-9).
- 72-6 Power in coaxial line at 6 GHz.  
(Pilot laboratory: NBS; participants: CSIRO, IEN, LCIE, NPL, NRC, PTB, RIND, OMH).  
Eight laboratories have completed their measurements and OMH is expected to do so shortly. NBS will then prepare the final report. GT-RF/83-10 gives the results to date.
- 75-A1 Power at 15 GHz: effective efficiency of waveguide bolometer mounts.  
(Pilot laboratory: PTB; participants: LCIE, NBS, NRC, RSRE. IEN withdrew from this comparison).  
All the laboratories have completed their measurements. PTB is preparing the final report. A small change in the values of the travelling standards seems to have been caused by the use at RSRE of crushable shims in joining the waveguide flanges (See GT-RF/83-14).
- 75-A3 Attenuation in waveguide at 15 GHz.  
(Pilot laboratory: PTB; participants: IEN, NBS, RSRE, OMH).  
The measurements are almost completed. PTB will prepare the final report (see GT-RF/83-14).
- 75-A5 Voltage (1 V) in 50  $\Omega$  coaxial line at 100, 250, 500 and 1 000 MHz.  
(Pilot laboratory: PTB; participants: NBS, CSIRO, EQD, ASMW, IMM, OMH. LCIE has withdrawn from this comparison). All measurements have been completed. PTB is preparing the final report (See GT-RF/83-14).

TABLE III

*Current comparisons*

## (a) Comparisons abandoned

- 72-4 Power in waveguide R 620 or R 740 at 65 GHz.  
(Pilot laboratory; NPL; participants: NBS). (GT-RF/83-17).
- 72-8 Horn gain at 10 GHz.  
(Pilot laboratory: IRT; participants: NBS, IEN, NRC).
- 75-A10 Attenuation at 70 GHz.  
(Pilot laboratory: NPL; participant: NBS). (GT-RF/83-17).
- 75-A13 Pulse amplitude spectrum.  
(Pilot laboratory: NBS; participant: IEN).

- 75-B1 Power at 30 MHz: calibration factor of directional coupler — bolometer mount combination.  
(Possible participants: NBS, PTB, CSIRO).
- 75-B2 Power at 7 GHz: calibration factor of directional coupler — bolometer mount combination.  
(Possible participants: NBS, PTB, CSIRO, RSRE).
- 75-C2 Pulse delay time in 50 ohm coaxial line.  
(Pilot laboratory: NBS; participant: IEN).
- 78-3 Reflection coefficient modulus in waveguide R 100 at 10 GHz;  
 $0.2 < |\Gamma| < 0.8$ .  
(Pilot laboratory: CSIRO; participant: PTB).
- 78-4 Noise power in waveguide R 84.  
(Pilot laboratory: NBS). (GT-RF/83-9).
- 78-6 Antenna polar diagram at 10 GHz.  
(Pilot laboratory NBS; participants: IEN, NRC) (GT-RF/83-9).

(b) Continuing comparisons

- 75-A4 Reflection coefficient in 50 ohm coaxial line at 0.5, 3 and 7 GHz.  
(Pilot laboratory: PTB; participants: VSL, OMH, SNIIM, NBS, NRC, CSIRO, ETL, RSRE).  
This comparison should start in the near future (GT-RF/83-14).
- 75-A6 Voltage (100 V) in 50 ohm coaxial line at 30 MHz.  
(Pilot laboratory: PTB; participants: NBS).  
This comparison should start at the end of 1983. The participation of further laboratories is invited (GT-RF/83-14).
- 75-A7 Voltage (1 mV) in 50 ohm coaxial line at 30 MHz.  
(Pilot laboratory: PTB; participants: NBS, CSIRO, OMH, NIM, ASMW, VSL).  
The comparison has been delayed at the request of some laboratories; it will start shortly (GT-RF/83-14).
- 75-A8 Noise power at 30 MHz.  
(Pilot laboratory: CSIRO; participants: NBS, RSRE).  
The comparison has been delayed by difficulties with the measuring equipment in one participating laboratory; it is now under way (GT-RF/83-5).
- 75-A11 Power in coaxial line at 12 to 18 GHz: effective efficiency of bolometer mounts with APC-7 connectors.  
(Pilot laboratory: PTB; participants: IEN, LCIE, NBS, CSIRO \*, NRC, VSL \*).  
PTB will provide two transfer standards. The frequencies proposed are 12 and 14 GHz, with 17 GHz as an optional addition. The comparison will start in 1984 (GT-RF/83-9).

---

\* Subject to confirmation.

- 75-A14 Attenuation in 75 ohm coaxial line at 300 MHz with GR 900 connectors.  
(Pilot laboratory : PTB; participants : VSL, NPL, NRC \*).  
This comparison has been delayed by problems with the transfer standards. It will not start before 1984.
- 75-B3 Reflection coefficient in 75-ohm coaxial line at 1 GHz.  
(Pilot laboratory : NRC; participants : PTB, LCIE, VSL, NPL \*, CSIRO \*).  
NRC has offered three transfer standards for measurement at three frequencies, using GR 900 connectors. The comparison will start in 1984 : it is proposed to broaden it to include 300 and 600 MHz as well as 1 GHz (GT-RF/83-6).
- 75-C3 Pulse rise time in 50-ohm coaxial line.  
(Pilot laboratory : NBS; participants : ETL; NPL).  
NBS will contact the other participants to arrange the programme.
- 78-1 Attenuation (100 dB) in 50-ohm coaxial line at 30 MHz.  
(Pilot laboratory : PTB; participants : NPL, VSL, LCIE, IEN, FFV, PKN, OMH, VNIIFTRI, CSIRO, NBS, NIM).  
This comparison has been sponsored jointly by the EEC Community Reference Bureau (BCR) and BIPM. It is proceeding rapidly and an interim report will be prepared when the EEC laboratories (which are engaged first) have completed their measurements. (GT-RF/83-14).
- 78-2 Power (10 mW) in 75-ohm coaxial line at 500 MHz (GR 900 connector).  
(Pilot laboratory : NRC; participants : PTB, LCIE, VSL).  
The participants have agreed that the start should be in 1985. (GT-RF/83-6).
- 78-5 Horn gain and transverse polarisation ratio between 4 and 60 GHz (preferred frequency 10 GHz).  
(Pilot laboratory : NBS; participants : IEN, NPL, CSIRO, NRC, ETL, VSL, FTZ, TUD).  
This comparison has started recently.
- 78-7 CW laser power at 10.6  $\mu\text{m}$ .  
(Pilot laboratory : NBS; participants : PTB, NPL, ETL \*, NRC \*).  
The power level is to be agreed and the comparison should start by the end of 1983 (GT-RF/83-9 and 13).
- 78-8 Peak laser power at 10.6  $\mu\text{m}$ .  
(Participants : NPL, NBS, NRC \*).  
NBS and NPL will together decide the best way of arranging the comparison (transfer standard, pilot laboratory, etc.). ETL wishes to be kept informed of the results of the comparison (GT-RF/83-9).

