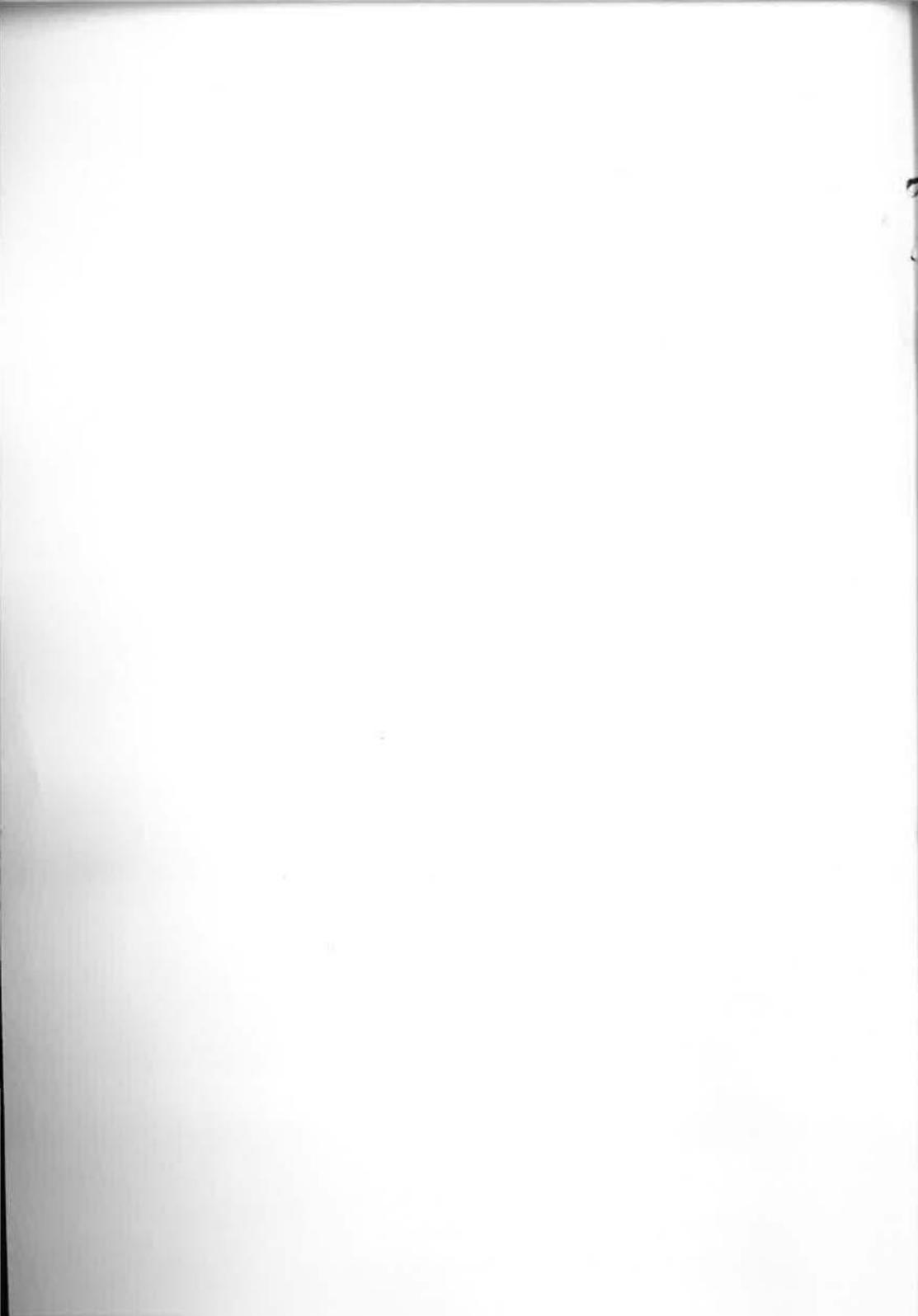


COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

SESSION DE 1978



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

COMITÉ CONSULTATIF
D'ÉLECTRICITÉ

15^e SESSION – 1978
(13-14 septembre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2061-3

NOTICE HISTORIQUE

Les organes de la Convention du Mètre

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. La dotation du Bureau International pour l'année 1979 est de l'ordre de 6 700 000 francs-or, soit environ 2 650 000 dollars U.S.

(1) Au 31 décembre 1979, quarante-cinq États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

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

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

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

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

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

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

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

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

Comité International des Poids et Mesures

Secrétaire
J. DE BOER

Vice-Président
P. HONTI

Président
J. V. DUNWORTH

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Président

F. J. LEHANY, Membre du Comité International des Poids et Mesures ;
Directeur, National Measurement Laboratory, *Lindfield* (Australie).

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.*

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], *Tokyo.*

ISTITUTO ELETTEOTECNICO 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 MEASUREMENT LABORATORY [NML], *Lindfield* (Australie).

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 15^e session

1. Déterminations absolues de l'ampère, du farad, de l'ohm et du volt ; exactitude des résultats.
 2. Exactitude et précision des représentations de l'ohm et du volt conservées par les grands laboratoires nationaux ; méthodes utilisées pour les estimer.
 3. Exactitude des représentations de l'ohm et du volt conservées par le BIPM.
 4. Comparaison des représentations du farad, de l'ohm et du volt ; amélioration des étalons de transfert.
 5. Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité de 10 pF.
 6. Comparaison internationale circulaire d'étalons de transfert courant continu - courant alternatif ; résultats.
 7. Organisation éventuelle de comparaisons internationales circulaires d'étalons d'inductance et de puissance à basse fréquence.
 8. Relations avec l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML).
 9. Information sur l'état d'avancement des travaux du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes.
 10. Examen du rapport du Groupe de travail pour les Grandeurs aux Radiofréquences.
 11. Examen du programme de travail du BIPM pour les années 1980-1984 ; extension des types de comparaisons internationales à effectuer sous les auspices du BIPM.
 12. Questions diverses.
-

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ
(15^e Session – 1978)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par A. F. DUNN, Rapporteur

Le Comité Consultatif d'Electricité (CCE) s'est réuni pour sa quinzième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu quatre séances les mercredi 13 et jeudi 14 septembre 1978.

Etaient présents :

F.J. LEHANY, membre du CIPM, président du CCE.

Les délégués des laboratoires membres :

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

Bureau National de Metrologie : Laboratoire Central
des Industries Electriques [LCIE], Fontenay-aux-Roses
(Ph. OLMER, J. BLOUET, N. ELNÉKAVÉ, A. FAU).

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

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tokyo (H. HIRAYAMA).

Institut de Métrologie D.I. Mendéléev [IMM], Leningrad
(N. STOUDETSOV, W. FOMENKO).

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

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

National Measurement Laboratory [NML], Lindfield
(F.J. LEHANY).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington
(A.E. BAILEY, C.H. DIX).

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

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braun-
schweig (H.J. SCHRADER, V. KOSE).

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

Le Directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités : SUNG YUNG-LIN (Institut National de Métrologie,
Pékin) et KAO CHIEH (Institut National de Métrologie,
Tchengtu).

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, directeur
honoraire du BIPM, T.J. QUINN, sous-directeur du BIPM,
G. LECLERC, T. WITT et D. REYMANN (BIPM).

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

Le président du CCE et le directeur du BIPM souhaitent la
bienvenue aux participants, puis l'ordre du jour qui avait été
envoyé aux membres le 29 mai 1978 est adopté après l'adjonc-
tion des deux points suivants :

- examen du rapport du Groupe de travail pour les Grandeurs
aux radiofréquences ;
- examen du programme de travail du BIPM pour les années
1980-1984 ; extension des types de comparaisons inter-
nationales à effectuer sous les auspices du BIPM.

Mr Dunn est nommé rapporteur.

1. RÉALISATIONS DES UNITÉS ÉLECTRIQUES SI

(Documents CCE/78-3, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 28, 30, 32 et 34)

Le CCE enregistre les progrès obtenus par les labora-
toires dans la réalisation des unités électriques SI.

Mr Stoudentsov propose que l'on entreprenne des travaux
pour améliorer l'exactitude des valeurs attribuées aux con-
stantes physiques fondamentales et que, lors de sa prochaine
session, le CCE déduise des valeurs de ces constantes celle
du rapport fréquence/tension que l'on utilise lorsqu'on met en
oeuvre l'effet Josephson pour conserver le volt.

Le *Président* fait remarquer qu'il n'existe pas de méthode unique pour déterminer les constantes physiques fondamentales et réaliser les unités électriques SI. Mais ces grandeurs sont liées par des lois physiques ; leurs valeurs doivent par conséquent être cohérentes dans les limites des incertitudes admises.

On ne devra modifier la valeur conventionnelle (483 594,0 GHz/V) recommandée par le CCE en 1975 (Recommandation E 2 (1975)) que lorsque les incertitudes des résultats expérimentaux seront devenues beaucoup plus faibles que le changement proposé.

Le CCE confirme donc sa Recommandation E 3 (1975) et adopte la *Recommandation* E 1 (1978).

2. EXACTITUDE ET PRÉCISION DES REPRÉSENTATIONS DE L'OHM ET DU VOLT CONSERVÉES PAR LES GRANDS LABORATOIRES NATIONAUX

Ayant pris connaissance du document CCE/78-22, le CCE a brièvement discuté la question de l'estimation des incertitudes de mesure.

Etant donné que le CIPM a créé en 1977 un Groupe de travail chargé d'étudier cette question, le CCE décide de lui soumettre le document CCE/78-4 ; mais, provisoirement, en attendant les conclusions du Groupe de travail et pour obtenir sans délais l'uniformité souhaitée dans la manière d'exprimer les incertitudes, le CCE adopte la *Recommandation* E 2 (1978).

3. EXACTITUDE DES REPRÉSENTATIONS DE L'OHM ET DU VOLT CONSERVÉES PAR LE BIPM

Le CCE examine les résultats contenus dans les documents 78-21 (conservation du volt) et 78-23 (exactitude de la représentation de l'ohm).

Mr *Dix* commente le rapport du NPL sur l'estimation de la valeur en unité SI de la représentation de l'ohm conservée au BIPM (document 78-38) ; il conclut que les résultats contenus dans ce rapport sont en bon accord avec ceux du BIPM.

4. COMPARAISONS INTERNATIONALES
DES REPRÉSENTATIONS DE L'OHM ET DU VOLT ;
AMÉLIORATION DES ÉTALONS DE TRANSFERT

Le CCE est d'avis qu'il n'est pas utile, actuellement, de rétablir les grandes comparaisons périodiques des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice interrompues après les comparaisons de 1973 ; il laisse à l'initiative du BIPM le soin d'organiser les comparaisons restreintes qui lui sembleront nécessaires.

La précision des comparaisons étant surtout limitée par le comportement des étalons de transfert, des études sont en cours dans plusieurs laboratoires pour améliorer les performances de ces étalons.

5. COMPARAISON INTERNATIONALE DES ÉTALONS
DE CAPACITÉ DE 10 pF
(Documents CCE/78-5, 8 et 24)

La seconde comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF est terminée. A la demande de la plupart des membres du CCE une troisième comparaison sera organisée. Les laboratoires suivants ont demandé à y participer : ASMW, IEN, IMM, LCIE, NPRL, NRC, PTB et VSL. Le NBS a accepté de continuer à être le laboratoire pilote de la comparaison.

6. ÉTALONS DE TRANSFERT
COURANT CONTINU - COURANT ALTERNATIF
(Document CCE/78-2 bis)

La première comparaison internationale d'étalons de transfert courant continu - courant alternatif est terminée ; l'accord entre les résultats obtenus par les différents laboratoires est très satisfaisant (environ 1×10^{-5}). Le CCE considère que la comparaison de ces instruments de transfert présente beaucoup d'intérêt et décide l'organisation d'une seconde comparaison, à des fréquences comprises entre 40 Hz et 1 MHz. Le VSL sera le laboratoire pilote de cette seconde comparaison à laquelle ont décidé de participer l'ASMW, l'IEN, l'IMM, le LCIE, le NPRL, le NRC et la PTB.

7. COMPARAISONS INTERNATIONALES D'ÉTALONS D'INDUCTANCE ET D'INSTRUMENTS DE MESURE DES PUISSANCES À BASSE FRÉQUENCE

La PTB propose d'être le laboratoire pilote d'une comparaison d'instruments de mesure des puissances à basse fréquence (50 ou 60 Hz) ; les laboratoires suivants envisagent d'y participer : IEN, LCIE, NBS, NPL, NRC et VSL.

Plusieurs membres du CCE ayant jugé intéressante la comparaison d'étalons d'inductance propre (10 mH, à la fréquence de 1592 Hz), la PTB offre d'être le laboratoire pilote d'une telle comparaison. L'IMM fournira l'étalon de transfert. Les laboratoires suivants participeront à la comparaison : ASMW, IEN, IMM, NIM (Rép. Pop. de Chine) et VSL.

8. RELATIONS AVEC L'OIML ET D'AUTRES ORGANISATIONS

Le CCE examine la question du recouvrement possible des activités du BIPM et des Comités Consultatifs du CIPM et des activités de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) ou d'autres organisations concernées par l'uniformisation des étalons électriques. Après discussion, il adopte la *Recommandation E 3* (1978).

9. INFORMATION SUR L'ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU GROUPE DE TRAVAIL DU CIPM SUR L'EXPRESSION DES INCERTITUDES

Mr *Giacomo* signale qu'une première enquête sur la manière d'estimer et d'exprimer les incertitudes de mesure a été effectuée par le BIPM. Le nombre et la diversité des opinions reçues attestent l'importance du problème et les difficultés que présente sa solution. Une seconde enquête sur des points précis va maintenant être entreprise.

10. RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES (Document CCE/78-26)

Mr *Bailey* présente le rapport de ce Groupe de travail qui s'est réuni les 25, 26 et 27 juillet 1978 (voir p. E 9).

Le CCE approuve le programme de comparaisons présenté dans le rapport et remercie le Groupe pour le travail qu'il a effectué.

11. PROGRAMME DE TRAVAIL DU BIPM

Mr *Giacomo* commente le programme contenu dans le document CCE/78-27.

Le CCE discute ce programme et souhaite y ajouter les points suivants :

- Le BIPM doit entreprendre la mesure de condensateurs de 10 pF.
- Avec l'assistance de laboratoires membres du CCE, le BIPM doit s'équiper pour pouvoir effectuer la mesure des étalons de transfert courant continu - courant alternatif.
- A plus long terme et avec l'appui des laboratoires membres du CCE, le BIPM doit acquérir un condensateur calculable puis l'équipement permettant de réaliser l'unité SI de résistance.

Le CCE remarque que les demandes de comparaisons internationales adressées au CCE et au Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences sont déjà importantes et augmentent rapidement. Cette augmentation entraînera un accroissement inévitable de l'effort du BIPM pour assurer la bonne marche des comparaisons.

Beaucoup de laboratoires et d'organisations considèrent ces comparaisons internationales comme un précieux moyen d'assurer l'uniformité internationale.

Le CCE estime que tous les Etats membres de la Convention du Mètre peuvent participer aux comparaisons et que le BIPM doit être capable d'assurer avec succès les services souhaités par ces Etats.

11. QUESTIONS DIVERSES

Mr *Giacomo* attire l'attention des membres du CCE sur le problème du franchissement des frontières par les étalons voyageurs.

Le procédé le plus commode et le plus rapide consiste à utiliser un carnet ATA (carnet de passage en douane pour l'admission temporaire) délivré par une chambre de commerce. Il faut cependant respecter scrupuleusement le mode d'emploi d'un tel carnet ; en particulier, il est impératif de le faire viser par les autorités douanières au moment de la réexportation.

Le *Président* remercie les membres du CCE de leur active et fructueuse collaboration ; puis Mr Terrien se fait l'interprète de ses collègues pour remercier à son tour le *Président* pour la façon aussi aimable qu'efficace avec laquelle il a dirigé les travaux de la 15^e session du CCE.

(16 septembre 1978)

R E C O M M A N D A T I O N S
du Comité Consultatif d'Electricité
présentées
au Comité International des Poids et Mesures

Réalisation des unités électriques SI

RECOMMANDATION E 1 (1978)*

Le Comité Consultatif d'Electricité,
considérant

- *l'importance pour toutes les applications des mesures électriques d'une réalisation plus exacte des unités SI, en particulier du volt et de l'ampère,*
- *les progrès récents accomplis dans ces réalisations, soit par des méthodes directes, soit indirectement par des déterminations de constantes physiques,*
- *les divergences qui subsistent entre les résultats donnés par ces différentes méthodes,*
- *la nécessité de pouvoir comparer des réalisations indépendantes entre elles pour élucider l'origine de ces divergences,*
- *l'amélioration de l'exactitude que l'on obtiendra dès qu'une meilleure cohérence permettra de fixer des valeurs plus exactes pour les différentes réalisations de ces unités,*

confirme sa Recommandation E 3 (1975) de poursuivre et d'intensifier les recherches sur la réalisation directe des unités électriques aussi bien que sur leur réalisation indirecte par des déterminations de constantes physiques.

* Cette Recommandation a été approuvée par le CIPM à sa 67^e session (septembre 1978). La Recommandation E 1 (1978) fera en outre l'objet d'un projet de résolution qui sera soumis à l'approbation de la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures en octobre 1979.

Expression des incertitudes dans les comparaisons internationales

RECOMMANDATION E 2 (1978)*

Le Comité Consultatif d'Electricité,

considérant

- *l'impossibilité de comparer entre elles les estimations de l'incertitude données par les différents laboratoires, lors des comparaisons internationales, en raison de la diversité des règles utilisées pour exprimer ces estimations,*

- *la difficulté d'établir de telles règles sur des bases indiscutables,*

- *l'étude en cours entreprise par le Groupe de travail créé par le Comité International des Poids et Mesures, mais aussi la nécessité urgente d'utiliser à l'intérieur de chaque comparaison, une règle uniforme pour l'expression des incertitudes,*

recommande jusqu'à ce que les conclusions du Groupe de travail soient connues, que le Bureau International des Poids et Mesures fixe, pour chaque comparaison dont il a la responsabilité, une règle conventionnelle commune pour l'expression des incertitudes.

Uniformité des étalons primaires nationaux : liaison avec l'OIML

RECOMMANDATION E 3 (1978)

Le Comité Consultatif d'Electricité,

considérant

- *que l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) a établi un secrétariat chargé de s'occuper de l'uniformité des étalons primaires nationaux utilisés pour la vérification des instruments de mesures électriques,*

- *la possibilité de recouvrement des activités de tels secrétariats avec les activités du Bureau International des Poids et Mesures et des Comités Consultatifs,*

- *que c'est le rôle des organismes de la Convention du Mètre d'assurer l'uniformité des étalons primaires nationaux,*

recommande que le Comité International des Poids et Mesures prenne connaissance de cette situation et fasse en sorte que la liaison avec l'OIML soit suffisante pour éviter les recouvrements.