---

\* Subject to confirmation.

- 78-9 Laser energy at 1.06  $\mu\text{m}$ .  
(Pilot laboratory : NBS; participants : NPL, PTB, ETL \*).  
NBS will consult with the other participants on the best way of organizing the comparison. PTB is unable to measure energy values in excess of 1 J (GT-RF/83-9).
- 78-10 Power flux density at 10 GHz.  
(Pilot laboratory : NPL; participants : LCIE, CSIRO \*, NBS \*, VSL \*, IEN \*).  
Will not start until transfer standards have been agreed (GT-RF/83-17).
- 78-11 Impedance in coaxial line at 100 MHz.  
(Pilot laboratory : RSRE; participants : PTB, NBS, CSIRO, VSL).  
This comparison is nearly completed; measurements still have to be made by one laboratory (VSL) (GT-RF/83-7).
- 78-12 Q-factor at 10 GHz ( $1\ 000 < Q < 10\ 000$ ).  
(Pilot laboratory : RSRE; participants : CSIRO, NPL, IEN \*).  
CSIRO no longer wishes to be pilot laboratory. RSRE is prepared to take the initiative and to be the pilot laboratory for this comparison (GT-RF/83-5).
- 78-13 Noise power in waveguide R 100.  
(Pilot laboratory : RSRE; participants : LCIE, CSIRO, PTB, NIM, NBS \*, ETL \*).  
This comparison will start in 1983 (GT-RF/83-7).
- 78-14 Power (1 mW) in 50-ohm coaxial line at 50 MHz.  
(Pilot laboratory : NRC; participants : PTB, NPL, NBS, LCIE, ETL, CSIRO, IEN, VSL, FFV, OMH).  
Five laboratories have completed their measurements. The comparison is proceeding according to plan (GT-RF/83-6).

TABLE IV

*New comparisons*

- 83-1 Impedance in 50-ohm coaxial line at 1 MHz and 50 MHz (GR 900 connector).  
(Pilot laboratory : VSL; participants : PTB, NBS, NPL, CSIRO \*, EQD \*).  
This comparison will start in 1984 and be completed by 1986.
- 83-2 Electric field strength at UHF (preferred frequency 750 MHz, preferred level 10 V/m).  
(Pilot laboratory : NPL; participants : VSL, NBS \*, CSIRO \*, IEN \*).  
This comparison can start as soon as the transfer standards have been selected and the participants have confirmed their interest.

---

\* Subject to confirmation.

- 83-3 Power at 94 GHz.  
(Pilot laboratory : ETL; participants : NBS, RSRE).  
This comparison can start as soon as the participants have agreed upon the transfer standards and the arrangements for carrying it out.
- 83-4 Measurement of scattering parameters (S parameters) by broad band methods over the band 2-18 GHz.  
(Pilot laboratory; RSRE; participants : NBS, CSIRO, PTB, VSL).  
NBS, CSIRO and RSRE will use a coaxial « six-port » system covering the band 2-18 GHz. PTB will use a similar six-port system in waveguide covering 8.2-12.4 GHz. VSL will use an automatic network analyser of its own design covering 2-18 GHz.

TABLE V

*Possible future topics for intercomparison*

(a) Reflection coefficient at 35 GHz

ETL and NRC may possibly arrange an informal intercomparison : it is possible that NIM and RSRE may also wish to participate.

(b) Attenuation at 94 GHz

NBS and RSRE intend to join in an informal intercomparison.

(c) Horn gain at millimetre wavelengths

NBS, NPL and NRC have a possible interest in this. NPL will take the initiative in discussing with the other laboratories a possible informal intercomparison.

(d) Fibre Optics

The members of the Working Group have some interest in this new field and envisage intercomparisons in the future when the relevant parameters are sufficiently well defined.

**Guidelines for the conduct of RF intercomparisons**

The Working Group on radiofrequency quantities

*considering*

— that the number of intercomparisons previously proposed was too large to allow them all to be completed, taking account of the resources available,

— that a considerable number of the planned comparisons have not yet been completed,

— that some of these comparisons are no longer of interest to the participants,

— that for some of the planned comparisons there was only one interested participant,

— that large numbers of travelling standards, of ranges of frequency, and of the quantities to be measured make comparisons costly and time-consuming,

— that circulating periods of five years or more make it difficult to maintain the interest of the participants in the comparisons,

— that travelling standards should not be allowed to remain in a participating laboratory without being measured,

— and that the results of the comparisons are of interest to all scientists and engineers in government and industrial metrology services in all countries,

*adopts* the following guidelines for intercomparisons in its field :

— the principal objective in the coming years should be to complete all the current comparisons,

— the list of current comparisons should be revised at each meeting and those in which the majority of participants are no longer interested should be cancelled,

— comparisons in which only one laboratory is interested should also be cancelled,

— only a limited number of new comparisons should be arranged,

— the numbers of travelling standards, of frequencies, and of ranges of parameters to be measured should be kept to the minimum necessary to achieve the object of the comparison,

— the pilot laboratory should set a timetable for carrying out the measurements in each laboratory and each laboratory must do its best to conform with it; in particular, a maximum time for the travelling standards to remain at each laboratory should be set,

— if unforeseen circumstances prevent a laboratory from carrying out its measurements within the time allotted, it should send the travelling standard without delay to the following laboratory : it will be able to carry out its measurements later,

— throughout the comparison, each laboratory must inform the pilot laboratory and BIPM *when the travelling standards arrive and when they are sent on* to the next participant; it must also inform them of *any incident or any delay which might disturb the progress of the intercomparison*. The pilot laboratory and/or BIPM will inform all the other participants so that they may, if necessary, modify their work schedules,

— as well as the detailed report which it is required to make to the Working Group, the pilot laboratory must do its best to publish a final account of the comparison in a scientific journal with wide circulation and good standing in the field (for example, in *Metrologia*); BIPM should be informed of such publication and a copy of the manuscript should be sent to BIPM as soon as possible. BIPM will include a list of references to these publications in « News from the BIPM » in *Metrologia* each year.

*Note* : BIPM will publish an abridged final account, in French, in the appendix to the report of the Comité Consultatif d'Électricité. This may be a copy of the account published elsewhere; it will not normally include extensive tables of numerical results.

BIPM can also publish as a BIPM Monograph the detailed report provided by the pilot laboratory; this may be the report presented to the Working Group and may contain full numerical tables. In this case, the pilot laboratory should send BIPM the original document in the form of camera-ready copy. A monograph is published over the name of its author, who is responsible for the material contained in it.

---



**APPENDIX E 1**

---

**Working documents submitted to the CCE at its 16th Meeting**

*(see the list of documents on page E 23)*

---

APPENDIX E 2 \*

---

**Circular international comparison  
of 10 pF silica capacitance standards**

by G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

---

In response to the wish expressed in September 1978 by a majority of the members of the Comité Consultatif d'Électricité (CCE), a third circular international comparison of 10 pF silica-dielectric capacitance standards (1) was organized. Four circuits for these comparisons were envisaged :

Circuit N° 1 : NBS → NPL → PTB → NBS

Circuit N° 2 : NBS → NIM → VSL → NPRL → NBS

Circuit N° 3 : NBS → NRC → LCIE → IEN → NBS

Circuit N° 4 : NBS → ASMW → PTB → NPL → NBS.

The first 3 circuits have been completed and their results are given in Tables I, II and III.

The fourth circuit is in progress.

Between December 1st, 1978 and March 1st, 1983 the average drift of the travelling standards was as follows :

N° 156 775 (108) :  $+ 0.044 9 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$  ( $s = 0.004 9 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ )

N° 159 852 (119) :  $+ 0.004 2 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$  ( $s = 0.010 7 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ )

N° 159 853 (120) :  $+ 0.085 1 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$  ( $s = 0.005 4 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ ).

These drifts are of the same order of magnitude as those of the best standards of electrical resistance (that of condenser N° 159 852 (119), moreover, is not significant).

The quality of the travelling capacitance standards allows one to compare the representations of the farad in use in the different national laboratories to a few parts in  $10^8$  in spite of the duration, sometimes excessive, of certain comparison circuits.

---

\* Translation of document CCE/83-25.

TABLE I

*Results of the third circular international comparison of 10 pF silica capacitance standards*

(first circuit)

$$C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6}) \text{ pF}$$

Value of  $\Delta$  (measured at 25 °C)

Standard N°	NBS		NPL <sup>(2)</sup>	PTB		NBS
	December 1st, 1978 (100 V ; 1 592 Hz)	February 1st, 1979		April 1st, 1979	May 1st-June 15, 1979 (75 V ; 1 592 Hz)	
156 775 (108) :	— 14.08 <sub>6</sub> (1)	— 14.07	— 13.99 (3)	— 13.46 (4)	— 14.02 <sub>2</sub>	— 14.02 <sub>2</sub>
159 852 (119) :	— 1.21 <sub>9</sub>	— 1.25	— 1.22	— 0.66	— 1.27 <sub>7</sub>	— 1.27 <sub>7</sub>
159 853 (120) :	— 0.24 <sub>8</sub>	— 0.25	— 0.17	+ 0.40	— 0.20 <sub>0</sub>	— 0.20 <sub>0</sub>
	— 5.18 <sub>4</sub>	— 5.19	— 5.13	— 4.57	— 5.16 <sub>6</sub>	— 5.16 <sub>6</sub>

(1) The numbers appearing in this column are slightly different from those given in CCE, 15<sup>e</sup> session, 1978 (Appendix 4, p. E 39, last column). They have been calculated taking account of the latest determination of the farad at NBS:  $F_{\text{NBS-60}} = F + 1.787 \times 10^{-6}$  whereas, for the earlier ones, one had used  $F_{\text{NBS-60}} = F + 1.778 \times 10^{-6}$ .

(2) The NPL results reproduced in the original document CCE/83-25 were inadvertently expressed as a function of  $F_{\text{NBS-60}}$  (representation of the unit of capacitance maintained by NBS).

As  $F_{\text{NBS-60}} = F + 1.787 \times 10^{-6}$ , they are thus smaller than those appearing in the present table by  $1.79 \times 10^{-6}$ .

(3) As a result of a malfunction of a thermostat, the temperature of the standards fell to 10 °C for 48 h, February 3rd and 4th 1979.

(4) Uncertainty of the comparison with reference standards:  $s = 0.04 \times 10^{-6}$ . Uncertainty of the representation of the unit of capacitance maintained by PTB: «random error»:  $\pm 4 \times 10^{-7}$  (P = 95 %); residuals of «systematic errors»:  $\pm 6 \times 10^{-7}$ .

TABLE II  
*Results of the third circular international comparison of 10 pF silica capacitance standards*

(2nd circuit)  
 $C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6}) \text{ pF}$   
 Value of  $\Delta$  (measured at 25 °C)

Standard N°	NBS		NIM		VSL		NPRL		NBS	
	April 1st, 1980	August 7th and 8th, 1980	7th and 8th, 1980	October 2nd, 1980	December 1980	April 1st, 1981	December 1980	April 1st, 1981	December 1980	April 1st, 1981
	(100 V ; 1 592 Hz)		(100 V ; 1 592 Hz)		(100 V ; 1 592 Hz)		(50 V ; 1 000 Hz)		(100 V ; 1 592 Hz)	
156 775 (108) :	— 14.00 <sub>0</sub>	— 13.74 <sup>(1)</sup>	— 13.74 <sup>(1)</sup>	— 14.65 <sup>(2)</sup>	— 25.7 <sup>(3)</sup>	— 13.95 <sub>0</sub>	— 25.7 <sup>(3)</sup>	— 13.95 <sub>0</sub>	— 25.7 <sup>(3)</sup>	— 13.95 <sub>0</sub>
159 852 (119) :	— 1.28 <sub>4</sub>	— 1.08	— 1.08	— 1.95	— 13.0	— 1.26 <sub>4</sub>	— 13.0	— 1.26 <sub>4</sub>	— 13.0	— 1.26 <sub>4</sub>
159 853 (120) :	— 0.16 <sub>3</sub>	+ 0.06	+ 0.06	— 1.10	— 11.9	— 0.04 <sub>7</sub>	— 11.9	— 0.04 <sub>7</sub>	— 11.9	— 0.04 <sub>7</sub>
	— 5.14 <sub>9</sub>	— 4.92	— 4.92	— 5.90	— 16.87	— 5.08 <sub>7</sub>	— 16.87	— 5.08 <sub>7</sub>	— 16.87	— 5.08 <sub>7</sub>

(<sup>1</sup>) NIM : reproducibility of the results :  $0.04 \times 10^{-6}$  ; uncertainty due essentially to the variable calculable capacitor :  $0.35 \times 10^{-6}$  (1 s).  
 (<sup>2</sup>) VSL : uncertainty of the comparison with the reference standards which maintain the farad at VSL :  $0.02 \times 10^{-6}$  (1 s).  
 (<sup>3</sup>) NPRL : uncertainty of the comparison with the reference standard which maintains the farad at NPRL :  $0.2 \times 10^{-6}$  (confidence level : 99,7 %).