A P P E N D I C E

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL
POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 25, 26 et 27 juillet 1978.

Etaient présents : Mr A.E. BAILEY (NPL), président ; MM. C. McKay ALLRED (NBS, Boulder), H.M. ALTSCHULER (NBS, Washington ; représentant aussi l'URSI), H. BAYER (PTB), R.F. CLARK (NRC), C.R. DITCHFIELD (RSRE), L. ERARD (LCIE), G. RIETTO (IEN), W. SCHLESOK (ASMW), P.I. SOMLO (NML).

Assistaient aussi à la réunion : MM. P. GIACOMO, directeur du BIPM ; T.J. QUINN, G. LECLERC et D. REYMANN (BIPM).

Excusé : R. ISHIGE (ETL).

Absents : les représentants de l'IMM et de l'IRT⁽¹⁾.

Le président du Groupe et le directeur du BIPM souhaitent la bienvenue aux participants, puis l'ordre du jour qui avait été envoyé aux membres le 28 février 1978 est adopté.

L. Erard est nommé rapporteur.

1. ACTIVITÉS DU GROUPE DE TRAVAIL

1.1. *Comparaisons dans le domaine des ultrasons*

Le Groupe de travail est d'accord pour s'intéresser aux comparaisons de mesures de puissance d'un faisceau ultrasonore tant qu'il n'apparaîtra pas nécessaire de créer un Groupe de travail distinct.)

1.2. *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.

1.3. *Mesures relatives aux impulsions*

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

1.4. *Publication des résultats*

Désirant donner une large diffusion aux résultats des comparaisons, le Groupe de travail confirme sa recommandation GT-RF 7 de 1968 (CCE, 12^e session, 1968, p. E 23). Il précise que chaque participant peut, après avoir reçu l'accord du laboratoire pilote, publier dans sa propre langue les résultats de la comparaison lorsque le rapport final a été approuvé.

(1) La signification des sigles utilisés pour désigner les laboratoires est donnée à la fin du tableau III.

2. COMPARAISONS INTERNATIONALES TERMINÉES DEPUIS LA DERNIÈRE RÉUNION (MAI 1975) DU GROUPE DE TRAVAIL

Cinq comparaisons sont terminées : elles sont détaillées au Tableau I.

3. ÉTAT D'AVANCEMENT DES COMPARAISONS EN COURS

Le résumé de l'état d'avancement des comparaisons organisées en 1972 et 1975 est donné dans le Tableau II.

4. NOUVELLES COMPARAISONS

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

5. QUESTIONS DIVERSES

5.1. *Organisation des comparaisons*

Le Groupe de travail a discuté les principes généraux selon lesquels les futures comparaisons devront être conduites, le rôle des laboratoires pilotes et la forme de présentation des résultats. A cette occasion il a noté la création, par le CIPM, d'un Groupe de travail "sur l'expression des incertitudes de mesure", et remarqué que cela aurait sans doute des conséquences pour lui dans l'avenir.

Le Groupe de travail a décidé d'établir un "guide pour l'organisation des comparaisons" qui contiendra les instructions utiles au bon déroulement des mesures, à savoir :

a) Avant d'entreprendre la comparaison le laboratoire pilote convient avec les autres participants des mesures à faire, du calendrier à respecter et des étalons de transfert à utiliser.

b) Les laboratoires participants doivent faire connaître à l'avance au laboratoire pilote le nom et l'adresse du responsable de la comparaison en ce qui concerne leur laboratoire.

c) Les laboratoires participants doivent informer rapidement le laboratoire pilote des dates d'arrivée et de départ des étalons de transfert ; ils doivent également lui transmettre sans retard les résultats de leurs mesures.

Chaque participant peut exprimer ses résultats sous la forme qui lui convient le mieux ; mais chaque rapport doit néanmoins contenir au moins l'écart-type des erreurs aléatoires, une estimation de l'incertitude systématique et le nombre des mesures effectuées.

d) Le laboratoire pilote doit préparer, à l'occasion de chaque réunion du Groupe de travail, un rapport sur l'état d'avancement de la comparaison. Le moment venu il rédige le rapport final complet et le résumé de ce rapport final destiné aux comptes rendus des travaux du CCE.

Afin de donner au rapport final qui contient les détails techniques des mesures une large diffusion il est recommandé, ainsi qu'il a été dit au paragraphe 1.4. ci-dessus, de le publier dans un journal scientifique.

e) La numérotation des comparaisons qui figure dans les tableaux du présent rapport doit être utilisée comme référence dans toutes les correspondances entre les laboratoires et avec le Groupe de travail.

Le président du Groupe de travail et le directeur du BIPM prépareront un projet de "guide" qui sera prochainement soumis aux membres du Groupe de travail.)

5.2. *Utilité des comparaisons internationales*

Au cours d'un large tour d'horizon sur le sujet, les trois points suivants sont mis en relief :

- Les comparaisons internationales sont un facteur d'amélioration des techniques de mesure.

- Elles permettent de déterminer le niveau de précision atteint actuellement sur le plan international.

- Les résultats obtenus justifient les investissements faits par les laboratoires.

5.3. *Liaison avec l'URSI*

Le Groupe de travail confie à Mr Altschuler le soin de rapporter les résultats de ses travaux à la Commission I de l'URSI.

5.4. *Date de la prochaine réunion*

Le Groupe de travail souhaite tenir sa prochaine réunion en 1981 dans les jours qui précéderont celle du CCE.

(27 juillet 1978)

Le Rapporteur,

L. ERARD

Le Président,

A.E. BAILEY

TABLEAU I

COMPARAISONS TERMINÉES DEPUIS LA DERNIÈRE RÉUNION (MAI 1975)
DU GROUPE DE TRAVAIL

Comparaison N°	Participants*	Observations
72-3 <i>Tension sur coaxial à la fréquence de 1 MHz</i>	<u>NPL</u> ASMW, EQD, IEN, NBS, NML, OMH, PTB	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-8.
72-9 <i>Affaiblissement aux basses valeurs à la fréquence de 10 GHz</i>	<u>PTB</u> IEN, OMH, NML, RIND, RSRE	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-10.
72-10 <i>Affaiblissement à 30 MHz</i>	<u>NML</u> ETL, RIND, NBS, NPL, NRC, OMH, PTB	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-11. Les étalons de transfert du NML sont à la disposition des laboratoires qui désiraient effectuer des mesures complémentaires.
72-12 <i>Bruit blanc à basse température (77 K) à la fréquence de 4,1 GHz sur guide d'ondes</i>	<u>RSRE</u> <u>ETL</u>	Les mesures ont été effectuées par les deux laboratoires, mais les résultats n'ont pas encore été complètement analysés. Le RSRE a présenté verbalement le compte rendu de la comparaison ; le rapport définitif sera communiqué prochainement aux membres du Groupe de travail.
72-13 <i>Puissance laser à ondes entretenues (a), Laser He-Ne de longueur d'onde 633 nm</i>	<u>ETL</u> NBS, NPL, PTB	Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/78-12.

* Le nom du laboratoire pilote est souligné.

TABLEAU II

COMPARAISON EN COURS

1. Comparaisons prévues en 1972

Comparaison N°	Participants*	Observations
72-1 <i>Déphasage sur guide d'ondes R 100, aux fréquences 9,0, 10,0 et 11,2 GHz</i>	<u>NBS</u> ETL, IEN, NML, NRC, RSRE	Cinq laboratoires ont terminé leurs mesures (document GT-RF/78-2).
72-2 <i>Affaiblissement à la fréquence de 7,0 GHz, en coaxial</i>	<u>NPL</u> IEN, NBS, PTB	Les étalons de transfert ont été mesurés par tous les participants et ont été renvoyés au NPL. Le rapport final sera prochainement publié. Un rapport provisoire est donné dans le document GT-RF/78-7.
72-4 <i>Puissance sur guide d'ondes, R 620 ou R 740, à 65 GHz</i>	<u>NPL</u> NBS	Le NPL n'a pas encore terminé l'évaluation de son calorimètre à 65 GHz. On espère que la comparaison débutera en 1979 (document GT-RF/78-7).
72-5 <i>Puissance sur guide d'ondes à la fréquence de 35 GHz</i>	<u>NRC</u> ETL, NBS, RSRE	Le NBS et le RSRE ont terminé leurs mesures ; l'ETL devrait terminer les siennes prochainement. Les étalons de transfert seront ensuite retournés au NRC pour les dernières mesures ; le rapport final sera alors publié (document GT-RF/78-3). L'EQD participera, non officiellement, à cette comparaison.
72-6 <i>Puissance sur coaxial, à la fréquence de 6 GHz</i>	<u>NBS</u> NML, NPL, LCIE, IEN, RIND, NRC, PTB, OMH	Sept laboratoires ont terminé leurs mesures (document GT-RF/78-2).
72-7 <i>Champ électrique à la fréquence de 100 MHz</i>	<u>NBS</u> IEN, FTZ, UTW	Les mesures restent à faire par un laboratoire (document GT-RF/78-2).

72-8 Gain d'un cornet à la fréquence de 10 GHz
complacé par 8-5

IRT
 NBS, IEN,
 NRC

La comparaison n'a pas encore commencé ; aucune information n'est parvenue au Groupe de travail. L'avenir de cette comparaison sera déterminé par correspondance.

72-11 Puissance surfacique à la fréquence de 2,45 GHz

NML
 BRH, IEN,
 NBS, NPL,
 RIND

Environ la moitié des mesures ont été effectuées (document GT-RF/78-9).

72-13 Puissance laser à ondes entretenues (b) Laser Ar⁺ de longueurs d'onde 488 et 515 nm

ETL
 NBS, PTB

Les mesures viennent de commencer (document GT-RF/78-13). Le NPL a décidé de se retirer de cette comparaison.

2. Comparaisons prévues en 1975

A. Comparaisons projetées

75-A1 Puissance à 15,0 GHz : efficacité de montures bolométriques sur guide d'ondes

PTB
 IEN, LCIE,
 NBS, NRC,
 RSRE

La comparaison doit commencer prochainement (document GT-RF/78-1).

75-A2 Puissance à 15,0 GHz : facteur d'étalement d'ensembles coupleur directif - monture bolométrique

PTB
 NBS

(Document GT-RF/78-1) ; cette comparaison a été annulée.

75-A3 Affaiblissement à 15,0 GHz sur guide d'ondes

PTB
 IEN, NBS,
 RSRE, OMH

La comparaison commencera dès que le choix des étalons de transfert aura été fait (document GT-RF/78-1).

75-A4 Coefficient de réflexion à 300 et 3000 MHz sur ligne coaxiale 50 Ω
maintenant 500, 3000 et 7000 MHz

PTB
 NML, NRC,
 RSRE, NBS⁺,
 ETL

Cette comparaison doit commencer en 1979 (document GT-RF/78-1). Le NBS confirmera sa décision au milieu de l'année 1979. Les participants sont prêts à accepter que l'on retarde le début de cette comparaison.

75-A5 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω ; 1 V ; 100, 250, 500 et 1000 MHz

PTB
 NBS, NML,
 EQD, ASMW,
 IMM, OMH

Le LCIE s'est retiré de cette comparaison qui suit son cours (document GT-RF/78-1).

75-A6	<i>Tension sur ligne coaxiale</i> 50 Ω ; 100 V ; 30 MHz	<u>PTB</u> NBS	Cette comparaison commencera en 1979 comme prévu (document GT-RF/78-1).
75-A7	<i>Tension sur ligne coaxiale</i> 50 Ω ; 1 mV ; 30 MHz	<u>PTB</u> NBS, NML	Cette comparaison commencera en 1980 (document GT-RF/78-1).
75-A8	<i>Puissance de bruit à 30 MHz</i>	<u>NML</u> NBS, RSRE ⁺	Les mesures devraient commencer prochainement (document GT-RF/78-9).
75-A9	<i>Affaiblissement à 35 GHz</i>	<u>RSRE</u> NRC, NBS	Le NML s'est retiré de cette comparaison qui progresse lentement (document GT-RF/78-5).
75-A10	<i>Affaiblissement à 70 GHz</i>	<u>NPL</u> NBS, ETL ⁺	Les étalons de transfert ont été réalisés et les mesures devraient commencer prochainement. L'ETL n'a pas encore confirmé sa participation (document GT-RF/78-7).
75-A11	<i>Puissance sur ligne coaxiale entre 12 et 18 GHz : efficacité de montures bolométriques équipées de connecteurs APC-7</i>	<u>NBS</u> IEN, LCIE, PTB, NML ⁺ , NRC ⁺	Le NPL s'est retiré de cette comparaison qui devrait commencer en 1979. Le NRC préférerait que les mesures soient faites à différentes fréquences ; le laboratoire pilote n'a proposé que la fréquence 17 GHz (document GT-RF/78-2).
75-A12	<i>Coefficient de réflexion à 10 GHz (en module)</i>	<u>RSRE</u> ETL, IEN, NBS, NML, NRC	La comparaison progresse lentement (document GT-RF/78-5).
75-A13	<i>Amplitude spectrale d'impulsions</i>	<u>NBS</u> IEN ⁺	L'IEN confirmera sa participation.
75-A14	<i>Affaiblissement à 300 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω (connecteur GR 900)</i>	<u>PTB</u> NPL	Cette comparaison pourrait débiter dans quelques mois si d'autres laboratoires s'y intéressaient (document GT-RF/78-1).

B. Comparaisons qui n'avaient pas de laboratoire pilote

X
75-B1 Puissance à 30 MHz ; facteur
d'étalonnage d'ensembles
coupleur directif - monture
bolométrique

abandonnée

Participants possibles :
NBS, NML, PTB.
En suspens (document
GT-RF/78-2).

75-B2 Puissance à 7 GHz ; facteur
d'étalonnage d'ensembles
coupleur directif - monture
bolométrique

abandonnée

Participants possibles :
NBS, NML, PTB, RSRE.
En suspens.

75-B3 Coefficient de réflexion à
1 GHz sur ligne coaxiale
75 Ω

Participants possibles :
NRC, PTB, NPL, NML⁺.
Le NRC envisage de prendre
l'initiative de cette
comparaison et d'en être
le laboratoire pilote.

75-B4 Coefficient de réflexion à
1 MHz sur ligne coaxiale
75 Ω

Comparaison abandonnée.

C. Comparaisons pour lesquelles un seul laboratoire avait alors marqué de
l'intérêt

75-C1 Puissance de bruit de 1 à
4 GHz sur ligne coaxiale
50 Ω

Comparaison abandonnée.

75-C2 Temps de retard d'impulsions
sur ligne coaxiale 50 Ω

NBS
NPL

75-C3 Temps de montée d'impulsions
sur ligne coaxiale 50 Ω

NBS
NPL

* Le nom du laboratoire pilote est souligné.

+ Sous réserve de confirmation.

TABLEAU III

COMPARAISONS PROJÉTÉES

Comparaison N°	Parti- cipants*	Commencement	Observations
78-1 <i>Affaiblissement (100 dB) à 30 MHz sur ligne coaxiale 50 Ω</i>	PTB NPL ⁺	1980	Après que la PTB aura fait une enquête sur la participation éventuelle d'autres laboratoires.
78-2 <i>Puissance (10 mW) à 500 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω (connecteur GR 900)</i>	NRC PTB, LCIE ⁺	1980	
78-3 <i>Amplitude du coefficient de réflexion sur guide d'ondes R 100 à 10 GHz, 0,2 < Γ < 0,8</i>	NML ⁺ PTB	Pas avant 1981	
78-4 <i>Puissance de bruit sur guide d'ondes R 84</i>	NBS	1979 ?	La participation d'autres laboratoires est souhaitée.
78-5 <i>Gain d'un cornet et taux de polarisation transversale entre 4 et 60 GHz (fréquence préférentielle : 10 GHz)</i>	NBS IEN ⁺ , NPL ⁺ , NML ⁺ , NRC ⁺ , ETL(1)	78-5	Suite de la comparaison 72-8. <i>(remplace la comparaison 72-8 (voir correspondance))</i>
78-6 <i>Diagramme d'antenne à 10 GHz</i>	NBS IEN ⁺ , NRC ⁺		
78-7 <i>Puissance laser à ondes entretenues (10,6 μm)</i>	NBS NPL, PTB		Niveau de puissance à confirmer. L'ETL sera invité à participer à cette comparaison.
78-8 <i>Puissance de crête laser (10,6 μm)</i>	NBS NPL ⁺ , NRC ⁺ , PTB ⁺		L'ETL sera invité à participer à cette comparaison.
78-9 <i>Energie laser (1,06 μm)</i>	NBS NPL ⁺ , PTB ⁺		L'ETL sera invité à participer à cette comparaison.
78-10 <i>Puissance surfacique à 10 GHz</i>	NPL ⁺ NML ⁺ , NBS ⁺ , IEN ⁺	Après 1980	

↳ reprise de C. McKay Allred à noter

78-11	<i>Impédance sur une ligne coaxiale à 100 MHz (connecteur GR 900)</i>	RSRE PTB ⁺ , NBS ⁺ , NML ⁺	1981
78-12	<i>Coefficient de sur-tension à 10 GHz (1000 < Q < 10000)</i>	NML NPL ⁺ , IEN ⁺ , PTB ⁺	
78-13	<i>Puissance de bruit sur guide d'ondes R 100</i>	RSRE LCIE, NML, NBS ⁺ , ETL ⁽¹⁾	
78-14	<i>Puissance (1 mW) à 50 MHz sur ligne coaxiale</i>	NRC PTB, NPL ⁺ , NBS ⁺ , LCIE ⁺	
78-15	<i>Puissance d'un faisceau ultrasonore (2 et 5 MHz)</i>	NBS RPB, UI, BRH, NRC, NPL, PTB	Un rapport partiel sur cette comparaison, jusqu'à présent non officielle, est contenu dans le document GT-RF/78-2.

* Le nom du laboratoire pilote est souligné.

+ Sous réserve de confirmation.

(1) Par lettre du 1^{er} septembre 1978, l'ETL a fait connaître au BIPM son désir de participer à cette comparaison.

Identification des laboratoires :

- ASMW, Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. Dém. Allemande).
 BRH, Bureau of Radiological Health (Etats-Unis d'Amérique).
 EQD, Electrical Quality Assurance Directorate, Bromley (Royaume-Uni).
 FTZ, Fernmelde Technische Zentral Amt, Darmstadt (Rép. Féd. d'Allemagne).
 IEN, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie).
 IMM, Institut de Métrologie D.I. Mendéléév, Leningrad (U.R.S.S.).
 IMPR, Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou (U.R.S.S.).
 IRT, Institut de Recherches des Télécommunications, Budapest (Hongrie).
 LCIE, Laboratoire Central des Industries Electriques, Fontenay-aux-Roses (France).
 NBS, National Bureau of Standards, Washington (Etats-Unis d'Amérique).
 NML, National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie).
 NPL, National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni).
 NRC, Conseil National de Recherches, Ottawa (Canada).
 OMH, Office National des Mesures, Budapest (Hongrie).
 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).
 UI, Ultrasonics Institute (Australie).
 UTW, Université Technique de Wroclaw (Pologne).

ANNEXE E 1

Documents de travail présentés à la 15^e 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/

- 78-1 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne).- Étude de résistances "cryogéniques" sur une longue période, par V. Kose, F. Melchert et P. Warnecke (voir Annexe E 2).
- 78-2 (et 2bis) NBS (États-Unis d'Amérique).- Report on an international comparison of thermal converters as AC-DC transfer standards, by B.N. Taylor (voir Annexe E 3).
- 78-3 NBS (États-Unis d'Amérique).- Summary of current research on basic electrical measurements, standards and related fundamental physical constants, 10 pages.

- 78-4 IMM (U.R.S.S.).- Méthode d'estimation d'erreurs des étalons primaires d'unités des grandeurs électriques en vigueur à l'IMM, par K.P. Chirokov et T.B. Rojdestvenskaya, 5 pages.
- 78-5 IMM (U.R.S.S.).- Sur les résultats de la comparaison des condensateurs voyageurs de capacité de 10 pF exécutée à l'IMM, par I.N. Krotkov et T.M. Gouctchina, 4 pages.
- 78-6 IMM (U.R.S.S.).- Reproduction de l'unité de capacité électrique effectuée à l'IMM, par I. Krotkov, V. Victorov et T. Froudsko, 6 pages.
- 78-7 IMM (U.R.S.S.).- Reproduction des unités de résistance et d'inductance effectuée à l'IMM, par I. Krotkov et V. Novikov, 5 pages.
- 78-8 BIPM.- Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF, par G. Leclerc (voir Annexe E 4).
- 78-9 ASMW (Rép. Dém. Allemande).- Die Entwicklung der elektrischen Messtechnik, 6 pages.
- 78-10 LCIE (France).- Résumé des travaux en cours concernant l'utilisation de comparateurs cryogéniques de courants continus, par F. Delahaye (voir Annexe E 5).
- 78-11 LCIE (France).- Mesure d'une capacité à partir de l'étalon cylindrique à cinq électrodes, par N. Elnékavé (voir Annexe E 6).
- 78-12 ETL (Japon).- Measurements of the absolute ohm at ETL, by T. Igarashi, H. Nishinaka and K. Murakami, 7 pages.
- 78-13 ETL (Japon).- Present status of absolute volt measurement in ETL, by T. Yamazaki and M. Kobayashi, 2 pages.

Document
CCE/

- 78-14 ETL (Japon).- Present status of Josephson voltage standard at ETL, by K. Shida, T. Sakuraba, Y. Murayama and K. Shimazaki, 2 pages.
- 78-15 ETL (Japon).- Higher standard voltage generated by multiple Josephson junctions, by M. Koyanagi, T. Endo and A. Nakamura, 5 pages.
- 78-16 ETL (Japon).- Annual change of Cd standard cell emf, by K. Shida, 3 pages.
- 78-17 ETL (Japon).- Combination type standard cells with low-temperature coefficient using composite amalgam electrode cells, by H. Hirayama, and K. Shimazaki.

Publié dans IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, IM-25, No. 4, 1976, pp. 498-501.
- 78-18 ETL (Japon).- Comments on characteristics of combination type standard cells, by K. Shimazaki, H. Hirayama and Y. Murayama, 4 pages.
- 78-19 ETL (Japon).- Proposal on a thermal power converter, by T. Yamazaki and M. Tsukada (voir Annexe E 7).
- 78-20 ETL (Japon).- Recent works on electrical standards at ETL, by H. Hirayama (voir Annexe E 8).
- 78-21 NPL (Royaume-Uni) and BIPM.- An international direct comparison of two Josephson effect voltage standards by A. Hartland, T.J. Witt, D. Reymann and T.F. Finnegan.

Publié dans IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, IM-27, No. 4, 1978, pp. 470-474.
- 78-22 BIPM.- Réalisation et conservation de l'ohm et du volt par les grands laboratoires nationaux. Situation au 1^{er} janvier 1977, par G. Leclerc (voir Annexe E 9).

Document
CCE/

- 78-23 BIPM.- Exactitude de la représentation de l'ohm conservée par le BIPM, par G. Leclerc (voir Annexe E 10).
- 78-24 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne).- Rapport définitif sur les résultats de la comparaison internationale des étalons de capacité en silice de 10 pF, effectuée en avril/mai 1976, par A. Fiebigler, 2 pages.
- 78-25 NRC (Canada).- Réalisation de l'unité de force électromotrice au moyen de l'effet Josephson, par G.H. Wood et A.F. Dunn (voir Annexe E 11).
- 78-26 Rapport du Groupe de travail pour les Grandeurs aux Radiofréquences par L. Erard (voir l'Appendice au Rapport du CCE, p. E 9).
- 78-27 Programme de travail de la section Electricité du BIPM pour les années 1981-1984, 1 page.
- 78-28 NML (Australie).- Absolute electrometer, by W.K. Clothier, 1 page.
- 78-29 IEN (Italie).- Progrès des travaux de métrologie cryogénique à l'IEN, par D. Andréone, E. Arri, G. Boella, V. Lacquaniti et G. Marullo, 4 pages.
- 78-30 NIM (Rép. Pop. de Chine).- A method for eliminating errors due to lead impedances in absolute determination of ohm, by Hu Qi-duo, 13 pages.
- 78-31 NIM (Rép. Pop. de Chine).- Perturbation method for variable boundary problems and application to the evaluation of errors in precise capacitors, by Chang Choong-hua, 11 pages.
- 78-32 NIM (Rép. Pop. de Chine).- The absolute measurement of the ampere by NMR method, 20 pages.

Document
CCE/

- 78-33 NIM (Rép. Pop. de Chine).- A brief description of the Chinese standards of emf, resistance and their international comparisons, by Sung Yung-lin, 11 pages.
- 78-34 NIM (Rép. Pop. de Chine).- A calculable cross capacitance of NIM and absolute measurement of electrical impedances, 14 pages.
- 78-35 NIM (Rép. Pop. de Chine).- Relation between the magnetic field for the helix current and that for the current sheet, by Chang Bau-yu, 11 pages.
- 78-36 NIM (Rép. Pop. de Chine).- The portable standard cell enclosure with stability of temperature of $50 \mu^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$, by Qu Qing-chang, 6 pages.
- 78-37 NIM (Rép. Pop. de Chine).- Standard for audio frequency current and voltage, by Chang De-shih and Chang Choong-hua, 5 pages.
- 78-38 NPL (Royaume-Uni).- The SI ohm as realized by the principal laboratories possessing calculable capacitors (voir Annexe E 12).
- 78-39 VSL (Pays-Bas).- The VSL Josephson voltage monitor I, by C. Harmans and R. Kaarls, 31 pages.
- 78-40 IMM (U.R.S.S.).- Matériaux de travail pour l'ordre du jour de la réunion du CCE (15^e session, Sèvres), 8 pages.
- 78-41 IMM (U.R.S.S.).- Propositions de l'IMM sur différents points de l'ordre du jour du CCE (15^e session, Sèvres), 1 page.

GROUPE DE TRAVAIL
POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES

GT-RF/

- 78-1 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne).- Report on the progresses of international intercomparisons piloted by the PTB and proposals for new intercomparisons, by H. Bayer, 4 pages.
- 78-2 NBS (États-Unis d'Amérique).- Interim report on NBS pilot laboratory activities, by C. McKay Allred, 3 pages.
- 78-3 NRC (Canada).- Second interim report on the international intercomparison of power standards in WR-28 waveguide, by R.F. Clark, 1 page.
- 78-4 RSRE (Royaume-Uni).- Lettre de Mr F.L. Warner du Royal Signals and Radar Establishment au directeur du BIPM, 9 pages.
- 78-5 RSRE (Royaume-Uni).- État d'avancement des comparaisons dont le RSRE est le laboratoire pilote, par C.H. Ditchfield :
- Coefficient de réflexion à 10 GHz (en module) ;
 - Affaiblissement à 35 GHz ;
 - Bruit (blanc) de température basse (77 K), à la fréquence de 4 GHz, sur guide d'ondes (voir Annexe E 17).
- 78-6 NBS (États-Unis d'Amérique).- Intercomparisons of interest to NBS (1978), 1 page.
- 78-7 NPL (Royaume-Uni).- État d'avancement des comparaisons dont le NPL est le laboratoire pilote, 1 page.
- 78-8 NPL (Royaume-Uni).- BIPM international voltage comparison at 1 MHz. Final report, by A.E. Fantom (voir Annexe E 13).

Document
GT-RF/

- 78-9 NML (Australie).- État d'avancement des comparaisons dont le NML est le laboratoire pilote, 3 pages.
- 78-10 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne).- International inter-comparison of low attenuation in waveguide R 100 (WG 16, WR 90) at 10 GHz. Final report of the pilot laboratory, by H. Bayer (voir Annexe E 14).
- 78-11 NML (Australie).- Final report on the international intercomparison of attenuation at 30 MHz, by D.L. Hollway (voir Annexe E 15).
- 78-12 ETL (Japon).- Rapport sur une comparaison internationale de mesures de la puissance d'un laser, sur un laser à He-Ne, à la longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$, par R. Ishige (voir Annexe E 16).
- 78-13 ETL (Japon).- Interim report of the international intercomparison of laser power standards at the wavelengths of 488 nm and 515 nm, 2 pages.
-

**Étude de résistances « cryogéniques »
sur une longue période**

par V. KOSE, F. MELCHERT et P. WARNECKE

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

(Document CCE/78-1)

Pour réaliser des étalons "cryogéniques" de tension et surtout de courant en utilisant l'effet Josephson [1], on a besoin de résistances qui, à la température de l'hélium liquide, non seulement varient peu en fonction de la température, mais sont aussi stables dans le temps.

Nous avons trouvé des alliages dont le coefficient de température relatif α de la résistance [2] est suffisamment petit, par exemple CuGe6 ($\alpha = -6 \times 10^{-6}/\text{K}$ à 4,2 K) et AlMg5 ($\alpha \leq 0,2 \times 10^{-6}/\text{K}$ à 4,2 K).

Pour étudier avec précision le comportement de ces alliages sur une longue période, nous avons alors construit une résistance en AlMg5 (diamètre du fil : 0,3 mm) et deux résistances en CuGe6 (diamètre du fil : 0,6 mm) de valeurs voisines de 1 Ω . Au mois d'avril 1977 - sans vieillissement préalable - nous les avons immergées dans un bain d'hélium liquide dans lequel nous les avons conservées en permanence à 4,2 K depuis cette époque.

Trois étalons de 1 Ω , du type Thomas, spécialement choisis et conservés en permanence dans un bain d'huile à 20 °C, ont servi d'étalons de comparaison.

Les mesures ont été effectuées quotidiennement au moyen d'un comparateur de courants continus en utilisant une nouvelle méthode potentiométrique et de substitution, qui rend possible les comparaisons de résistances avec une résolution de 1×10^{-8} .

Les graphiques de la figure 1 représentent les variations relatives d'une résistance en alliage CuGe6, d'une résistance en alliage AlMg5 et d'un étalon du type Thomas, observées au cours d'une année en utilisant comme référence un autre étalon du type Thomas. Les écarts-types des résultats de mesure sont

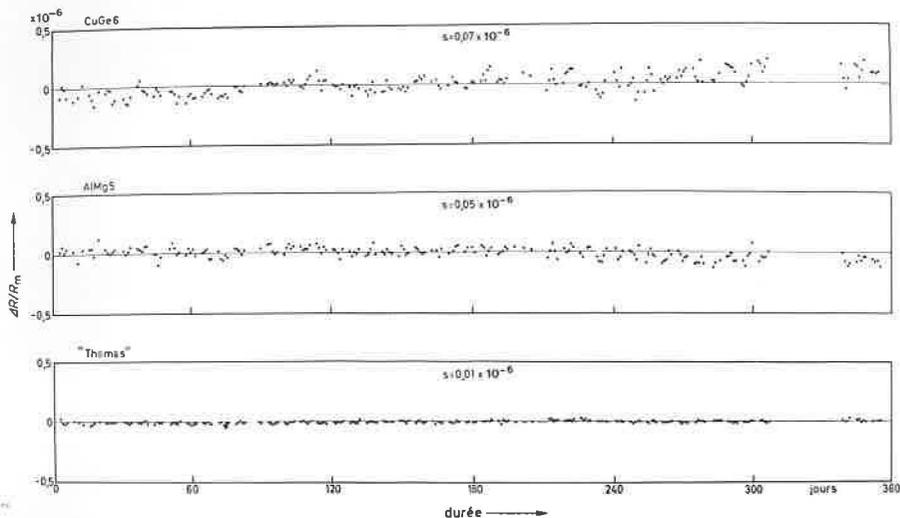


Fig. 1.- Variations relatives $\Delta R/R_m$ des résistances de 1Ω en CuGe6 et AlMg5 conservées à $4,2 \text{ K}$ dans l'hélium liquide et d'un étalon du type Thomas conservé dans un bain d'huile à $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

R_m : résistance de référence constituée par un second étalon du type Thomas.

plus élevés pour les résistances "cryogéniques" que pour l'étalon "Thomas" parce que les changements des forces thermo-électriques dans les conducteurs de liaison étaient plus importants dans le premier cas. En outre, pour la résistance en alliage CuGe6, les fluctuations de la pression atmosphérique entraînaient des fluctuations de la température du bain d'hélium.

En conclusion, on peut constater que :

- les valeurs des résistances en alliage CuGe6 (sur corps de bobine de "Novotex" scellés avec "Uhu-Plus") ont légèrement augmenté mais que les changements relatifs restent pourtant $< 2 \times 10^{-7}/a$;

- la résistance non scellée, en alliage AlMg5 (bobinée sur chlorure de polyvinyle dur) conservée à 4,2 K, a montré une stabilité à long terme équivalente à celle des bons étalons "Thomas" conservés à 20 °C (par rapport à Ω_{PTB} : $- 0,9 \times 10^{-7}/a$).

Les résistances "cryogéniques" examinées peuvent donc constituer des étalons stables sur une longue durée.

BIBLIOGRAPHIE

1. KOSE (V.) und FUHRMANN (B.), Genaue und Langzeitstabile elektrische Gleichstrom- und Gleichspannungsquelle, *PTB-Mitt.*, 87, 1977, pp. 208-216.
 2. KOSE (V.), FUHRMANN (B.), WARNECKE (P.) and MELCHERT (F.), Cryogenic voltage standard at PTB, Atomic Masses and Fundamental Constants, Vol. 5, 1976, pp. 478-484, edited by J.H. Sanders and A.H. Wapstra.
-

ANNEXE E 3

Rapport sur une comparaison internationale de convertisseurs thermiques utilisés comme étalons de transfert courant continu – courant alternatif

par B. N. TAYLOR

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

(Traduction du Document CCE/78-2 bis)

INTRODUCTION

Les convertisseurs thermiques (instruments dans lesquels on utilise un ou plusieurs thermocouples pour détecter l'accroissement de température d'un conducteur chauffé par un courant) constituent les étalons fondamentaux pour toutes les mesures de courant et de tension alternatifs aux fréquences audibles. Des recherches étendues, faites dans plusieurs laboratoires nationaux, ont montré que l'on peut déterminer les grandeurs en courant alternatif en se référant aux étalons qui servent en courant continu, à 10×10^{-6} près ou mieux, à l'aide de convertisseurs de conception et de construction appropriées [1]. Ces niveaux d'exactitude sont exigés par les récents progrès effectués sur les instruments électroniques et les appareils d'étalonnage. De nouveaux types de convertisseurs thermiques à jonctions multiples permettront même, semble-t-il, d'obtenir des exactitudes encore plus grandes.

ESSAIS INTERNATIONAUX

Étant donné les besoins et les progrès, ainsi que l'importance des convertisseurs comme étalons fondamentaux

pour la mesure des différences courant continu-courant alternatif, le Comité Consultatif d'Électricité (CCE) a approuvé au cours de sa réunion de 1968 l'organisation d'une comparaison internationale des étalons de quatre laboratoires nationaux (IMM, Leningrad, URSS ; ETL, Tokyo, Japon ; NBS, Washington, États-Unis d'Amérique et NPL, Teddington, Royaume-Uni) ; le Dr C.H. Page, du NBS, fut chargé d'assurer la bonne marche de cette comparaison.

Chaque laboratoire a fourni une série de convertisseurs de 10 et 30 mA et de 10, 30 et 100 V et a mesuré la totalité des instruments ainsi rassemblés à 40 Hz, 20 kHz et 50 kHz.*

Pour chaque convertisseur la différence courant alternatif-courant continu a été caractérisée par l'expression $\delta = (Q_{ac} - Q_{dc})/Q_{dc}$ proposée par Ch. Page dans sa lettre du 11 octobre 1968. Dans cette expression Q_{dc} est la moyenne des valeurs de l'intensité (ou de la tension) nécessaire dans l'un ou l'autre sens du courant continu pour produire la même force thermoélectrique que le courant alternatif d'intensité (ou de tension) Q_{ac} .

Les mesures ont été faites par les laboratoires dans l'ordre suivant : IMM, ETL, NBS, NPL puis de nouveau IMM. Quand un laboratoire avait terminé ses mesures, les résultats de toutes les mesures déjà effectuées par les autres participants lui étaient communiqués par Ch. Page ou par B.N. Taylor (qui devint le coordonnateur de la comparaison lorsque Page partit en retraite).

Les délais qui furent nécessaires dans chaque laboratoire pour construire les convertisseurs et effectuer les essais préliminaires ne permirent pas de commencer effectivement les comparaisons avant 1972. A cause de retards et de dommages subis en cours de transport et des autres travaux à effectuer par les laboratoires elles ne furent achevées qu'en 1977.