TABLE III  
Results of the third circular international comparison of 10 pF silica capacitance standards

(3rd circuit)  
 $C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6})$  pF  
 Value of  $\Delta$  (measured at 25 °C)

Standard N°	NBS		NRC		LCIE		IEN		NBS	
	April 1st, 1981 (100 V; 1 592 Hz)	September 1st, 1981 (100 V; 1 592 Hz)	September 1st, 1981 (100 V; 1 592 Hz)	January 4th, 1982 (5 V; 1 592 Hz)	January 4th, 1982 (5 V; 1 592 Hz)	August 14th, 1982 (100 V; 1 592 Hz)	August 14th, 1982 (100 V; 1 592 Hz)	March 1st, 1983 (100 V; 1 592 Hz)	March 1st, 1983 (100 V; 1 592 Hz)	March 1st, 1983 (100 V; 1 592 Hz)
156 775 (108):	— 13.95 <sub>0</sub>	— 14.44 <sub>1</sub> (1)	— 14.44 <sub>1</sub> (1)	— 13.96 <sub>0</sub> (2)	— 13.91 <sub>1</sub> (2)	— 13.91 <sub>1</sub> (2)	— 13.91 <sub>1</sub> (2)	— 13.89 <sub>0</sub>	— 13.89 <sub>0</sub>	— 13.89 <sub>0</sub>
159 852 (119):	— 1.26 <sub>4</sub>	— 1.81 <sub>0</sub>	— 1.81 <sub>0</sub>	— 1.31 <sub>2</sub>	— 1.29 <sub>5</sub>	— 1.29 <sub>5</sub>	— 1.29 <sub>5</sub>	— 1.22 <sub>2</sub>	— 1.22 <sub>2</sub>	— 1.22 <sub>2</sub>
159 853 (120):	— 0.04 <sub>7</sub>	— 0.71 <sub>2</sub>	— 0.71 <sub>2</sub>	— 0.21 <sub>8</sub>	— 0.02 <sub>0</sub>	— 0.02 <sub>0</sub>	— 0.02 <sub>0</sub>	+ 0.09 <sub>8</sub>	+ 0.09 <sub>8</sub>	+ 0.09 <sub>8</sub>
	— 5.08 <sub>7</sub>	— 5.65 <sub>4</sub>	— 5.65 <sub>4</sub>	— 5.16 <sub>3</sub>	— 5.06 <sub>2</sub>	— 5.06 <sub>2</sub>	— 5.06 <sub>2</sub>	— 5.00 <sub>5</sub>	— 5.00 <sub>5</sub>	— 5.00 <sub>5</sub>

(1) NRC: uncertainty of the comparison with the reference standards which maintain the farad at NRC:  $0.013 \times 10^{-6}$  (1 s).  
 (2) LCIE: probable error:  $0.3 \times 10^{-6}$ .

(3) IEN: standard deviation for the value of standard N° 108:  $0.002 \times 10^{-6}$ ; for that of standard N° 119:  $0.004 \times 10^{-6}$ ; for that of standard N° 120:  $0.003 \times 10^{-6}$ .

Values of  $\Delta$  (measured at 20 °C)

Standard N°	IEN	
	August 11th, 1982	August 11th, 1982
156 775 (108):	— 66.23 <sub>0</sub> (1)	— 66.23 <sub>0</sub> (1)
159 852 (119):	— 54.79 <sub>0</sub>	— 54.79 <sub>0</sub>
159 853 (120):	— 50.82 <sub>0</sub>	— 50.82 <sub>0</sub>
	— 57.28 <sub>0</sub>	— 57.28 <sub>0</sub>

(1) Standard deviation for the value of standard N° 108:  $0.002 \times 10^{-6}$ ; for that of standard N° 119:  $0.017 \times 10^{-6}$  (the large magnitude of this uncertainty results from the instability of condenser N° 119 at 20 °C, an instability already noted in 1975); standard deviation for the value of standard N° 120:  $0.003 \times 10^{-6}$ .

One can thereby establish that even the representations of those laboratories which possess a variable calculable capacitor do not all agree within  $1 \times 10^{-7}$ . The imminent commissioning in several laboratories of a second generation of instruments, built to take account of the information gathered from the first, should improve this situation.

We took advantage of the passage of the travelling standards through LCIE to make, in March 1982, a first study of the three General Radio 10 pF standards that we acquired in 1981. If these standards prove to be of a satisfactory quality, they will form, together with the NBS standard on deposit at the BIPM since 1967, the reference group for the Bureau.

March 1983

Revised in September 1983

---

(1) We recall that it concerns 3 NBS condensers that form part of the group described by R. D. CUTKOSKY and L. H. LEE in *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **69C**, 1965, p. 173.

---

## APPENDIX E 3 \*

---

### **Report on international intercomparison of attenuation in coaxial line at 7 GHz**

(Comparison N° 72-2)

by R. W. YELL

National Physical Laboratory (United Kingdom)

---

The CIPM RF Working Group, meeting in October 1972, agreed that a comparison of attenuation in coaxial transmission line, at a frequency of 7 GHz, should take place. The National Physical Laboratory, Teddington was to act as the pilot laboratory and the following laboratories agreed to participate in the intercomparison :

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Torino, Italy (IEN) ;  
National Bureau of Standards, Boulder, USA (NBS) ;  
National Physical Laboratory, Teddington, UK (NPL) ;  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, FRG (PTB) ;  
Research Institute of National Defence, Stockholm, Sweden (RIND).

RIND subsequently withdrew from the intercomparison.

This new intercomparison was in effect an extension of the previous intercomparison of attenuation in coaxial line which took place during 1971-72. As a result of experience gained from that intercomparison, some thought and discussion were given to the type of transfer standard which should be used for coaxial attenuation. The conclusion arrived at was that the fixed attenuators based on 14 mm GPC connectors were still the most viable transfer standards and that many of the problems experienced in the earlier intercomparison were caused by

---

\* Document GT-RF/83-15.

precision connectors which were allowed to become badly soiled and in some cases damaged. Thus the following proposals were made and agreed for this intercomparison :

1. Frequency : The intercomparison should be at 7 GHz.
2. Nominal attenuation values : 6 dB ; 10 dB ; 20 dB ; 30 dB ; 60 dB ;  
Two of each value will be circulated.
3. Transfer standard : Will be supplied by the pilot laboratory and will be based on 14 mm GPC connectors (GR 900).
4. Distribution : A radial distribution will be adopted for the circulation of standards.
5. Circulation : NPL — PTB — NBS — IEN — NPL.
6. Start of exercise : Late summer 1976.

### Transfer attenuators

Two sets of attenuators were circulated, with the nominal attenuation values indicated above and VSWR's less than 1.05 ( $\Gamma = 0.024$ ). They were equipped with GPC-14 connectors, which would ensure the highest possible reproducibility of insertion loss. The standards were assessed for match on a reflectometer which was referenced to a precision sliding load, the system having a resolution of  $\Gamma = 0.001$  (VSWR 1.002) and accuracy of 0.0025 (VSWR 1.005); no significant change in VSWR was observed for a frequency change of  $\pm 5$  MHz about the nominal frequency. Included in the box of transfer standards were two 10 dB padding attenuators (VSWR  $< 1.01$ ); the measurements were specified to be made between the padding attenuators. These components and the transfer standards were colour-coded at the connectors to ensure consistency of connection order. The attenuators were identified as follows :

<i>Nominal Attenuation Value</i>	<i>Type and Serial Number</i>
60 dB	Narda 23305 N° 1
60 dB	Narda 23305 N° 2
30 dB	Narda 23306 N° 1
30 dB	Narda 23306 N° 2
20 dB	Narda 23307 N° 1
20 dB	Narda 23307 N° 2
10 dB	GR 900 G10 N° 560
10 dB	GR 900 G10 N° 551
6 dB	GR 900 G6 N° 417
6 dB	GR 900 G6 N° 376

The two 10 dB attenuators included for use as padding attenuators are GR 900-G10 type, serial numbers 272 and 290.