ÉTALONS NATIONAUX

Depuis de nombreuses années le NBS étudie et utilise

* Il est regrettable que par inadvertance le NBS ait omis de faire les mesures de 40 Hz.

comme étalons de transfert courant alternatif-courant continu des convertisseurs thermiques à jonction simple. L'IMM et le NPL ont mis au point des convertisseurs à jonctions multiples de différentes conceptions et différentes constructions. L'ETL a construit des convertisseurs spéciaux ayant plusieurs jonctions le long de la résistance pour contrôler ses convertisseurs à jonction simple. Les convertisseurs étalons de tension de tous les laboratoires sont constitués par un convertisseur thermique monté en série avec des résistances de caractéristiques en courant alternatif appropriées. Chaque laboratoire a décrit en détail ses convertisseurs et ses méthodes de comparaison [2,3,4,5]. Le tableau I donne les exactitudes estimées pour ces convertisseurs.

TABLEAU I

*Incertitudes globales estimées, μ , en 10^{-6}
(erreurs aléatoires et systématiques)*

Laboratoire	Grandeur	μ (10^{-6})		Voir Note
		40 Hz - 20 kHz	50 kHz	
IMM	tension	15	15	1
ETL	courant	10	10	2
	tension	15	25	2
NBS	courant	5	7	3
	tension	10	15	3
NPL	courant	3 à 4	4	4
	tension	3 à 7	4 à 8	4

Notes :

- 1) $\mu = \epsilon + \sigma$, ϵ étant l'erreur systématique et σ l'écart-type de la moyenne, comme indiqué dans la référence [2] ;
- 2) Valeurs globales de μ données dans le rapport de l'ETL sur les comparaisons ($\sigma < 1 \times 10^{-6}$) ;
- 3) Estimé par la formule du NBS : $\mu = (\epsilon + 3 \sigma)$;
- 4) Valeurs globales de μ données dans le rapport du NPL.
Les valeurs dépendent de la gamme et de la fréquence.

RÉSULTATS DES MESURES

Le tableau II donne les différences courant alternatif courant continu attribuées aux convertisseurs par chaque laboratoire en fonction de ses étalons nationaux.

TABLEAU II

*Différences "courant alternatif - courant continu", en 10^{-6} ,
attribuées à chaque convertisseur par chaque laboratoire
en fonction de ses étalons nationaux*

Laboratoire				Origine des convertisseurs	Gamme	Fréquence
NPL	ETL	IMM	NBS			
0,9	0,7	8	-	NPL(B)	10 V	40 Hz
- 5,9	- 5,1	3	-	ETL(J)		
- 12,0	- 8,8	0	-	IMM(R)		
- 4,7	- 3,4	4	-	NBS(U)		
0,3	0,0	9	-	B	30 V	40 Hz
- 5,6	- 4,3	6	-	J		
- 13,0	- 8,6	0	-	R		
- 4,1	- 4,0	5	-	U		
- 0,5	4,3	8	-	B	100 V	40 Hz
- 8,9	- 4,8	3	-	J		
- 9,5	- 5,1	0	-	R		
- 4,9	- 0,1	5	-	U		
- 5,4	- 5,8	5	-	B	10 mA	40 Hz
- 4,6	- 4,9	5	-	J		
- 15,9	- 13,7	0	-	R		
- 2,8	- 2,5	15	-	U		
- 11,1	- 14,6	- 9	-	B	30 mA	40 Hz
- 4,6	- 7,8	- 3	-	J		
- 1,8	- 6,0	0	-	R		
- 2,3	- 7,2	- 1	-	U		
- 0,8	- 4,5	7	- 1	B	10 V	20 kHz
- 3,7	- 4,2	6	- 2	J		
- 5,9	- 4,5	0	- 4	R		
- 1,1	- 1,7	6	- 1	U		
- 1,9	- 6,3	7	- 2	B	30 V	20 kHz
- 3,9	- 5,5	7	0	J		
- 9,7	- 10,2	0	- 7	R		
- 1,4	- 4,6	7	- 1	U		
- 6,0	- 4,0	3	- 7	B	100 V	20 kHz
- 7,0	- 4,8	6	- 4	J		
- 9,3	- 6,4	0	- 9	R		
- 1,4	0,1	7	- 2	U		
- 3,4	- 2,5	- 3	- 2	B	10 mA	20 kHz
- 4,3	- 5,1	- 3	- 1	J		
- 2,1	- 1,9	0	4	R		
- 2,5	- 2,8	4	- 2	U		
- 11,1	- 15,6	- 9	- 11	B	30 mA	20 kHz
- 4,5	- 8,9	- 5	- 4	J		
1,8	- 5,6	0	0	R		
- 1,5	- 7,2	- 2	0	U		
0,0	- 5,3	- 5	2	B	10 V	50 kHz
- 1,9	- 3,7	- 4	- 2	J		
4,1	6,1	0	6	R		
- 0,1	- 0,4	- 4	3	U		

TABLEAU II (suite)

Laboratoire				Origine des convertisseurs	Gamme	Fréquence
NPL	ETL	IMM	NBS			
- 3,7	- 10,5	1	- 3	B	30 V	50 kHz
- 1,5	- 6,2	6	1	J		
- 7,1	- 9,6	0	- 4	R		
- 0,6	- 4,9	5	0	U		
- 14,2	- 15,2	- 10*	- 19	B	100 V	50 kHz
- 7,3	- 6,2	1*	- 2	J		
- 11,4	- 11,0	- 10*	- 12	R		
- 1,3	- 0,3	4*	- 2	U		
- 1,6	- 4,6	- 4	- 3	B	10 mA	50 kHz
- 3,3	- 5,6	- 5	0	J		
8,8	- 3,5	0	8	R		
- 1,9	- 4,0	4	0	U		
- 11,0	- 16,0	- 10	- 14	B	30 mA	50 kHz
- 5,5	- 9,0	- 5	- 3	J		
1,9	- 6,9	0	0	R		
- 1,0	- 8,0	- 2	- 1	U		

* corrigé pour tenir compte d'un changement de 10×10^{-6} du convertisseur de l'IMM.

Le résultat le plus significatif d'une comparaison entre laboratoires est l'indication du degré d'accord entre ces laboratoires. Dans le cas présent, pour obtenir le plus directement cette indication on a calculé, pour chaque fréquence, la moyenne des résultats des mesures de tous les convertisseurs d'une même gamme obtenus par chaque laboratoire. On a réduit de cette façon l'influence des erreurs aléatoires et des variations individuelles des convertisseurs. Ces moyennes sont représentées sur la figure 1. Comme les convertisseurs de l'ETL n'étaient pas disponibles à l'époque où l'IMM a fait ses premières mesures nous n'avons représenté aucun des résultats obtenus au cours de ces premières mesures.

Les convertisseurs se sont avérés assez stables pendant les mesures faites dans chacun des laboratoires. Cependant l'IMM a constaté une variation de 10×10^{-6} de ses convertisseurs de 100 V entre leur première et leur seconde mesure.

Il apparaît que l'accord entre les quatre laboratoires indiqué sur le fig. 1 est nettement meilleur que les exactitudes estimées. Les étalons de transfert fondamentaux courant alternatif-courant continu sont tous des convertis-

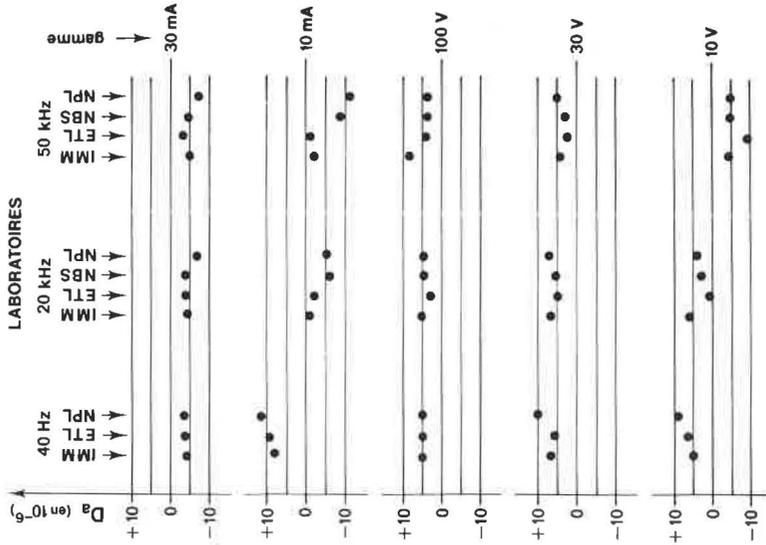


Fig. 2.- Différences moyennes, en 10^{-6} , entre paires de convertisseurs (voir texte).

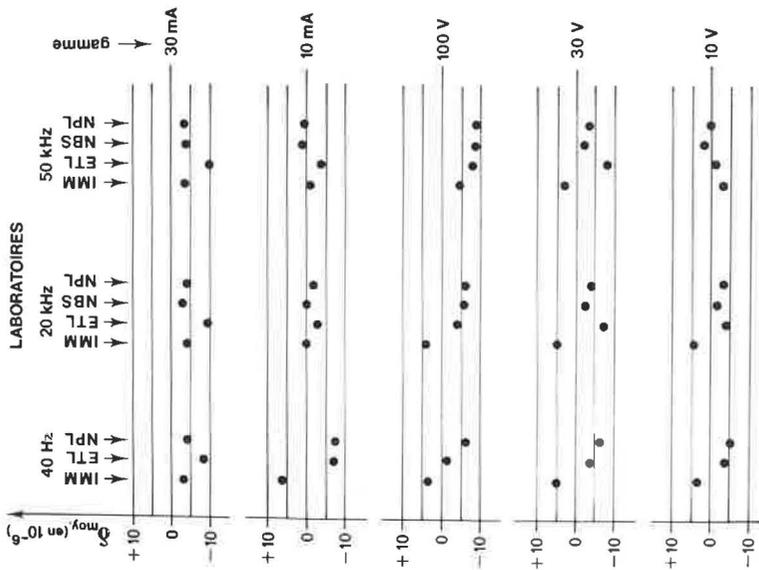


Fig. 1.- Différences moyennes c.a.-c.c., en 10^{-6} , déterminées par les quatre laboratoires.

seurs thermiques, mais ils sont de type et de construction différents. Les méthodes et l'équipement employés pour les comparer sont également différents. De plus, les convertisseurs étalons ont été étudiés indépendamment et complètement dans les quatre laboratoires. Il est tout à fait improbable que tous aient pu présenter une différence courant alternatif-courant continu de même importance et de même signe.

L'excellent accord des résultats de ces mesures internationales soignées fournit une précieuse assurance à cet égard et sur l'absence d'erreurs systématiques dans les installations de comparaison. Cet accord est donc extrêmement significatif. Il existe maintenant une base très solide pour la concordance internationale du transfert courant alternatif-courant continu à 10×10^{-6} près ou mieux aux fréquences audibles.

L'accord obtenu par les laboratoires en comparant entre elles des paires de convertisseurs voyageurs sans faire référence aux étalons nationaux est également intéressant. L'IMM a donné directement les valeurs $D_x = \delta_x - \delta_{IMM}$ pour chacun des convertisseurs fabriqués par les trois autres laboratoires. Pour ces laboratoires, nous avons nous-mêmes déduit les valeurs correspondantes des différences courant alternatif-courant continu telles qu'elles nous avaient été données. La figure 2 donne, pour chaque laboratoire, la valeur moyenne D_a relative à tous les convertisseurs d'une même gamme pour une fréquence donnée. Il apparaît que l'accord (qui est une indication de la précision des comparaisons) est considérablement meilleur que les valeurs "absolues" données sur la figure 1.

BIBLIOGRAPHIE

1. HERMACH (F.L.), AC-DC Comparators for Audio Frequency Current and Voltage Measurements of High Accuracy. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-25, 1976, p. 489.
2. ROZDESTVENSKAYA (T.H.) *et al.*, Standard Apparatus for the Volt Realization in the Frequency Range from 20 Hz to 1500 MHz. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-25, 1976, p. 538.
3. IWAMOTO (S.) et HIRAYAMA (H.), AC-DC Thermal Converters of the ETL, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-23, 1974, p. 326.

4. HERMACH (F.L.) and WILLIAMS (E.S.), Thermal Converters for Audio Frequency Voltage Measurements of High Accuracy, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-15, 1966, p. 260.
 5. DIX (C.H.) *et al.*, Electrical Standards of Measurement, *Proc. IEE*, 122, 1975, p. 1018.
-

ANNEXE E 4

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

par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

(Document CCE/78-8)

Cette seconde comparaison des étalons de capacité de 10 pF a été entreprise en juillet-août 1973 et terminée en décembre 1978. Elle a comporté les quatre circuits de mesures suivants :

- 1^{er} circuit : NBS → NML → ETL → NBS
- 2^e circuit : NBS → NPL → NRC → NBS
- 3^e circuit : NBS → IEN → VSL → PTB → NBS
- 4^e circuit : NBS → ASMW → IMM → NBS.

Les résultats des deux premiers circuits ont déjà été publiés (CCE, 14^e session, 1975, Annexe E 4, p. 64) ; nous les rappelons dans le tableau I.

Dans le tableau II figurent les résultats des circuits n^{os} 3 et 4.

De l'ensemble des résultats donnés dans les tableaux I et II on peut tirer les conclusions suivantes :

- La robustesse des condensateurs voyageurs construits par le NBS leur a permis de supporter sans dommage de très nombreux déplacements. Les chocs thermiques qu'ils ont subis en cours de transport sous différentes latitudes n'ont pas perturbé leur comportement ; leurs dérives dans le temps

TABLEAU I *

Résultats de la comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en éllice de 10 pF

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

1) Valeur de Δ , à 25 °C :

Étalon N°	N.B.S.(1)		N.M.L.		E.T.L.		N.B.S.(1)		N.P.L.		N.R.C.		N.B.S.(1)	
	1er août 1973	(100 V, 1592 Hz) (a) (b)	12 nov. 73	(100 V, 1592 Hz)	1er mars 74	(15 V, 1592 Hz)	1er juin 1974	(100 V, 1592 Hz) (a) (b)	Été 1974	(60 V, 1000 Hz)	Nov. 74 Fév. 75	(10 V, 1592 Hz)	1er mai 1975	(100 V, 1592 Hz) (a) (b)
156775(108).....	- 16,09	- 14,31	- 14,28	- 14,28	- 14,29	- 14,29	- 16,04	- 14,26	- 14,28	- 14,66	- 14,66	- 14,66	- 16,00	- 14,22
159852(119).....	- 3,09	- 1,31	- 1,29	- 1,29	- 1,35	- 1,35	- 3,06	- 1,28	- 1,45	- 1,66	- 1,66	- 1,66	- 3,04	- 1,26
159853(120).....	- 2,50	- 0,72	- 0,645	- 0,645	- 0,72	- 0,72	- 2,41	- 0,63	- 0,73	- 1,07	- 1,07	- 1,07	- 2,30	- 0,52
Moyenne	- 7,23	- 5,45	- 5,40 ₅	- 5,40 ₅	- 5,45	- 5,45	- 7,17	- 5,39	- 5,49	- 5,80±0,9	- 5,80±0,9	- 5,80±0,9	- 7,11	- 5,33

2) Valeur de Δ , à 20 °C(2) :

	1er août 1973		29 Nov. 73		14 avril 74	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
156775(108).....	- 68,47	- 66,69	- 66,565	- 66,565	- 66,64	- 66,64
159853(120).....	- 53,31	- 51,53	- 51,41	- 51,41	- 51,49	- 51,49
Moyenne	- 60,89	- 59,11	- 58,99	- 58,99	- 59,06 ₅	- 59,06 ₅

(1) Pour le N.B.S., nous avons reproduit dans la colonne (a) les résultats des mesures exprimés en fonction de F_{NBS-60} et, dans la colonne (b), les valeurs exprimées en fonction de F_{absolu} que nous en avons déduites en utilisant la relation F_{NBS-60} = F_{absolu} + 1,778 x 10⁻⁶ (en novembre 1973).

(2) En accord avec le N.B.S., nous avons éliminé les résultats des mesures à 20 °C du condensateur N° 159852(119), ce condensateur présentant plusieurs états quasi stables à cette température.

Noté. Nous pensons que tous les laboratoires ont attribué à la vitesse de la lumière la valeur c = 299 792 458 m/s ; cependant, seuls le N.M.L., l'E.T.L. et le N.R.C. l'ont précisé dans leur rapport.

* extrait de *Comité Consultatif d'Electricité*, 14e session, 1975, p. E 65.

TABLEAU II

Résultats de la comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF
 $C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6}) \text{ pF}$

Valeur de Δ , à 25 °C :	NBS (1)		VSL (2)		PTB		NBS (1)		ASMW		JMM		NBS (1)	
	1 ^{er} mai 1975 (100 V, 1592 Hz)	(a) (b)	6-20 nov. 1975 (100 V, 1592 Hz)	8 mars 1976 (60 V, 1592 Hz)	21 avril- 11 mai 1976 (75 V, 1592 Hz)	1 ^{er} septembre 1976 (100 V, 1592 Hz)	26 jan.- 2 fév. 1977 (70 V, 1592 Hz)	oct. 1977- avril 1978 (100 V, 1000 Hz)	1 ^{er} décembre 1978 (100 V, 1592 Hz)					
156775(108) ...	- 15,99 ₅	- 14,22	- 16,17	- 16,37	- 13,45	(a) (b)	- 15,89	- 14,11	- 14,02	- 13,93	- 15,87	- 14,09 ₅	- 3,01	- 1,23
159852(119) ...	- 3,04	- 1,27	- 3,23 ₅	- 3,49	- 0,55		- 2,98	- 1,20	- 1,06	- 1,23	- 3,01	- 1,23	- 2,03 ₅	- 0,26
159853(120) ...	- 2,30	- 0,52	- 2,43	- 2,77	+ 0,28		- 2,15 ₅	- 0,38	- 0,23	- 0,30	- 2,03 ₅	- 0,26	- 6,97	- 5,19
Moyenne	- 7,11	- 5,33	- 7,28	- 7,54	- 4,57	$\left[\begin{smallmatrix} \pm 0,4(3) \\ \pm 0,6(4) \end{smallmatrix} \right]$	- 7,01	- 5,23	- 5,10 ± 2,6	- 5,15	- 6,97	- 5,19		

Valeur de Δ , à 20 °C :

156775(108)	30 sept.- 3 oct. 1975 (100 V, 1592 Hz)	oct. 77- avril 1978 (100 V, 1000 Hz)
159852(119)	- 68,49	- 66,28
159853(120)	- 56,07 ₅	- 54,31
Moyenne	- 53,28	- 51,23
	- 59,28	- 57,27

(1) Pour le NBS, nous avons reproduit dans la colonne (a) les résultats des mesures exprimés en fonction de $F_{\text{NBS-60}}$ et, dans la colonne (b) les valeurs exprimées en fonction de F_{absolu} que nous en avons déduites en utilisant la relation $F_{\text{NBS-60}} = F_{\text{absolu}} + 1,778 \times 10^{-6}$ (en novembre 1973).

(2) L'IEN et le VSL ne disposant pas encore d'un condensateur calculable conservent l'unité de capacité au moyen d'un groupe d'étalons dont les valeurs ont été déterminées à l'origine par comparaison à des étalons du NBS.

(3) Incertitude de la comparaison (probabilité : 95 %).

(4) Résidu des erreurs systématiques.

(5) Erreur de conservation de l'unité.

sont demeurées faibles et suffisamment régulières pour qu'on puisse en tenir compte et comparer entre eux les résultats des mesures des divers laboratoires, effectuées à des époques différentes, à quelques 10^{-8} près.

- La concordance entre les résultats de la plupart des laboratoires semble prouver que la détermination absolue du farad s'effectue maintenant avec une exactitude de 1 à 2×10^{-7} ou mieux. Pourtant les divergences des résultats du NRC et de la PTB et les incertitudes qui accompagnent certains des autres montrent que cette exactitude reste difficile à garantir.

L'échange d'étalons de capacité voyageurs entre les laboratoires étant le moyen le plus efficace d'apprécier l'exactitude des déterminations absolues du farad effectuées par chacun d'eux, le Comité Consultatif d'Électricité a recommandé, dans sa session de septembre 1978, de reconduire une nouvelle fois la comparaison internationale circulaire des condensateurs de 10 pF.

Les résultats de l'IEN et du VSL n'étant pas déduits de mesures absolues ne peuvent pas être comparés à ceux des autres laboratoires.

A la suite de la comparaison l'IEN et le VSL ont corrigé la valeur de leur représentation nationale du farad pour la rapprocher de sa valeur théorique ; l'IEN a diminué la sienne de $1,94 \times 10^{-6}$ le 1^{er} janvier 1976 et le VSL de $1,78 \times 10^{-6}$ en mars 1976.

juillet 1978, révisé en décembre 1978.

ANNEXE E 5

Résumé des travaux en cours concernant l'utilisation de comparateurs cryogéniques de courants continus

par F. DELAHAYE

Laboratoire Central des Industries Électriques (France)

(Document CCE/78-10)

1. *Utilisation du comparateur cryogénique de courants pour l'étalonnage du rapport de résistances étalons à quatre bornes*

Le comparateur cryogénique de courants (c.c.c.) [1, 2, 3] permet la stabilisation et la mesure précise du rapport de deux courants (précision meilleure que 1×10^{-9} et résolution de quelques nA pour un enroulement d'une spire). Ces performances suggèrent l'utilisation du c.c.c. pour l'étalonnage de résistances étalons à quatre bornes, à la place du comparateur de courants continus conventionnel [4] (précision 10^{-8} dans les meilleurs cas et résolution de quelques dixièmes de μA pour un tour).

Le schéma de principe du montage utilisé est représenté sur la figure 1. On en trouvera une description détaillée dans la référence [5]. Une source de courant double alimente deux enroulements d'un c.c.c. et permet d'inverser le sens des deux courants tout en maintenant le détecteur d'égalité des forces magnétomotrices (SQUID) en fonctionnement en boucle fermée, donc sans l'incertitude liée à de possibles variations quantifiées du flux traversant le SQUID.

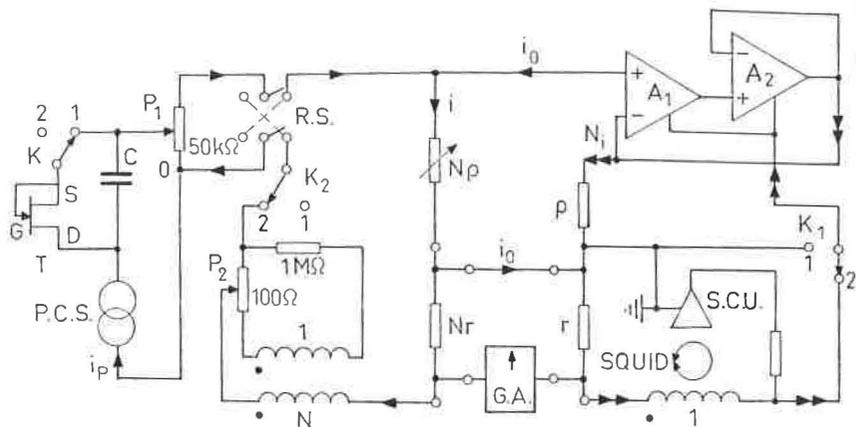


Fig. 1.- Schéma de principe du dispositif à comparateur cryogénique de courants utilisé pour l'étalonnage des résistances étalons à quatre bornes.

Le montage a été réalisé avec un c.c.c. de rapport 10 et a été utilisé avec succès pour l'étalonnage du rapport de deux résistances étalons (1Ω , 10Ω) avec une précision de 1×10^{-8} . Une version améliorée de l'appareil (rapports 1, 10, 100) est en cours de réalisation et permettra en particulier l'étalonnage de résistances de $10\,000 \Omega$ en fonction de résistances de 1Ω en utilisant le rapport 100 et une résistance intermédiaire fixe de 100Ω . Cette méthode d'étalonnage, rapide à réaliser, devrait permettre d'améliorer la précision que l'on peut obtenir actuellement en utilisant les diviseurs série-parallèle de type "Hamon".

2. Réalisation d'un étalon cryogénique de tension

La réalisation d'un étalon cryogénique de tension, délivrant une tension de $1,018 \text{ V}$ asservie sur une tension de référence de $4,5 \text{ mV}$ ($\frac{1,018 \text{ V}}{225}$) fournie par une jonction Josephson, est en cours d'achèvement.

L'appareil [6] dont le schéma de principe est représenté sur la figure 2, utilise un procédé suggéré par E. Arri [7] : il est constitué essentiellement de deux résistances (r et $N_2 r$) et d'un comparateur cryogénique de courants (enroulements 1 et N_1). Une source de courant double, semblable à celle

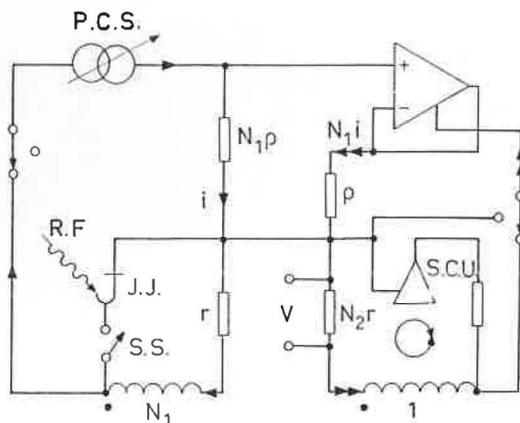


Fig. 2.- Schéma de principe d'un étalon cryogénique de tension.

mentionnée plus haut, délivre deux courants i et $N_1 i$ dont le rapport est stabilisé par un SQUID. Les chutes de tension aux bornes des résistances $N_2 r$ et r sont donc dans le rapport $N_1 \times N_2$. Une jonction Josephson (J.J.) de résistance dynamique interne nulle, délivre une tension de référence voisine de la chute de tension aux bornes de r , si bien que cette chute de tension devient égale à la tension Josephson de référence lorsque l'on ferme l'interrupteur supraconducteur (S.S.).

Nous avons choisi d'utiliser $N_1 = N_2 = 15$, ce qui permet d'étalonner de façon précise le rapport des deux résistances utilisées (10 Ω et 150 Ω) au moyen du comparateur de courant.

La reproductibilité de la tension de sortie de l'appareil (1,018 V) sera de l'ordre de 10 nV.

BIBLIOGRAPHIE

1. HARVEY (I.K.), A precise low temperature d.c. ratio transformer, *Rev. Sci. Instrum.*, 43, 1972, p. 1626.
2. GROHMANN (K.), HAHLEBOHM (H.D.), LUBBIG (H.) and RAMIN (H.), Ironless cryogenic current comparators for A.C. and D.C. applications, *IEEE Trans. I and M.*, IM-23, 1974, p. 261.
3. SULLIVAN (D.B.) and DZIUBA (R.F.), Low temperature direct current comparators, *Rev. Sci. Instrum.*, 45, 1974, pp. 517-519.

4. KUSTERS (N.L.), MOORE (W.J.M.) and MILJANIC (P.N.), A current comparator for the precision measurement of d.c. ratios, *IEEE Trans. Comm. Electron.*, CE 83, 1964, p. 22.
 5. DELAHAYE (F.), A double constant current source for cryogenic current comparators and its applications, *IEEE Trans. I. and M.*, IM-27, 1978, p. 426.
 6. DELAHAYE (F.), Utilisation d'un comparateur de courants cryogénique pour la réalisation d'un étalon de tension, *Bulletin du Bureau National de Métrologie*, N° 30, octobre 1977, pp. 4-6.
 7. ARRI (E.), Proposal for a cryogenic voltage comparator for $2e/h$ measurement, *Alta Frequenza*, 45, 1976, p. 53 E.
-

Mesure d'une capacité à partir de l'étalon cylindrique à cinq électrodes

par N. ELNÉKAVÉ

Laboratoire Central des Industries Électriques (France)

(Document CCE/78-11)

1 - INTRODUCTION

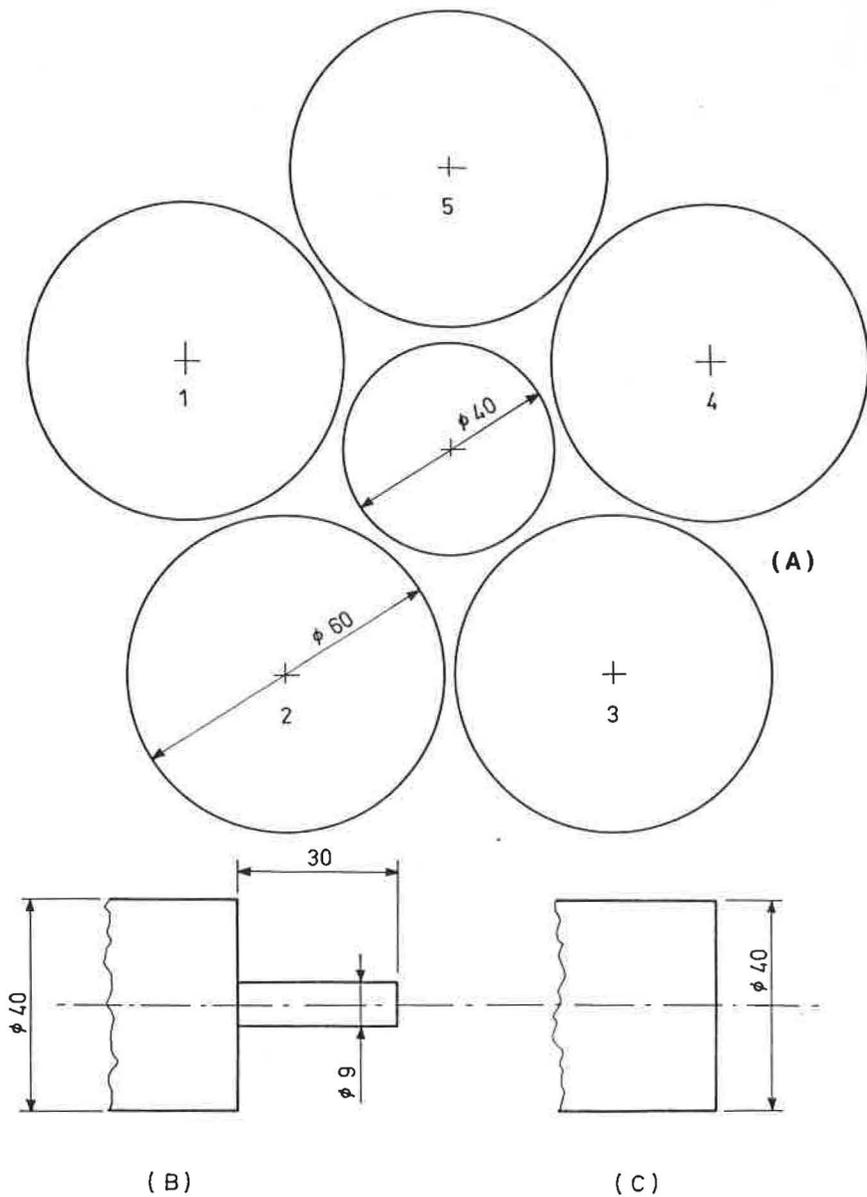
Rappelons que l'étalon cylindrique du LCIE [1, 2, 3, 4] comprend cinq électrodes (cylindres droits) d'axes parallèles (fig. 1, A,B,C). Les cinq coefficients de capacité linéique entre électrodes non consécutives γ_{ij} vérifient des relations de Lampard du type

$$\exp \left(- \frac{\pi \gamma_{25}}{\epsilon_0} \right) + \exp \left[- \frac{\pi (\gamma_{13} + \gamma_{14})}{\epsilon_0} \right] = 1 \quad (1)$$

Le condensateur cylindrique comprend un écran intérieur mobile dont le déplacement l_{ij} permet d'effectuer les variations de capacité $l_{ij} \gamma_{ij}$. La mesure d'une capacité C est effectuée par comparaison avec les variations $l_{ij} \gamma_{ij}$ obtenues par déplacement d'écran (méthode de substitution).

2 - CALCUL DE LA CAPACITÉ DE SUBSTITUTION C

Cette capacité est comparée successivement aux cinq variations de capacité obtenues en déplaçant l'écran. Les capacités linéiques γ_{ij} sont alors exprimées en fonction de C



- (A) Section droite de l'étalon cylindrique.
- (B) Ecran à pointe (extrémité).
- (C) Ecran à bout plan (extrémité).

Fig.1 Condensateur étalon du LCIE

$$\gamma_{ij} = k_{ij} C \quad (2)$$

$$(\gamma_{ij} \equiv \gamma_{ji} ; k_{ij} \equiv k_{ji})$$

La relation (1) devient :

$$\exp\left(-\frac{\pi C}{\epsilon_0} \cdot k_{25}\right) + \exp\left[-\frac{\pi C}{\epsilon_0} (k_{13} + k_{14})\right] = 1 \quad (3)$$

d'où, en posant

$$\begin{aligned} Y_{ij} &= \exp\left(-\frac{\pi C}{\epsilon_0} k_{ij}\right) \\ Y_{25} &= (1 - Y_{25}) \frac{k_{25}}{k_{13} + k_{14}} \end{aligned} \quad (4)$$

Dans le cas de parfaite symétrie

$$k_{ij} = k_{13} = k_{24} = k_{35} = k_{41} = k_{52}.$$

En pratique, le rapport $(k_{25})/(k_{13} + k_{14})$ diffère peu de 1/2. Nous rechercherons donc la solution de (4) en fonction de la variable auxiliaire x_{ij} telle que

$$x_{25} = 100 \left(\frac{k_{25}}{k_{13} + k_{14}} - \frac{1}{2} \right). \quad (5)$$

A partir des solutions de (4) obtenues par un procédé d'itérations nous exprimons Y_{ij} sous la forme d'un polynôme ($x \equiv x_{ij}$, $Y \equiv Y_{ij}$)

$$Y = P(x) = mx^4 + nx^3 + px^2 + qx + P(0) \quad (6)$$

dont les coefficients sont

$$\begin{aligned} m &= 3,667 \times 10^{-9} \\ n &= -2,976\ 67 \times 10^{-7} \\ p &= 2,791\ 483\ 3 \times 10^{-5} \\ q &= -3,288\ 031\ 533 \times 10^{-3} \\ P(0) &= \frac{\sqrt{5} - 1}{2} \end{aligned}$$

On en déduit, pour $x_{ij} = x_{25}$

$$C \equiv C_{(25)} \equiv - \frac{\epsilon_0}{\pi k_{25}} \log_e Y_{25}.$$

La même capacité C sera exprimée ainsi de cinq manières suivant la mode d'association des capacités linéiques dans la relation de Lampard

$$\begin{aligned} C_{(25)} &\rightarrow (\gamma_{25}), (\gamma_{13} + \gamma_{14}) \\ C_{(31)} &\rightarrow (\gamma_{31}), (\gamma_{24} + \gamma_{25}) \quad \text{etc.} \end{aligned}$$

Pour un étalon parfait (électrodes cylindriques d'axes bien parallèles, effet d'extrémité de l'écran mobile indépendant de sa position) les cinq valeurs trouvées pour C seront identiques. Les écarts trouvés en pratique entre ces valeurs permettent de juger à la fois la qualité de l'étalon et celle de la mesure.

3 - QUELQUES RÉSULTATS

A titre d'exemples destinés à montrer l'influence des facteurs géométriques trois séries de résultats sont données ci-dessous.

Dans la colonne I figurent ceux obtenus avec un étalon mal réglé, où les axes des électrodes peuvent avoir des écarts angulaires atteignant 10^{-4} radian. L'écran est muni d'une extrémité plane (fig. 1,C).

Dans la colonne II figurent les résultats obtenus avec un étalon assez bien réglé (angles des axes d'électrodes inférieurs à 10^{-5} radian). L'écran est muni d'une extrémité plane.

Dans la colonne III figurent les résultats obtenus sans modification du réglage de la colonne II, mais en remplaçant l'extrémité plane de l'écran par une extrémité à "pointe" (fig. 1,B).

	I	II	III
C_{25}/C_m	$1 + 0,19 \times 10^{-6}$	$1 - 0,01 \times 10^{-6}$	$1 - 14,47 \times 10^{-6}$
C_{13}/C_m	1 - 3,17	1 - 1,90	1 - 98,46
C_{24}/C_m	1 - 2,15	1 - 1,16	1 - 46,42
C_{35}/C_m	1 + 1,85	1 + 1,18	1 + 69,66
C_{14}/C_m	1 + 3,28	1 + 1,89	1 + 89,69

BIBLIOGRAPHIE

1. LAMPARD (D.G.), A new theorem in electrostatics, *Proc. IEE*, part C, Monograph no. 217 U, jan. 1957.
2. ELNÉKAVÉ (N.), Conception calcul et réalisation des étalons fondamentaux de capacité électrique, Congrès IMEKO V, rapport D-ST-36, mai 1970.
3. ELNÉKAVÉ (N.), Étalons calculés de capacité électrique, *Comité Consultatif d'Electricité*, 13^e session, 1972, Annexe E 7, pp. E 57-60.
4. ELNÉKAVÉ (N.), Deux étalons calculés de capacité électrique, *Bulletin BNM*, N° 13, juillet 1973, pp. 3-9.