### Measurement procedure and conditions

In order to achieve the maximum consistency for the intercomparison all participants were to use the following interconnection scheme.

The two 10 dB attenuators (Serial numbers 272 and 290) should be used as « padding » attenuators around the attenuators to be measured. Attenuator N° 272 has a coupling ring with red stripes at one end and attenuator N° 290 has blue stripes at one end. These should be connected appropriately to the « red » and « blue » ends of the attenuators under test.

In order to set the « pre-measurement » condition the red and blue ends of the padding attenuators are connected together.

The adaptors to APC-7 or APC-N circulated with the standards were only intended to assist with the connection of the padding attenuators into the measurement circuit.

The measurements at the pilot laboratory were done at a temperature of  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , at a frequency of  $7.0 \pm 0.005$  GHz and with an input power level not exceeding 10 mW. Where possible, participating laboratories were requested to duplicate these conditions. Participants were reminded that the use of excessive force in tightening or loosening the locking rings on the attenuators may result in damage to the attenuators.

On conclusion of the measurements the attenuators should be returned to the pilot laboratory as soon as possible with a copy of the results and a note of the measurement conditions.

### Attenuation measurement equipment

With the exception of PTB the measuring equipments used at the participating laboratories were parallel intermediate-frequency substitution systems with superheterodyne down-conversion from 7 GHz ; the intermediate-frequency reference standard was a waveguide below-cut-off attenuator. PTB used a power-ratio method combined with RF substitution. The systematic uncertainties quoted by the laboratories were as follows :

PTB	appr. 0.002 dB/10 dB (.03 dB for 60 dB)
NBS	appr. 0.05 dB/10 dB
IEN	0.02 dB/10 dB + .01 dB
NPL	0.001 dB/10 dB.

### Attenuation measurement results

The values determined by each laboratory are shown in Table I along with standard deviations of the data and systematic uncertainty error of the equipment. By taking the mean values and preparing a maximum plus and minus error by adding the appropriate function of the standard deviation to the systematic error one can derive a set of results which, in most cases, are consistent. The major exceptions are

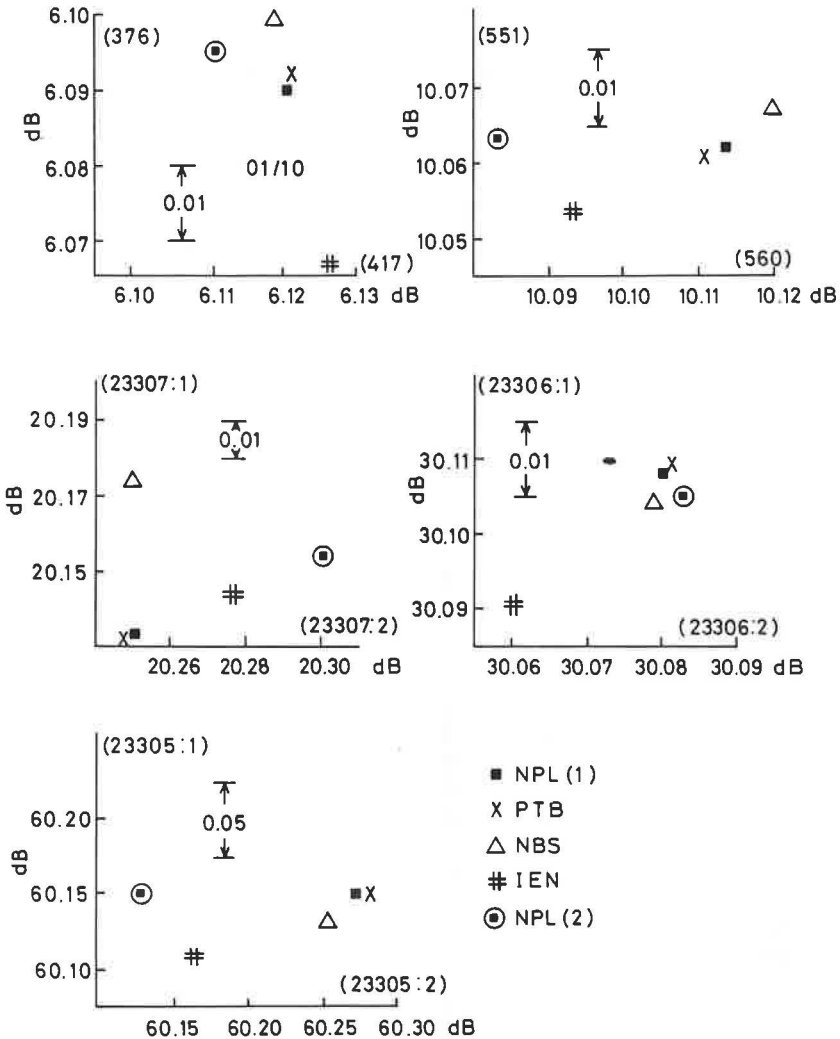


Fig.1 - International Intercomparison of Attenuation at 7GHz

TABLE I

*Results of measurements from participating laboratories*

Mean values, standard deviations and systematic uncertainty data are quoted in decibels.

sd : is the one-sigma value of the standard deviation : reading times  $10^{-3}$ .

sv : is the systematic uncertainty associated with the measuring system : reading times  $10^{-3}$ .

## 6 dB Transfer Attenuators

	GR N° 376			GR N° 417		
	Mean	sd	sv	Mean	sd	sv
NPL	6.090	1.4	1	6.121	0.4	1
PTB	6.092	0.9	3	6.121	0.7	3
NBS	6.099	1	50	6.119	2	50
IEN	6.066	1	22	6.121	2	22
NPL	6.095	1.5	1	6.111	1.5	1

## 10 dB Transfer Attenuators

	GR N° 551			GR N° 560		
	Mean	sd	sv	Mean	sd	sv
NPL	10.062	0.8	1	10.114	0.9	1
PTB	10.061	0.9	3	10.111	0.4	2
NBS	10.067	2	50	10.120	1	50
IEN	10.054	1	30	10.093	1	30
NPL	10.063	0.7	1	10.083	1.5	1

## 20 dB Transfer Attenuators

	Narda 23307 N° 1			Narda 23307 N° 2		
	Mean	sd	sv	Mean	sd	sv
NPL	20.133	2	2	20.249	2	2
PTB	20.132	1.3	4	20.248	1.1	4
NBS	20.174	1	110	20.251	1	110
IEN	20.144	1	50	20.276	1	50
NPL	20.154	1.6	2	20.301	1	2

## 30 dB Attenuators

	Narda 23306 N° 1			Narda 23306 N° 2		
	Mean	sd	sv	Mean	sd	sv
NPL	30.108	2	3	30.080	2	3
PTB	30.109	1.4	3	30.081	2	3
NBS	30.104	2	170	30.079	1	170
IEN	30.09	10	70	30.06	10	70
NPL	30.105	1	3	30.083	1	3

## 60 dB Transfer Attenuators

	Narda 23305 N° 1			Narda 23305 N° 2		
	Mean	sd	sv	Mean	sd	sv
NPL	60.150	15	5	60.287	10	5
PTB	60.151	(**)		60.289	3	30
NBS	60.134	2	400	60.253	2	400
IEN	60.11	10	130	60.16	10	130
NPL	60.150	3.5	5	60.128	3	5

(\*\*) PTB declared this device to be unstable. They did, however, quote maximum and minimum values for this device; the value shown is simply the arithmetic mean of these values.

the results for those attenuators which have apparently changed or have been reported as unstable (20 dB Nos. 1 and 2, 60 dB No. 2). The graphical presentation of these data is based on the Youden plot in which the mean value for one device is plotted against that of the second: the two devices having similar attenuation value. These plots are shown in Fig. 1. The code identifying each participating laboratory is given on the graph.