**Proposition concernant un convertisseur thermique
de puissance**

par T. YAMAZAKI et M. TSUKADA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

(Traduction du Document CCE/78-19)

Nous proposons d'apporter deux modifications à la méthode de Schuster pour la mesure de la puissance en courant alternatif.

La première modification concerne la méthode de comparaison de la puissance en courant alternatif à la puissance en courant continu. Cela ne semble pas très difficile parce qu'un comparateur de puissance alternative-continue peut être construit avec des éléments tels que résistance, amplificateurs opérationnels et convertisseur thermique dont les caractéristiques en courant alternatif de basse fréquence sont peu différentes des caractéristiques en courant continu. Le circuit modifié permet de mesurer rapidement une puissance en courant alternatif inconnue en la comparant à une puissance en courant continu de référence. De ce fait, la stabilité à long terme des éléments du circuit n'est plus très importante. C'est l'intérêt de la modification.

La substitution d'un convertisseur thermique à jonction simple à un convertisseur à jonctions multiples constitue la seconde modification que nous proposons. En général, dans un convertisseur à jonction simple, la tension de sortie

n'est pas une fonction quadratique de l'intensité du courant d'entrée, ce qui constitue habituellement une difficulté importante de la méthode thermique de mesure de puissance. Mais cela n'entraînera pas de difficulté avec le circuit modifié si les valeurs efficaces de la somme et de la différence des courants d'entrée sont rendues égales en ajoutant à la plus faible un courant continu d'intensité connue. Cette façon de procéder est semblable à la méthode de Schuster. C'est là le sens de la modification. Un autre avantage de cette modification résulte du fait qu'il est plus facile de construire des convertisseurs thermiques à jonction simple que des convertisseurs thermiques à jonctions multiples.

Des essais sont en cours à l'ETL en utilisant cette méthode modifiée.

BIBLIOGRAPHIE

1. SCHUSTER (G.), Thermal Measurement of A.C. Power in comparison with the Electrodynamic Method, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-25, No. 4, 1976, p. 529.
-

ANNEXE E 8

Travaux récents sur les étalons électriques à l'ETL

par H. HIRAYAMA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

(Traduction du Document CCE/78-20)

1. Ajustement des représentations des unités

A la suite de l'entrée en vigueur de la nouvelle façon d'établir les étalons électriques de base fondée sur la détermination absolue de l'ohm et la réalisation d'une tension Josephson de référence (avec $\frac{2e}{h} = 483\,594,0$ GHz/V), l'ETL a corrigé comme suit la valeur de ses représentations de l'ohm et du volt le 1^{er} janvier 1977 :

$$\begin{aligned}\Omega_{77\text{-ETL}} &= \Omega_{\text{ETL}} (1 + 1,79 \times 10^{-6}) \\ V_{77\text{-ETL}} &= V_{69\text{-ETL}} (1 - 0,56 \times 10^{-6}) ;\end{aligned}$$

dans ces relations,

$\Omega_{77\text{-ETL}}$ = représentation de l'unité SI de résistance réalisée à l'ETL par rattachement de l'ohm au farad, lui-même déterminé en valeur absolue au moyen d'un condensateur en croix (cross-capacitor) à variation de capacité calculable.

Ω_{ETL} = représentation de l'ohm conservée depuis 1948 par le groupe primaire des étalons de résistance.

$V_{77\text{-ETL}}$ = représentation du volt réalisée à partir d'échelons de potentiel produits par l'effet Josephson, en

admettant que la fréquence qui correspond à 1 V est 483 594,0 GHz = V_{76-BI} (représentation du volt conservée par le BIPM).

V_{69-ETL} = représentation du volt conservée depuis 1969 par le groupe primaire des piles étalons.

Les corrections ont été déterminées par des mesures effectuées régulièrement au cours de la période 1976-1977.

Du résultat de la comparaison de Ω_{ETL} à Ω_{69-BI} (représentation de l'ohm conservée par le BIPM) effectuée en 1976, on déduit qu'en janvier 1977 on avait :

$$\Omega_{69-BI} = \Omega_{SI} - 1,19 \mu\Omega.$$

2. *Étalons de capacité et de résistance*

On a déterminé la valeur absolue de la capacité étalon avec une incertitude de $0,2 \times 10^{-6}$, en utilisant un condensateur en croix calculable, horizontal, amélioré [1]. Cette capacité étalon est conservée au moyen d'un groupe de 3 condensateurs étalons de 1 pF, en silice fondue, de forme tubulaire immergés dans un bain d'huile thermorégulé.

L'unité de résistance est conservée au moyen d'un groupe de 10 résistances étalons de 1 Ω , dont la valeur moyenne est ajustée régulièrement en effectuant des mesures absolues [2,3], au cours desquelles une résistance étalon pour courant alternatif de 100 k Ω est comparée à une capacité étalon de 1 nF, à 1592 Hz, au moyen d'un pont en quadrature. L'incertitude dans la détermination de l'ohm en valeur absolue est de $0,4 \times 10^{-6}$ et son amélioration est en cours. Pour la comparaison des résistances, on est en train de construire un pont semi-automatique dont l'exactitude sera de $0,01 \times 10^{-6}$.

Par ailleurs, les résultats des comparaisons internationales effectuées en 1976 avec deux laboratoires ont été les suivants :

$$\Omega_{ETL} - \Omega_{69-BI} = - 0,59 \mu\Omega, \text{ en novembre 1976}$$

$$\Omega_{ETL} - \Omega_{IMM} = - 1,55 \mu\Omega, \text{ en octobre-décembre 1976.}$$

3. Étalons de tension

Dans le système étalon de tension par "effet Josephson" de l'ETL [4], on obtient une tension constante d'environ 10 mV en utilisant deux jonctions Pb-PbO_x-Pb montées en série qu'on irradie avec un rayonnement micro-ondes de 10 GHz. On compare cette tension à celle d'une pile étalon conservée dans une enceinte à air thermorégulée à 30 °C, construite spécialement, au moyen d'un diviseur de tension de rapport 100/1 constitué de 20 éléments d'une valeur nominale de 45 Ω. L'incertitude et la reproductibilité de la tension ainsi rattachée sont meilleures que $0,05 \times 10^{-6}$. En introduisant un thermomètre NQR (à résonance nucléaire quadrupolaire) [5] dans une enceinte à air thermorégulée avec précision, nous avons pu étudier la stabilité dans le temps de la f.e.m. des piles en nous affranchissant des variations de f.e.m. dues aux variations de la température régulée [6]. Afin d'améliorer l'incertitude, on est en train d'améliorer les jonctions Josephson et l'installation.

Pour conserver l'unité de force électromotrice, on utilise deux groupes de piles étalons, l'un comportant 3 piles dans une enceinte à 30 °C, l'autre 20 piles dans un bain d'huile à 20 °C (ce groupe constituait d'ailleurs le groupe primaire jusqu'en 1976) ; les valeurs moyennes de ces groupes sont ajustées régulièrement par comparaison à la tension Josephson.

En ce qui concerne les piles étalons, on utilise couramment maintenant les piles saturées de type acide. Leur coefficient de température est un peu différent de celui des piles neutres. Par addition de Pb, Sn, et Pb + Sn à l'amalgame de Cd, on a obtenu des coefficients de température plus petits. En combinant des piles de type différent en série et en opposition, on a mis au point des étalons de type composite ayant des coefficients de température inférieurs à $1 \times 10^{-6}/K$ [7, 9, 14, appendice 1].

On poursuit les travaux sur le volt absolu afin d'obtenir la valeur SI de $2e/h$. Les travaux en sont au stade des mesures continues [10], en apportant des améliorations au système de garde d'un condensateur produisant une force d'attraction, en utilisant une méthode de comptage de franges

pour mesurer le déplacement d'une électrode, etc., pour diminuer les erreurs systématiques. Par ailleurs, on a entrepris de nouveaux travaux sur γ'_p en champ fort.

4. *Étalons de transfert courant continu-courant alternatif*

L'ETL a effectué en 1973 des comparaisons d'étalons de transfert de courant et de tension appartenant à 4 laboratoires nationaux. Des comparaisons ont encore été faites en 1976 avec des étalons provenant de l'IMM, après vérification de leur stabilité ; ces étalons ont été réexpédiés à leur laboratoire d'origine en juin de cette année. Les résultats donnés par le NBS sont satisfaisants au-delà de toute espérance [11, tableau I], et l'exactitude des étalons de l'ETL a été confirmée.

En ce qui concerne les étalons de transfert de puissance courant continu-courant alternatif, on met au point des convertisseurs de type thermique utilisables sur une large gamme de fréquences [12]. L'expérience des comparaisons internationales ci-dessus a montré qu'il serait souhaitable de disposer de convertisseurs plus robustes pour le transport. A cet égard le "time division multiplier" [13] mis au point par le fabricant japonais YEW, en cours d'amélioration, serait approprié, bien que sa fréquence maximale d'utilisation soit limitée à 10 kHz (appendice 2). Pour la comparaison de différence de puissance courant continu - courant alternatif, le multiplicateur devrait être pourvu d'un shunt et d'un diviseur de type résistif.

5. *Dissémination des unités*

C'est l'ETL qui a la responsabilité des étalons nationaux. Une grande partie du service d'étalonnage est à la charge de la JEMIC (Japan Electrical Meters Inspection Corporation) qui est un organisme semi-gouvernemental et dispose de 17 filiales régionales dans les différentes parties du Japon. Son rôle principal consiste à inspecter les compteurs d'énergie en application de la législation sur les mesures. Les étalons de référence de la JEMIC sont étalonnés régulièrement à l'ETL par rapport aux étalons nationaux. Les étalons des laboratoires de métrologie de l'industrie sont étalonnés normalement à la JEMIC.

TABLEAU I

Résultats des mesures des convertisseurs thermiques
courant continu-courant alternatif pour la comparaison internationale

Laboratoire	Année de la mesure	10 mA			10 V			100 V		
		40 Hz	1,59 kHz	50 kHz	40 Hz	1,59 kHz	50 kHz	40 Hz	1,59 kHz	50 kHz
ETL	1973	- 4,9	- 4,8	- 5,6	- 5,1	- 4,8	- 3,7	- 4,8	- 4,4	- 6,3
	1978	(1)	- 6,3	- 6,5	(1)	- 8,1(2)	- 4,9	(1)		
NBS	1973	- 2,5	- 2,8	- 4,0	- 3,4	- 2,9	- 0,4	- 0,1	0,4	- 0,3
	1978	(3)	- 3,8	- 2,7	1,0	- 11,5	- 8,4	- 8,4	- 0,2	0,5
NPL	1973	- 5,8	- 2,1	- 4,7	0,7	- 3,1	- 5,3	4,3	2,2	- 15,2
	1978	(4)	- 25,9	- 62,8	- 67,4	3,2	0,7	- 1,2	6,5	4,7
IMM	1973	- 13,7	- 2,4	- 3,5	- 8,8	- 8,8	6,1	- 5,1	- 4,3	- 11,0
	1978	- 12,0	- 1,0	4,1	(5)				(6)	

Notes : (1) pas encore mesuré,

(2) résultat pour le convertisseur de tension remplacé par un autre convertisseur de courant ayant les mêmes caractéristiques que celui utilisé pour la précédente comparaison internationale, à cause de l'instabilité du convertisseur de courant en série avec une résistance,

(3) résultat de NBS N° 1 pour 10 mA,

(4) f.e.m. anormalement élevée et instable,

(5) variation de f.e.m. de 20 à 30×10^{-6} et grande différence courant continu-courant alternatif,

(6) grande différence courant continu-courant alternatif et mauvaise reproductibilité.

6. Divers

En ce qui concerne le nouveau site des installations de l'ETL, on envisage le déménagement de l'ETL à Tsukuba Research and Education City, à 60 km de Tokyo, où la construction de nouveaux bâtiments sera terminée en 1979. Les conditions de travail y seront nettement meilleures. On a également prévu la construction d'un bâtiment non magnétique pour les mesures de γ'_p .

Appendice 1.- Coefficients de température des différents types de piles étalons

Type	Coefficients de température	
	α_{20} ($\mu\text{V/K}$)	β ($\mu\text{V/K}^2$)
neutre Cd	- 40,91	- 0,757
acide Cd	- 39,93	- 0,840
acide Cd-Pb	- 17,29	- 0,61
acide Cd-Sn	- 15,62	- 0,54
acide Cd-Sn-Pb	+ 23,48	- 0,13

Note : $E_t = E_{20} + \alpha_{20}(t-20) + \beta(t-20)^2$

E_t : f.e.m. à t °C ; E_{20} : f.e.m. à 20 °C.

Appendice 2.- Spécifications du "time division multiplier"

Principe : "time division multiplier" à contre-réaction

Entrées : X inférieur à 1 V ; Y inférieur à 1 V

Coefficient de température

50 Hz - 2 kHz inférieur à $50 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ pour $\cos \phi = 0$
 inférieur à $25 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ pour $\cos \phi = 1$

Caractéristiques de fréquence

fréquence utilisée : 20 Hz - 10 kHz

Erreur			
$\cos \phi = 1$		$\cos \phi = 0$	
20 Hz - 500 Hz	< 100×10^{-6}	20 Hz - 40 Hz	< 150×10^{-6}
1 kHz	< 150	40 Hz - 200 Hz	< 100
10 kHz	< 500	1 kHz	< 500
		10 kHz	< 1000

BIBLIOGRAPHIE

1. IGARASHI (T.), Research on an absolute determination of small capacitance, *Res. of the ETL*, No. 754, août 1975 (en japonais).
 2. NISHINAKA (H.), MURAKAMI (K.) & IGARASHI (T.), System for determination of the absolute ohm of ETL, *Bull. of the ETL*, 42, No. 5, 1978, pp. 456-462 (en japonais).
 3. IGARASHI (T.), NISHINAKA (H.) & MURAKAMI (K.), Measurement of the absolute ohm at ETL, CCE/78-12.
 4. SHIDA (K.), SAKURABA (T.), MURAYAMA (Y.) & SHIMAZAKI (K.), Present status of Josephson voltage standard at ETL, CCE/78-14.
 5. OHTE (A.) & IWAOKA (H.), A precision nuclear quadrupole resonance thermometer, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-25, No. 4, 1976, p. 357.
 6. SHIDA (K.), Annual change of Cd standard cell emf, CCE/78-16.
 7. HIRAYAMA (H.), MURAKAMI (K.) & SHIMAZAKI (K.), Récentes recherches sur les éléments Weston, CCE, 12^e session, 1968, p. E 69.
 8. HIRAYAMA (H.) & SHIMAZAKI (K.), Standard cells with Cd-Pb amalgam electrode, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-21, No. 4, 1972, p. 319.
 9. HIRAYAMA (H.) & SHIMAZAKI (K.), Combination type standard cells with low temperature coefficient using composite amalgam electrode cells, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-23, No. 4, 1976, p. 498.
 10. YAMAZAKI (T.) & KOBAYASHI (M.), Present status of absolute measurement of volt in ETL, CCE/78-13.
 11. TAYLOR (B.N.), Report on an international comparison of thermal converters as AC-DC transfer standards (Ce volume Annexe E 3).
 12. YAMAZAKI (T.) & TSUKADA (M.), Proposal on a thermal watt converter, CCE/78-19.
 13. TOMOTA (M.), SUGIYAMA (T.) & YAMAGUCHI (K.), An electronic multiplier for accurate power measurements, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-17, No. 4, 1968, p. 245.
 14. SHIMAZAKI (K.), HIRAYAMA (H.) & MURAYAMA (Y.), Comments on characteristics of combination type standard cells, CCE/78-18.
-

ANNEXE E 9

Réalisation et conservation de l'ohm et du volt par les grands laboratoires nationaux. Situation au 1^{er} janvier 1977

par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

(Document CCE/78-22)

L'application du théorème de Thompson-Lampard aux condensateurs à variation de capacité calculable et la mise en oeuvre de l'effet Josephson alternatif ayant renouvelé, en quelques années, les méthodes de détermination de l'ohm et de conservation du volt, le BIPM a effectué une enquête auprès des grands laboratoires nationaux pour faire le point de la situation au 1^{er} janvier 1977. Les résultats de cette enquête sont résumés dans les tableaux I et II.

De l'examen de ces tableaux on peut tirer les conclusions suivantes :

- Au 1^{er} janvier 1977, six des laboratoires consultés utilisaient déjà un condensateur à variation de capacité calculable comme étalon primaire et déduisaient l'ohm du farad.
- L'ohm peut maintenant être matérialisé par des étalons exacts à 1 ou 2×10^{-7} près, mais cette exactitude est difficile à obtenir.
- Pratiquement tous les grands laboratoires nationaux utilisent des "tensions Josephson" comme tensions de référence fondamentales ; la permanence de leur représentation de l'unité de force électromotrice est ainsi assurée à 1 ou 2×10^{-7} près. L'uniformité internationale sera elle-même

TABLEAU I

Réalisation et conservation de l'ohm par les grands laboratoires nationaux
 Situation au 1^{er} janvier 1977

Laboratoire	Nombre et valeur nominale des étalons	Température de définition	Mode de détermination de l'ohm et date de mise en oeuvre	Valeur des représentations nationales	Excititude estimée de la représentation de l'ohm(a)
ASNW	9 de 1 Ω	20 °C	déduit du farad depuis février 1976	$\Omega_{ASNW} = (1 + 0,7 \times 10^{-6}) \Omega$	$0,72 \times 10^{-6}$ (10)
ETL	10 de 1 Ω	20	déduit du farad depuis le 1 ^{er} janvier 1977	$\Omega_{ETL} = 1 \Omega$	$0,40 \times 10^{-6}$ (20)
IEN	10 de 1 Ω	20	rattaché à la représentation du NML par l'intermédiaire des comparaisons internationales effectuées au BIPM	$\Omega_{IEN} = (1 + 0,15 \times 10^{-6}) \Omega$	$0,5 \times 10^{-6}$
IMM	10 de 1 Ω	20	déduit du farad depuis 1973	$\Omega_{IMM} = 1 \Omega$	$0,3 \times 10^{-6}$
LCIE	20 principaux de 1 Ω 4 secondaires de 104 Ω	20	déduit du farad depuis le 1 ^{er} janvier 1975	$\Omega_{LCIE} = (1 - 0,80 \times 10^{-6}) \Omega$	$0,8 \times 10^{-6}$ (20)
NBS	5 de 1 Ω	25	déduit du farad depuis 1960 haute précision depuis le 1 ^{er} juillet 1974	$\Omega_{NBS} = (1 - 0,819 \times 10^{-6}) \Omega$	$0,06 \times 10^{-6}$ (10)
NML	3 de 1 Ω	20	déduit du farad depuis janvier 1969	$\Omega_{NML} = 1 \Omega$	$0,2 \times 10^{-6}$
NPL	5 de 1 Ω	20	déduit du henry et comparé à la représentation du NML	$\Omega_{NPL} = (1 - 0,8 \times 10^{-6}) \Omega$	$0,2 \times 10^{-6}$
NRC	10 de 1 Ω	25	contrôlé par l'intermédiaire du BIPM	$\Omega_{NRC} = (1 - 1,9 \times 10^{-6}) \Omega$	$0,3 \times 10^{-6}$
PTB	7 de 1 Ω	20	contrôlé par l'intermédiaire des comparaisons internationales effectuées au BIPM	$\Omega_{PTB} = 1 \Omega$	$0,5 \times 10^{-6}$

a C'est-à-dire écart par rapport à la définition théorique de l'unité SI de résistance.

b Résultat directement de déterminations absolues.

c Déduite du rattachement à la représentation conservée par le BIPM.

TABLEAU II

Conservation du volt par les grands laboratoires nationaux

Situation au 1^{er} janvier 1977

Laboratoire	Nombre de piles étalons	Température de définition(1)	Mise en oeuvre de l'effet Josephson	Date de mise en oeuvre	Valeur admise pour la constante $2 e/h$	Précision estimée de la représentation du volt(2)
ASMW	26	20 °C	non			
ETL	20 3	20 30	oui	1 ^{er} janvier 1977	483 594,0 GHz/V	$0,05 \times 10^{-6}$
IEN	30	20	en cours	(1 ^{er} janvier 1978)	483 594,0	$\pm 0,2 \times 10^{-6}$
IMM	20	20	oui	1976	483 595,6 95	
LCIE	20 principales 14 secondaires	20 30	oui	1 ^{er} octobre 1972	483 594,64	$0,1 \times 10^{-6}$
NBS	12	30	oui	1 ^{er} juillet 1972	483 593,420	$0,04 \times 10^{-6}$ (1σ)
NML	7 (groupe 1) 8 (groupe 2)	20 20	oui	janvier 1973	483 594,0	$0,1 \times 10^{-6}$
NPL	6	25 30	oui	avril 1973	483 594,0	$0,2 \times 10^{-6}$
NRC	10 principales 20 secondaires	30	en cours(3)		(483 594,0)	$\pm 0,1 \times 10^{-6}$
PTB	25	20	oui	1 ^{er} novembre 1972	483 594,0	$\pm 0,04 \times 10^{-6}$

(1) Les piles étalons conservées à 20 °C le sont en général dans des bains d'huile tandis que les piles étalons conservées à 30 °C le sont dans des enceintes à air.

(2) C'est-à-dire écart par rapport à la force électromotrice correspondant à la valeur du rapport $2 e/h$ de définition.

(3) Effective depuis le 1^{er} juillet 1978.

réalisée avec cette précision lorsque tous les laboratoires se seront mis d'accord sur la valeur à adopter pour le rapport $2 e/h$.

- Les méthodes différentes employées par les laboratoires pour exprimer les incertitudes de leurs résultats rendent peu faciles les comparaisons. Il serait donc utile de parvenir rapidement à un accord international sur une façon commune d'exprimer ces incertitudes.

Il sera nécessaire d'effectuer des comparaisons d'étalons de résistance et de force électromotrice entre les laboratoires pour contrôler les exactitudes et les précisions annoncées et mettre éventuellement en évidence des erreurs systématiques. Mais ces comparaisons devront être faites à 1×10^{-7} ou mieux pour que leurs résultats soient significatifs. Les meilleurs des étalons de transfert de l'ohm qui existent actuellement pourront probablement permettre, dans certaines conditions, d'obtenir cette précision ; par contre il n'existe pas actuellement d'étalon de transfert du volt à ce niveau de précision.

Explication des sigles :

- ASMW : Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung
- ETL : Electrotechnical Laboratory
- IEN : Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris
- IMM : Institut de Métrologie D.I. Mendéléev
- LCIE : Laboratoire Central des Industries Électriques
- NBS : National Bureau of Standards
- NML : National Measurement Laboratory
- NPL : National Physical Laboratory
- NRC : Conseil National de Recherches
- PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Septembre 1978
révisé en janvier 1979.

ANNEXE E 10

**Exactitude de la représentation de l'ohm
conservée par le BIPM**

par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

(Document CCE/78-23)

Pour estimer l'exactitude de Ω_{69-BI} (représentation de l'ohm conservée par le BIPM) en l'absence de comparaison internationale périodique, nous l'avons comparée, au cours des deux dernières années, aux représentations de plusieurs laboratoires nationaux déterminées en valeur absolue. Les résultats ont été les suivants :

novembre 1976 :	$\Omega_{69-BI} = \Omega - 1,40 \mu\Omega \pm 1,0 \mu\Omega$	(par comparaison à Ω_{LCIE})
janvier 1977 :	= - 1,19 ± 0,4	Ω_{ETL}
mai 1977 :	= - 1,02 ± 0,2	Ω_{NML}
juin 1978 :	= - 1,13 ± 0,3	Ω_{NBS}

Ω_{69-BI} paraît donc trop faible d'environ $1,2 \times 10^{-6}$. Avant de corriger sa valeur nous pensons qu'il serait utile de confirmer ce résultat en effectuant une comparaison simultanée d'étalons représentatifs de tous les laboratoires nationaux qui déterminent l'ohm en valeur absolue à quelques 10^{-7} près.

Septembre 1978.

**Réalisation de l'unité de force électromotrice
au moyen de l'effet Josephson**

par G. H. WOOD et A. F. DUNN

Conseil National de Recherches (Canada)

(Document CCE/78-25)

Jusqu'en juin 1978 l'unité de force électromotrice a été conservée au NRC en supposant constante la valeur d'un groupe de 10 piles étalons au sulfate de cadmium du type saturé maintenues à une température invariable de 30 °C.

A partir de septembre 1977 nous avons comparé la force électromotrice d'une de ces piles à une différence de potentiel, produite par effet Josephson, dans le but de déterminer la valeur du rapport $2 e/h$ qui correspond à V_{NRC} (représentation du volt conservée au NRC). L'appareil utilisé pour faire ces comparaisons a été un peu modifié et sensiblement amélioré par rapport à celui déjà décrit [1].

La valeur de $2 e/h$ qui résulte de ces comparaisons est 483 592,5 GHz/ V_{NRC} . L'adoption de la valeur recommandée par le CCE : 483 594,0 GHz/V a donc conduit à modifier V_{NRC} de 3,0 μV .

Dans la figure 1 la corrélation entre la valeur de la force électromotrice de la pile déduite des mesures Josephson (avec $2 e/h = 483 592,5 \text{ GHz}/V_{\text{NRC}}$) et sa valeur exprimée directement en fonction de V_{NRC} a été obtenue en supposant que la force électromotrice moyenne du groupe des 10 piles de référence diminue linéairement de 0,316 μV par an (3,0 $\mu\text{V}/9,5 \text{ ans}$)

depuis janvier 1969, date du dernier ajustement de V_{NRC} .

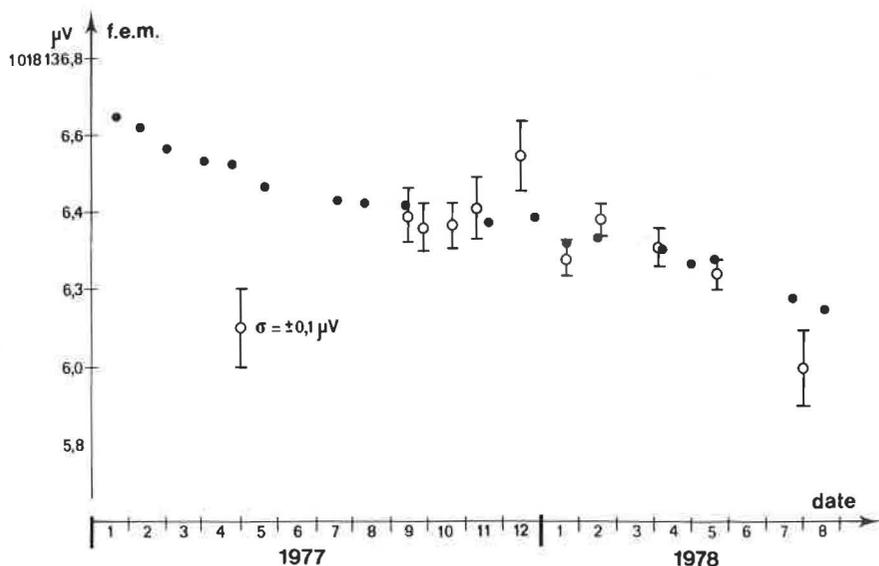


Fig. 1.- Corrélation entre la valeur de la force électromotrice d'une pile du groupe primaire exprimée en fonction de V_{NRC} |●| et la valeur de cette même force électromotrice exprimée en fonction d'une tension Josephson |○|. On a supposé que la valeur moyenne du groupe primaire diminuait linéairement de 0,316 $\mu V/a$.

Depuis le 1^{er} juillet 1978 l'unité de force électromotrice est représentée au Canada par la "différence de potentiel Josephson" qui correspond à une fréquence de 483 594,0 GHz.

BIBLIOGRAPHIE

1. WOOD (G.H.), DUNN (A.F.), NADON (L.A.), The AC Josephson effect monitoring of the unit of EMF in Canada, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-23, 1974, pp. 275-278.

ANNEXE E 12

L'ohm du SI tel que le réalisent les principaux laboratoires qui possèdent un condensateur calculable

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

(Traduction du Document CCE/78-38)

INTRODUCTION

Quatre laboratoires (NBS, NML, ETL, NPL) possèdent un condensateur calculable et la chaîne des ponts associés qui leur permettent de réaliser l'ohm du SI avec une incertitude bien inférieure à 1×10^{-6} . Au cours des deux dernières années, trois de ces laboratoires (ETL, NML, NPL) ont envoyé au BIPM des résistances de 1 ohm dont les valeurs, déduites de déterminations absolues, étaient exprimées en unité SI de résistance. Le NPL a également envoyé une résistance au NBS. Les résultats de ces comparaisons et la connaissance des dérives de Ω_{BIPM} et Ω_{NPL} permettent d'exprimer Ω_{BIPM} en fonction de l'ohm du SI réalisé par ces quatre laboratoires nationaux. Le but de ce document est de donner les résultats et de souligner les principales causes d'erreur qui existent à l'heure actuelle dans ce genre de comparaisons.

INCERTITUDES DE CES COMPARAISONS

Aux incertitudes des réalisations faites dans les divers laboratoires, il convient d'ajouter des incertitudes supplémentaires dues :

- 1) aux effets d'hystérésis provoqués par la pression, les vibrations et les variations de températures que subissent les étalons voyageurs ;
- 2) à l'erreur aléatoire de la comparaison faite au BIPM et, lorsqu'il n'en est pas tenu compte dans l'erreur de réalisation, l'erreur aléatoire faite au laboratoire d'origine ;
- 3) aux différences entre les techniques de mesure utilisées par les divers laboratoires, en particulier à la manière de tenir compte de l'auto-échauffement de la résistance mesurée par le courant de mesure.

En ce qui concerne le point n° 1, on a constaté que la résistance des étalons du NML après retour du BIPM était égale à leur résistance avant leur départ d'Australie à 1×10^{-8} près ; que l'un des étalons du NPL avait varié de moins de 2×10^{-8} et l'autre de moins de 4×10^{-8} ; que l'étalon du NPL envoyé au NBS avait varié de 6×10^{-8} (on pense que la plus grosse partie de cette variation s'est produite durant le voyage prolongé du retour au cours duquel l'étalon a supporté des différences de température importantes). Au moment où nous écrivons cette note nous ne connaissons pas le comportement des étalons voyageurs de l'ETL.

En ce qui concerne le point n° 2, l'erreur aléatoire au BIPM est d'environ 3×10^{-8} , au NPL d'environ 1×10^{-8} et au NBS d'environ 5×10^{-9} .

Actuellement c'est le point n° 3 qui constitue le problème le plus vaste. Les résistances étalons voyageurs du NPL sont mesurées au NPL avec une dissipation de 1 mW et par conséquent un auto-échauffement à peu près négligeable. Au NBS la résistance utilisée a été mesurée avec une dissipation continue de 10 mW mais les mesures supplémentaires de l'effet d'auto-échauffement faites au NPL permettent d'appliquer une correction satisfaisante avec une erreur d'environ 1×10^{-8} . Au BIPM on utilise également une dissipation de 10 mW, mais le courant ne traverse l'étalon que pendant les quelques secondes nécessaires à l'obtention de l'équilibre final. Il est donc difficile d'estimer la correction qu'il convient d'appliquer dans ce cas ; une erreur comprise entre 0 et 4×10^{-8} est possible.

Correction admise : $(2 \pm 2) \times 10^{-8}$.

COHÉRENCE AVEC LES COMPARAISONS PRÉCÉDENTES

D'après les comparaisons précédentes on connaît assez bien les dérives relatives des représentations des unités conservées par les laboratoires. On peut estimer les erreurs dues aux dérives sur les résultats mentionnés ici en s'appuyant sur les deux exemples suivants :

- 1) Dérive relative des représentations des unités du NBS et du NPL.

En novembre 1974 une comparaison avait donné comme résultat

$$\Omega_{\text{NBS}} - \Omega_{\text{NPL}} = 0,00 \times 10^{-6} \Omega$$

Depuis cette époque le NBS a refait des mesures pour rattacher Ω_{NBS} et F_{NBS} (à ne pas confondre avec F_{SI} qui est réalisé au moyen du condensateur calculable) et en a conclu que la dérive relative entre ces deux unités n'a pas dépassé 5×10^{-8} (ce qui permet de penser que Ω_{NBS} et F_{NBS} sont probablement stables dans cette limite au moins).

En juin 1978 nous avons trouvé :

$$\Omega_{\text{NBS}} - \Omega_{\text{NPL}} = + 0,09 \times 10^{-6} \Omega$$

et ceci est compatible avec les dérives admises pour Ω_{NBS} (dérive très petite ou même nulle) et pour Ω_{NPL} (dérive connue d'environ $- 0,043 \times 10^{-6}$ par an).

- 2) Dérive relative des représentations des unités du NPL et du BIPM.

D'après les comparaisons internationales précédentes on sait que les dérives de Ω_{NPL} et de Ω_{BIPM} sont égales entre elles à environ $0,01 \times 10^{-6}$ près par an ; les mesures faites en juin 1978 le confirment et conduisent donc à admettre que la dérive relative de Ω_{NPL} et de Ω_{BIPM} est de $0,00 \times 10^{-6}$ par an.

Nous en concluons que, si l'on applique des corrections pour tenir compte des dérives des représentations des unités du NBS, du NPL et du BIPM, l'erreur que l'on risque d'ajouter aux résultats auxquels on arrive ci-dessous est négligeable, même si Ω_{SI} a été réalisé au NBS en 1974.

RÉSULTATS

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-après.

*Différences entre l'ohm réalisé au laboratoire X ($\Omega_{SI,X}$)
et l'ohm conservé au BIPM (Ω_{BIPM})
en juin 1978*

Pays, X	$\Omega_{SI,X} - \Omega_{BIPM}$	Erreur
Japon, ETL	+ 1,25 x 10 ⁻⁶ Ω	$\pm 0,45 \times 10^{-6} \Omega$
Australie, NML	+ 1,06	$\pm 0,10$
États-Unis d'Amérique, NBS	+ 1,00	$\pm 0,07$
*Royaume-Uni, NPL	environ + 1	

*

Le condensateur calculable et les ponts associés du NPL n'ont pas encore été suffisamment éprouvés jusqu'à présent pour qu'on puisse tenir compte avec profit des résultats auxquels ils ont conduit.

CONCLUSIONS

L'accord entre les résultats ci-dessus est très satisfaisant, compte tenu des erreurs dont ils sont assortis.

Les représentations des unités conservées au NBS, au NPL et au BIPM semblent s'écarter de Ω_{SI} d'environ 1×10^{-6} .

Les résultats pourront être améliorés en réduisant évidemment l'incertitude des déterminations de Ω_{SI} effectuées par les laboratoires nationaux, mais aussi en réduisant la sensibilité des étalons de résistance voyageurs aux conditions d'environnement, en connaissant mieux les effets de l'auto-échauffement sur les mesures et en réduisant des erreurs aléatoires dans ces mesures.

Il est bien entendu que les erreurs estimées dans cette note résultent d'une interprétation personnelle des informations que nous possédons au moment où nous l'écrivons. Il est possible que les cinq laboratoires concernés les évaluent différemment.

**Rapport final sur la comparaison internationale
de tensions à 1 MHz**

par A. E. FANTOM

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

(Traduction du Document GT-RF/78-8)

Comparaison 72-3

Note : Lorsqu'il eut pris connaissance des résultats de la comparaison, l'ASMW a procédé à un examen de ses installations et découvert qu'une pièce défectueuse avait entraîné un défaut d'isolement entre l'entrée de courant continu de l'étalon de transfert et le circuit de pont de l'étalon de l'ASMW. Ce défaut avait le même effet qu'une différence radiofréquence-courant continu positive dans l'étalon de transfert.

Ce rapport donne les résultats d'une comparaison de tensions à 1 MHz, effectuée entre décembre 1973 et septembre 1977 à la suite de la décision prise par le Groupe de travail des radiofréquences lors de sa réunion des 10-11 octobre 1972. Les laboratoires participants ont été les suivants :

Laboratoire pilote : NPL (National Physical Laboratory, Royaume-Uni)
EQD (Electrical Quality Assurance Directorate, Royaume-Uni)
NBS (National Bureau of Standards, États-Unis d'Amérique)
NML (National Measurement Laboratory, Australie)
PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Rép. Féd. d'Allemagne)
IEN (Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Italie)
ONM (Országos Mérésügyi Hivatal/Office National des Mesures, Hongrie)
ASMW (Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Rép. Dém. Allemande).

Le NPL, laboratoire pilote, n'a pas pris part aux mesures puisque le Royaume-Uni était représenté par l'EQD, dont les étalons, quand il le faut, sont contrôlés au NPL. Après chaque mesure, toutefois, les étalons de transfert étaient retournés au NPL pour vérification avant d'être envoyés au laboratoire suivant. On a utilisé deux étalons de transfert identiques du type convertisseur thermique (fig. 1), tous les deux construits par l'EQD. Ils consistent essentiellement en une pièce en T de précision reliée à un thermocouple chauffé indirectement par l'intermédiaire d'une résistance de 200Ω , non spiralisée, à couche de carbone montée en série.