### Conclusions and comments

It is left to individual laboratories to form their own conclusions with regard to the attenuation measurements. However a few comments with regard to the intercomparison may be relevant.

a) Some of the changes and uncertainties seen in the measurements were certainly due to instability in the transfer standards, hence more suitable devices must be developed for future intercomparisons of this type.

b) A radial distribution of the transfer standards was originally proposed. This method of distribution was thought to give the pilot laboratory full control of the exercise, to the benefit of all concerned. In the event this proved to be impossible to conduct as originally intended. NPL were unable to anticipate the return of the transfer attenuators because of indeterminate delays at the participating laboratories. Thus, in order to expedite the intercomparison, NPL confined its checks to dc resistance and a mechanical inspection.

c) PTB, the first laboratory to measure the transfer standards, declared that they found an instability in the 60 dB attenuator serial No. 1 of about 0.2 dB. However none of the other laboratories commented on any abnormal behaviour from this device.

d) NBS questioned the value of using the bracketing attenuators to «substantially eliminate measurement system mismatch error». The main cause of concern was the fact that the bracketing pads reduced signal levels by 20 dB and would cause extra problems with signal/noise ratio and leakage. In the event the standard deviation data they submitted suggest no particular problems with either parameter.

e) PTB commented on the difficulty they experienced on achieving proper alignment of the GR-900 connectors and the effect that a very small misalignment (bending moment) could have on the attenuation — up to 0.2 dB.

8 October 1983

---

APPENDIX E 4

---

**An international intercomparison  
of power standards in WR-28 waveguide**

(Comparison N° 72-5)

by R. F. CLARK, E. J. GRIFFIN, T. INOUE and M. P. WEIDMAN

---

The final report of this comparison has been published in *Metrologia*,  
17, 1981, pp. 27-31.

---

APPENDIX E 5

---

**International intercomparison of electric  
field strength at 100 MHz**

(Comparison N° 72-7)

by C. F. STUBENRAUCH, P. G. GALLIANO and T. M. BABIJ

---

The final report of this comparison has been published in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-32**, 1983, pp. 235-237.

---

## APPENDIX E 6\*

---

### **Final report on the international intercomparison of power density at 2.45 GHz**

(Comparison N° 72-11)

by J. D. HUNTER

CSIRO, Division of Applied Physics (Australia)

---

Pilot laboratory : CSIRO, Division of Applied Physics (NML), Australia

Participants :

Department of Health, Education and Welfare (BRH), USA  
National Defence Research Institute (FOA), Sweden  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), Italy  
National Bureau of Standards (NBS), USA  
CSIRO, Division of Applied Physics (NML), Australia  
National Physical Laboratory (NPL), United Kingdom

### **Introduction**

At the 13th Meeting of the Consultative Committee on Electricity at Sèvres in 1972 it was proposed that an international intercomparison of power density at 2.45 GHz be undertaken, and NML was appointed the pilot laboratory.

The travelling standards were first measured by the pilot laboratory in July 1975, and then circulated in a «petal pattern» returning to the pilot laboratory after being measured by the North American participants, and again for the final measurement after circulating in Europe.

---

\* Document GT-RF/83-2.



## The travelling standards

Three commercially available power-density monitors were offered as travelling standards — two by BRH and one by NML.

They were :

Narda 8 100 consisting of a meter, model 8110 (S/N 02109) and detachable probe, model 8121A (S/N 02210)

Holiday 1500 consisting of a meter and permanently attached probe (S/N 12817)

Narda 8305 consisting of a meter, model 8315A (S/N 03015) and detachable probe, model 8321 (S/N 03021)

Each monitor was a battery-powered instrument comprising electronic circuitry and an indicating meter in a metallic box to which the sensing probe was connected by a flexible cable. Two monitors, the Narda 8100 and Holiday 1500 had probes with two orthogonal elements mounted in the plane normal to the probe handle axis, while the third instrument, the Narda 8305, had a probe with three orthogonal elements which was described by the manufacturer as isotropic. Each probe was marked to indicate to participants the direction in which it should be oriented in an electromagnetic field.

BRH supplied with their monitors a probe-support device which was circulated to all participants to use if they chose.

The Narda 8305 failed after the calibration by IEN and was withdrawn from circulation.

## Results and conclusions

The results of the intercomparison are presented in Table I. The same results are shown in graphical form in Figs. 1, 2, 3 in chronological order on a proportional time scale, with the results of the pilot laboratory joined by a dashed line in an attempt to reveal any drifts in the travelling standards. In cases where participants did not indicate a date of test on their report, an approximate date has been inferred by the pilot laboratory from associated correspondence.

The results are given as a correction factor to be multiplied by a scale reading near  $10 \text{ mW/cm}^2$ . It should be noted that the calibrations by IEN of the Holiday 1500 and Narda 8305 were done at scale readings somewhat less than  $10 \text{ mW/cm}^2$ . However, BRH commented that « tests of the instruments indicated that all meters were highly linear ( $\pm 1\%$ ) over their individual ranges ».

TABLE I

*Correction factor near 10 mW/cm<sup>2</sup>*

Laboratory	Date of Measurement	Frequency GHz	Temperature °C	Correction Factor			Uncertainty
				Narda 8100	Holiday 1500	Narda 8305	
NML	July 75	2.45 ± 0.025	22 ± 2	1.00	0.91	0.95	± 0.5 dB
NBS	March 76 (1)	2.45 ± 0.0001	23 ± 1.5	1.09	1.01	1.04	± 0.5 dB
BRH	June 76 (1)	2.45	Not Stated	0.94	0.86	0.93	(± 0.69 dB) (2)
NML	April 77	2.45 ± 0.025	22 ± 2	0.97	0.93	1.12	± 0.5 dB
FOA	August 77 (1)	2.45 ± 0.05	22 ± 2	0.92	0.86	1.04	± 0.15 (3)
IEN	October 78	2.45 ± 0.05	21 ± 2	8.15	6.78	7.91	± 19% (4)
				10.00	6.76	7.93	± 10% (4)
NPL	March 80 (1)	2.438 (a) 2.437 (b)	23	1.019 (a)	1.022 (b)	—	± 0.3 dB
NML	July 80	2.45 ± 0.025	22 ± 2	0.93	0.98	—	± 0.5 dB

(1) Not stated in report. Approximate date inferred from associated correspondence.

(2) Not stated in report. Extracted from DHEW Publication (FDA) 75.8028 accompanying report.

(3) Directly additive to the correction factor.

(4) The IEN report states: «The maximum uncertainty of the estimated power density due to calibration and approximation errors is 19%. An additional error of 10% must be considered for the measured power density due to unwanted VSWR (after averaging)».

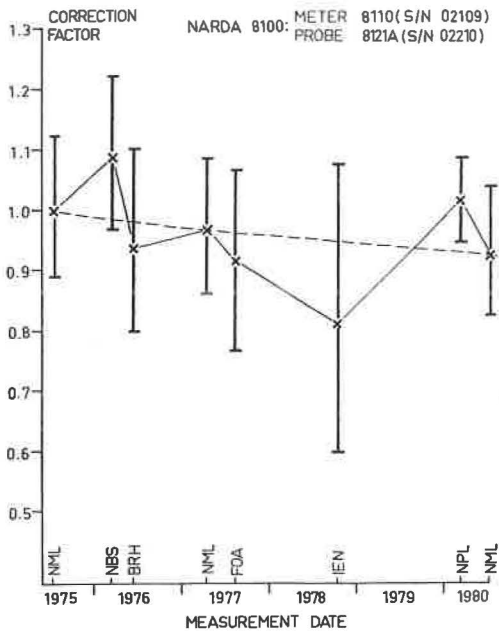


Fig. 1.

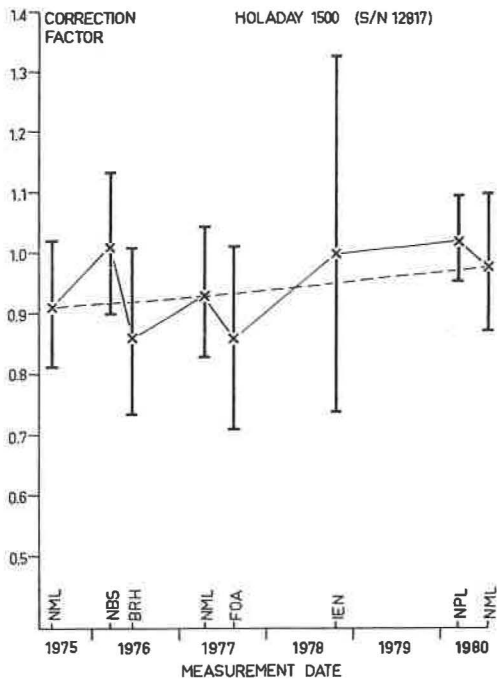


Fig. 2.

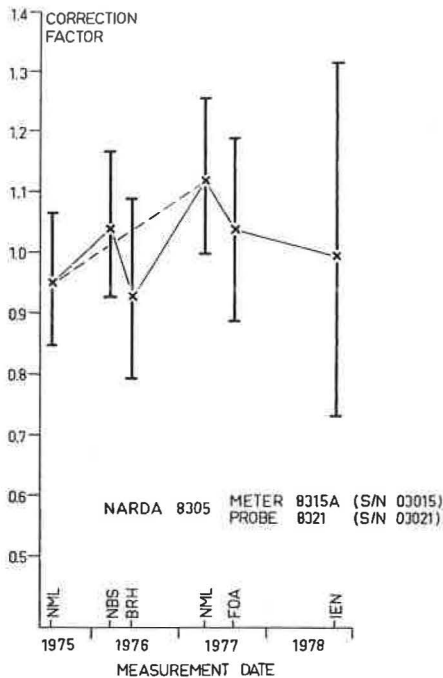


Fig. 3.

It appears from Table 1 that the differences between the results of participants are, in many cases, systematic. This is highlighted by a comparison of the curves obtained by joining consecutive results in Figs. 1, 2 and 3.

The maximum ratio of highest to lowest results submitted for any of the three travelling standards is approximately 1.3 dB including any drift which may have been present.

It is regrettable that the intercomparison took so long to complete, thereby placing a severe demand on the long-term stability of the monitors. Much of the delay was incurred because several participants were developing calibration facilities during the course of the intercomparison, and were not always able to test the travelling standards as soon as they were received.

APPENDIX E 7

---

**Report on the international intercomparison  
of Ar-ion laser power measurements at the wavelengths  
of 488 nm and 515 nm**

(Comparison N° 72-13b)

by M. ENDO and T. HONDA  
Electrotechnical Laboratory (Japan)

---

A paper on this comparison has been published : ENDO, M. and HONDA, T. International Intercomparison of Laser Power Measurements in the Visible Region. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-32**, 1983, pp. 77-81.

---

APPENDIX E 8

---

**International intercomparison of power  
at 15 GHz in waveguide R 140**

(Comparison N° 75-A1)

by H. BAYER

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Fed. Rep. of Germany)

---

The final report has been published as Bureau International des Poids et Mesures *Monographie* **84/3**.

---

APPENDIX E 9

---

**International intercomparison of RF voltage  
at 100 MHz, 250 MHz, 500 MHz and 1 000 MHz**

(Comparison N° 75-A5)

by H. BAYER and D. JANIK

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Fed. Rep. of Germany)

---

The final report has been published as Bureau International des Poids et Mesures *Monographie* **84/1**.

---

APPENDIX E 10

---

**An international intercomparison of reflection  
coefficient magnitudes at 10 GHz**

(Comparison N° 75-A12)

by F. L. WARNER

Royal Signals and Radar Establishment (United Kingdom)

---

This final report has been published as Bureau International des  
Poids et Mesures *Monographie* 84/2.

---



APPENDIX E 11

---

**Ultrasonic continuous-wave beam-power measurements**

(Comparison N° 78-15)

by C. E. TSHIEGG, M. GREENSPAN and D. C. EITZEN  
National Bureau of Standards (United States of America)

---

This final report has been published in *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **88**, 1983, pp. 91-103.

---



---

# TABLE DES MATIÈRES

---

## COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

16<sup>e</sup> Session (1983)

---

	Pages
Notice sur les organes de la Convention du Mètre . . . . .	v
Liste des membres . . . . .	vii
Ordre du jour . . . . .	viii
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par A. F. Dunn . . . . .</b>	<b>E 1</b>
Rapports des représentants des laboratoires et nouvelle valeur de la constante $2e/h$ (Déclaration) . . . . .	2
État d'avancement des comparaisons internationales . . . . .	4
Comparaisons internationales à prévoir . . . . .	5
Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences . . . . .	5
Publication des résultats des comparaisons internationales . . . . .	6
Réalisation ou reproduction de l'ohm à partir de $h/e^2$ . . . . .	6
Travaux du BIPM . . . . .	7
Expression des incertitudes de mesure . . . . .	7
Questions diverses (Annonce du centenaire de la fondation du LCIE; participation de laboratoires privés aux comparaisons internationales; liaison entre CCE et URSI) . . . . .	7
Recommandations présentées au Comité International des Poids et Mesures :	
Recommandation E 1 (1983) (Effet Hall quantique) . . . . .	9
Recommandation E 2 (1983) (Activités du BIPM en électricité) . . . . .	9
Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences . . . . .	11
Comparaisons terminées depuis la dernière session (juillet 1978) . . . . .	11
Comparaisons en cours d'achèvement . . . . .	11
Comparaisons en cours (comparaisons abandonnées; comparaisons maintenues)	11
Comparaisons projetées . . . . .	11
Sujets éventuels de comparaisons futures . . . . .	12
Directives concernant le déroulement des comparaisons internationales . . . . .	20

## Annexes

E 1. Documents de travail présentés à la 16 <sup>e</sup> session du CCE . . . . .	23
E 2. BIPM. — Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF, par G. Leclerc . . . . .	28
E 3. NPL (Royaume-Uni). — Rapport sur la comparaison internationale d'affaiblissement à la fréquence de 7,0 GHz en coaxial (comparaison N° 72-2), par R. W. Yell . . . . .	33
E 4. NRC (Canada). — Comparaison internationale d'étalons de puissance sur un guide d'ondes WR-28 (comparaison N° 72-5), par R. F. Clark, E. J. Griffin, T. Inoue et M. P. Weidman . . . . .	40
E 5. NBS (États-Unis d'Amérique). — Comparaison internationale d'intensité de champ électrique à 100 MHz (comparaison N° 72-7), par C. F. Stubenrauch, P. G. Galliano et T. M. Babij . . . . .	52
E 6. CSIRO (Australie). — Rapport final sur la comparaison internationale de puissance surfacique à 2,45 GHz (comparaison N° 72-11), par J. D. Hunter . . . . .	59
E 7. ETL (Japon). — Rapport sur la comparaison internationale de mesures de puissance d'un laser à argon ionisé, aux longueurs d'onde $\lambda = 488$ nm et $\lambda = 515$ nm (comparaison N° 72-13b), par M. Endo et T. Honda . . . . .	64
E 8. PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Comparaison internationale de puissance à 15,0 GHz : efficacité de montures bolométriques sur guide d'ondes R 140 (comparaison N° 75-A1), par H. Bayer . . . . .	75
E 9. PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Comparaison internationale de tension sur ligne coaxiale à 100 MHz, 250 MHz, 500 MHz et 1 000 MHz (comparaison N° 75-A5), par H. Bayer et D. Janik . . . . .	82
E 10. RSRE (Royaume-Uni). — Comparaison internationale de coefficients de réflexion à 10 GHz (comparaison N° 75-A12), par F. L. Warner . . . . .	92
E 11. NBS (États-Unis d'Amérique). — Comparaison internationale de puissance d'un faisceau ultrasonique (2 et 5 MHz) (comparaison N° 78-15), par C. E. Tschiegg, M. Greenspan et D. G. Eitzen . . . . .	101
<b>Notice for the reader of the English version; Avertissement au lecteur de la version anglaise . . . . .</b>	<b>103</b>
<b>Note on the organs of the Convention du Mètre . . . . .</b>	<b>105</b>
<b>Agenda . . . . .</b>	<b>108</b>
<b>Report to the Comité International des Poids et Mesures, by A. F. Dunn . . . . .</b>	<b>109</b>
Reports from the laboratories (Statement on the value of $2e/h$ ) . . . . .	110
Progress in international comparisons . . . . .	112
Future international comparisons . . . . .	112
Report from the Working Group on radiofrequency quantities . . . . .	113
Publication of the results of international comparisons . . . . .	114
Maintenance of the ohm in terms of $h/e^2$ ; quantized Hall resistance . . . . .	114
Current and future work in electricity at BIPM . . . . .	114
Expression of uncertainties in measurements . . . . .	115
Miscellaneous subjects (Centennial of LCIE; private laboratories wishing to take part in intercomparisons; liaison between CCE and URSI) . . . . .	115

Recommendations submitted to the Comité International des Poids et Mesures :	
Recommendation E 1 (1983) (Quantum Hall effect) . . . . .	116
Recommendation E 2 (1983) (Work on electricity at the BIPM) . . . . .	116
Report of the Working Group on radiofrequency quantities . . . . .	
Comparisons completed since the last meeting of the Working Group (July 1978)	118
Comparisons nearly completed . . . . .	118
Current comparisons (Comparisons abandoned; continuing comparisons) . . . . .	118
New comparisons . . . . .	119
Possible future topics for intercomparison . . . . .	119
Guidelines for the conduct of RF intercomparisons . . . . .	126

### Appendices

E 1. Working documents submitted to the CCE at its 16th Meeting ( <i>see</i> page E 23) . . . . .	129
E 2. BIPM. — Circular international comparison of 10 pF silica capacitance standards, by G. Leclerc . . . . .	130
E 3. NPL (United Kingdom). — Report on international intercomparison of attenuation in coaxial line at 7 GHz (comparison N° 72-2), by R. W. Yell. . . . .	135
E 4. NRC (Canada). — An international intercomparison of power standards in WR-28 waveguide (comparison N° 72-5), by R. F. Clark, E. J. Griffin, T. Inoue and M. P. Weidman . . . . .	142
E 5. NBS (U.S.A.). — International intercomparison of electric field strength at 100 MHz (comparison N° 72-7), by C. F. Stubenrauch, P. G. Galliano and T. P. Babij. . . . .	143
E 6. CSIRO (Australia). — Final report on the international intercomparison of power density at 2.45 GHz (comparison N° 72-11), by J. D. Hunter . . . . .	144
E 7. ETL (Japan). — Report on the international intercomparison of Ar-ion laser power measurements at the wavelengths of 488 nm and 515 nm (comparison N° 72-13b), by M. Endo and T. Honda. . . . .	149
E 8. PTB (Fed. Rep. of Germany). — International intercomparison of power at 15 GHz in waveguide R 140 (comparison N° 75-A1), by H. Bayer . . . . .	150
E 9. PTB (Fed. Rep. of Germany). — International intercomparison of RF voltage at 100 MHz, 250 MHz, 500 MHz and 1 000 MHz (comparison N° 75-A5), by H. Bayer and D. Janik . . . . .	151
E 10. RSRE (United Kingdom). — An international intercomparison of reflection coefficient magnitudes at 10 GHz (comparison N° 75-A12), by F. L. Warner. . . . .	152
E 11. NBS (U.S.A.). — Ultrasonic continuous-wave beam-power measurements (comparison N° 78-15), by C. E. Tschiegg, M. Greenspan and D. C. Eitzen. . . . .	153

IMPRIMERIE DURAND  
28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal : Imprimeur, 1984, n° 4667  
ISBN 92-822-2082-6

ACHEVÉ D'IMPRIMER : DÉCEMBRE 1984

Imprimé en France