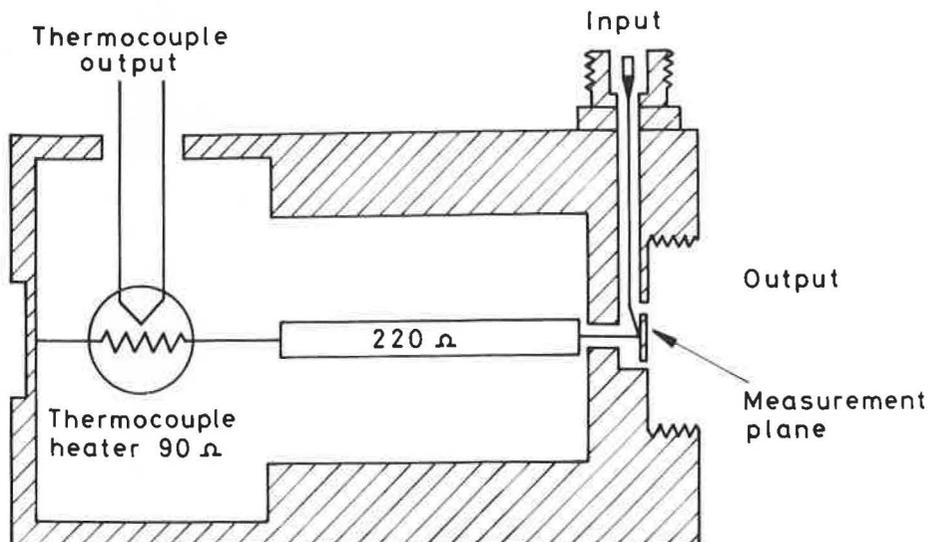


Fig. 1.- Schéma du convertisseur thermique type GR900TSL2

La résistance de chauffage du thermocouple est de 90Ω ; elle est parcourue par un courant de 5 mA . La sortie du convertisseur permet d'adapter un connecteur General Radio GR900 dont on a enlevé la bague de verrouillage et cette interface constitue le plan de référence de tension pour la comparaison. L'entrée sur le convertisseur se fait au moyen d'un connecteur femelle de 500Ω de type N. La fréquence de mesure était égale à $1 \text{ MHz} \pm 0,01 \%$ et le niveau de tension en radiofréquence égal à 1 volt , ce qui correspond à une tension de sortie du thermocouple d'environ $3,6 \text{ mV}$.

La grandeur à mesurer était la différence radiofré-
quence - courant continu définie comme suit :

$$\text{r.f.-courant continu (en pour cent)} = \left(\frac{V_{\text{rf}} - V_{\text{dc}}}{V_{\text{dc}}} \right) \times 100 \%$$

où

$$V_{\text{dc}} = \frac{V_{\text{dc}+} + V_{\text{dc}-}}{2}$$

V_{rf} est la valeur efficace de la tension de sortie r.f. sur le plan de référence pour une tension de sortie donnée du thermocouple,

$V_{\text{dc}+}$ est la tension de sortie positive en courant continu sur le plan de référence qui donne la même tension de sortie du thermocouple que V_{rf} ,

et $V_{\text{dc}-}$ est la tension de sortie négative en courant continu sur le plan de référence qui donne la même tension de sortie du thermocouple que V_{rf} .

Ainsi la comparaison n'était pas à proprement parler une comparaison directe de tensions r.f., mais une épreuve pour contrôler les possibilités qu'ont les laboratoires de mesurer le rapport entre une tension en r.f. et une tension en courant continu.

Les deux étalons ont circulé indépendamment dans l'ordre suivant :

Étalon 1 (série N° 1278)

EQD-NBS-NML-PTB-EQD-IEN-ONM-ASMW-EQD

Étalon 2 (série N° 3456)

EQD-IEN-ONM-ASMW-EQD-NBS-NML-PTB-EQD.

Ainsi l'EQD devait mesurer trois fois chaque étalon. On espérait de cette façon diminuer les effets des dommages qui pourraient survenir sur un des étalons de transfert ou d'une longue immobilisation dans un des laboratoires. De fait l'étalon 1 a eu deux pannes pendant la comparaison, toutes deux dues à un court-circuit entre le chauffage et la sortie du thermocouple ; dans les deux cas il a fallu le renvoyer à l'EQD pour qu'il soit remis en état et mesuré à nouveau. Cet étalon a été mesuré deux fois par la PTB, avant et après la première panne. L'étalon 2 a fonctionné normalement pendant toute la comparaison.

Les résultats des mesures et les incertitudes sont donnés dans les tableaux I et II, et représentés sur les figures 2 et 3. Il avait été demandé aux laboratoires de donner séparément les valeurs des erreurs systématique et aléatoire mais, sauf pour les résultats du NBS, les deux erreurs ont été combinées en ajoutant l'erreur systématique à trois fois l'écart-type de la composante aléatoire. Le NBS a donné des incertitudes correspondant à un niveau de confiance de 99 %. Compte tenu de la dispersion très large des incertitudes, on n'a pas essayé de calculer des valeurs moyennes. Les résultats obtenus avec l'étalon 1 doivent être considérés comme les résultats de trois sous-comparaisons distinctes à cause des deux pannes survenues à cet étalon. Les résultats de chacune de ces sous-comparaisons sont cohérents entre eux, c'est-à-dire qu'il y a un domaine de valeurs qui sont simultanément comprises à l'intérieur des limites d'incertitudes de toutes les mesures de la sous-comparaison. Il est intéressant de noter, toutefois, que si l'on considère tous les résultats obtenus avec l'étalon 1 comme les résultats d'une comparaison unique, ils sont encore cohérents, ce qui laisse à penser que les pannes et les réparations qui les ont suivies ont eu peu d'effet. En revanche, les résultats pour l'étalon 2 ne sont pas entièrement cohérents, puisque les limites d'incertitude des résultats de l'ASMW ne recouvrent aucune des limites d'incertitude données par les autres laboratoires. Les résultats deviennent cependant cohérents, si l'on exclut le résultat de l'ASMW.

En dépit de la durée de la comparaison (3 ans 9 mois), on ne peut pas mettre en évidence des dérives à long terme des étalons de transfert. Il ne semble pas non plus y avoir de différence significative entre les deux étalons. En fait, les résultats pris dans leur ensemble montrent que les techniques de mesure actuelles ne permettent pas de mettre en évidence des différences radiofréquence-courant continu.

Janvier 1978.

TABLEAU I

Résultats relatifs à l'étalon de transfert N° 1
(numéro de série : 1278)

Laboratoire	Différence mesurée rf-dc (%)	Incertitude systématique S (%)	Incertitude aléatoire r (%)	Incertitude combinée et méthode de calcul (%)
EQD	+ 0,006	0,037 5	0,002 4 (écart-type)	0,045 (= S + 3 r)
NBS	- 0,007	0,01 (99 % de confiance)	0,002 (99 % de confiance)	0,01 (= $\sqrt{S^2 + r^2}$)
NML	+ 0,005 3	0,01	0,000 12 (écart-type)	0,01 (= S + 3 r)
PTB	- 0,003 2	0,02	0,001 0 (écart-type)	0,023 (= S + 3 r)
Réparation de l'étalon de transfert				
EQD	- 0,004	0,037 5	0,001 3 (écart-type)	0,042 (= S + 3 r)
PTB	- 0,002 5	0,02	0,001 (écart-type)	0,023 (= S + 3 r)
IEN	- 0,006 1	0,02	0,002 (écart-type)	0,026 (= S + 3 r)
Réparation de l'étalon de transfert				
EQD	+ 0,006	0,037 5	0,003 6 (écart-type)	0,048 (= S + 3 r)
ONM	<± 0,005	0,01	0,01 (3 x écart- type)	0,02 (= S + 3 r)
ASMW	0,15	0,13	0,05 (écart-type)	0,28 (= S + 3 r)
EQD	- 0,009	0,036	0,001 5 (écart-type)	0,041 (= S + 3 r)

TABLEAU II

Résultats relatifs à l'étalon de transfert N° 2
(numéro de série : 3456)

Laboratoire	Différence mesurée rf-dc (%)	Incertitude systématique S (%)	Incertitude aléatoire r (%)	Incertitude combinée et méthode de calcul (%)
EQD	+ 0,007	0,037 5	0,001 8 (écart-type)	0,043 (S + 3 r)
IEN	+ 0,010 6	0,02	0,002 (écart-type)	0,026 (S + 3 r)
ONM	<± 0,002	0,01	0,01 (3 x écart- type)	0,02 (S + 3 r)
ASMW	+ 0,39	0,13	0,05 (écart-type)	0,28 (S + 3 r)
EQD	- 0,005	0,037 5	0,001 3 (écart-type)	0,042 (S + 3 r)
NBS	- 0,008	0,01 (99 % de confiance)	0,002 (99 % de confiance)	0,01 ($\sqrt{S^2 + r^2}$)
NML	+ 0,005 1	0,0075	0,000 2 (écart-type)	0,008 1 (S + 3 r)
PTB	0,003	0,02	0,001 (écart-type)	0,023 (S + 3 r)
EQD	- 0,011	0,036	0,002 9 (écart-type)	0,045 (S + 3 r)

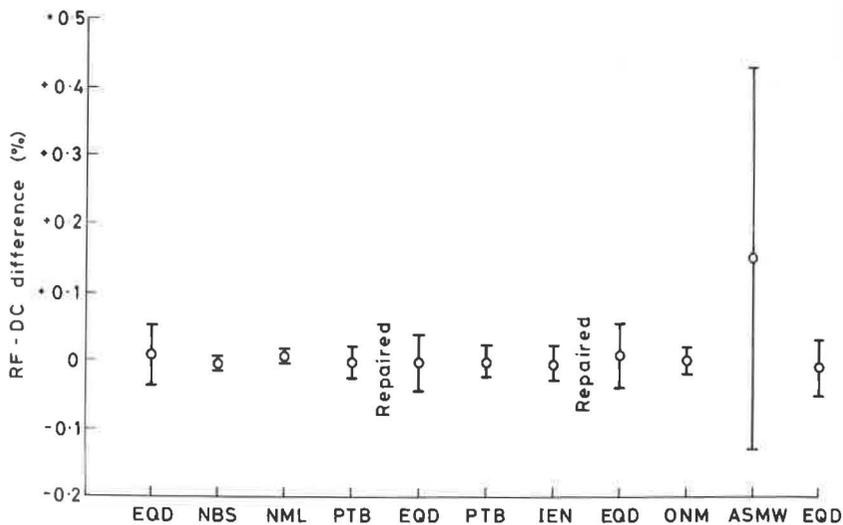


Fig. 2.- Résultats relatifs à l'étalon de transfert N° 1
(numéro de série : 1278)

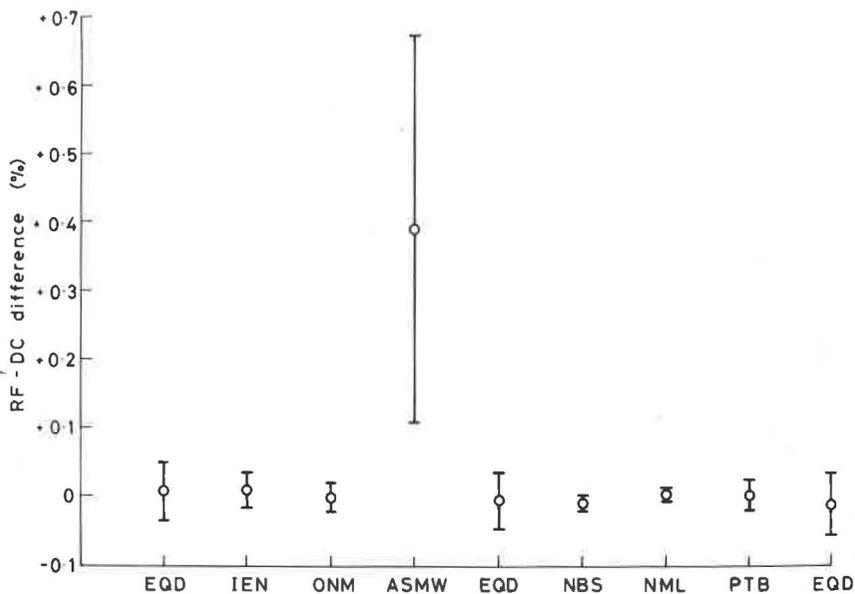


Fig. 3.- Résultats relatifs à l'étalon de transfert N° 2
(numéro de série : 3456)

**Rapport sur une comparaison internationale
des affaiblissements aux basses valeurs, à la fréquence 10 GHz,
sur guides d'ondes R 100 (WG 16, WR 90) ***

par H. BAYER

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

(Document GT-RF/78-10)

La comparaison internationale 72-9 "Affaiblissements aux basses valeurs, à la fréquence de 10 GHz, sur guide d'ondes R 100" (WG 16, WR 90), proposée à l'occasion de la troisième séance du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences a été achevée. Les laboratoires suivants y ont participé :

1. Istituto Elettrotecnico Nazionale (IEN), Italie
2. Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), Hongrie
3. National Measurement Laboratory (NML), Australie
4. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Rép. Féd. d'Allemagne
5. Försvarets Forskningsanstalt [(Research Institute of National Swedish Defence), RIND], Suède
6. Royal Signals and Radar Establishment (RSRE), Grande-Bretagne

La PTB a été le laboratoire pilote.

Les étalons voyageurs suivants ont été mis à la disposition par les laboratoires indiqués entre parenthèses :

- 1.) 0,001 dB (NML),
- 2.) 0,01 dB (NML),
- 3.) 0,05 dB (PTB),
- 4.) 0,3 dB (RIND),
- 5.) 0,5 dB (RSRE),
- 6.) 0,5 dB à 1 dB (affaiblisseur variable, OMH).

* Texte condensé du rapport complet, en langue anglaise, qui constitue le document GT-RF/78-10 (PTB-Bericht-E-9, Mai 1978).

Les étalons 1, 2 et 4 étaient réglables entre la valeur affaiblie et la valeur d'affaiblissement zéro sans qu'il soit nécessaire de les déconnecter des guides de l'équipement.

Les affaiblisseurs 3 et 5 ont été enlevés et insérés de nouveau en vue du mesurage.

L'étalon 6 était un affaiblisseur variable (affaiblisseur à lame tournante).

Les valeurs de comparaison correspondaient à la position de l'angle de la lame de $4^{\circ} 20'$ (0,05 dB), $6^{\circ} 10'$ (0,1 dB), $9^{\circ} 40'$ (0,25 dB), $13^{\circ} 40'$ (0,5 dB) et $19^{\circ} 20'$ (1,0 dB).

Les méthodes employées pour mesurer l'affaiblissement étaient les suivantes :

1. La méthode d'une comparaison des puissances (IEN, PTB, RIND).
2. La méthode de substitution aux fréquences acoustiques avec deux canaux (OMH).
3. La méthode modifiée de la sous-porteuse modulée (RSRE).
4. La méthode automatique de substitution parallèle à fréquence intermédiaire (NML).

La circulation des étalons voyageurs correspondait au schéma en pétales (fig. 1).

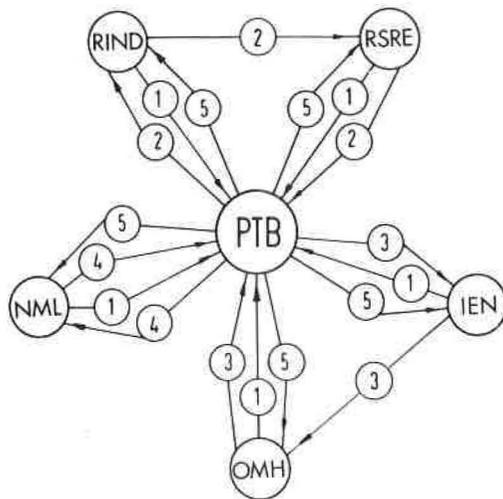


Fig. 1.- Schéma de la circulation des étalons voyageurs.

TABLEAU I

Résultats de la comparaison
(Toutes les valeurs numériques en dB⁴⁾)

Etalons voyagers										
	NKL-60010	NKL-60009	FTB-2,23-23 (400-1)	RIND	RSRE UK 73	DMH = Unipan X 130				
Laboratoires	0,001	0,01	0,05	0,3	0,5	0,05	0,1	0,25	0,5	1,0
NKL	0,001065 0,000041 0,00001	0,009684 0,000048 0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-
DMH	-	-	-	-	-	0,03041 0,00005 0,00005	0,10170 0,00008 0,00005	0,25120 0,00005 0,00005	0,50331 0,00009 0,00005	1,01589 0,00009 0,00005
PTB	-	-	0,05015 0,00004 0,00003	-	-	-	-	-	-	-
RIND	-	-	-	0,3224 0,0002	-	-	-	-	-	-
RSRE	-	-	-	-	0,4967 0,00019 0,0002	-	-	-	-	-
FTB	0,001003 0,000004 0,0002	0,009795 0,000003 0,0002	0,05015 0,00004 0,0003	0,30919 0,00001 0,004	0,3026 0,0002 0,001	0,05046 0,00001 0,00005	0,10205 0,00002 0,00005	0,25075 0,00003 0,00005	0,50295 0,00003 0,00005	1,0150 0,00005 0,00005
RIND	-	0,0110 0,00026	0,0444 0,0005	0,3718 0,0003	0,5045 0,0007	0,0502 0,00033	0,1024 0,00011	0,2513 0,00035	0,5049 0,00045	1,0182 0,0004
RSRE	0,00110 0,00002 0,0002	0,02000 0,00003 0,0003	0,0516 0,0002 0,002	0,3116 0,00001 0,001	0,4980 0,0003 0,002	0,0512 0,00003 0,00003	0,1028 0,00005 0,0004	0,2520 0,00005 0,0005	0,5048 0,00010 0,0006	1,0168 0,00005 0,0008
PTB	0,000998 0,000006 0,0002	0,009792 0,000005 0,0002	0,05047 0,00007 0,0003	0,31038 0,00001 0,004	0,4975 0,0001 0,001	0,05078 0,00001 0,00005	0,10240 0,00001 0,00005	0,25127 0,00002 0,00005	0,50352 0,00001 0,0005	1,01582 0,00002 0,0005
IZN	0,00129 0,00005 0,0002	0,00970 0,00005 0,0003	0,0502 0,0008 0,0007	0,3134 0,0007 0,0013	0,4715 0,0008 0,0009	0,05076 0,00010 0,00003	0,1023 0,00011 0,0004	0,2509 0,00012 0,0006	0,5033 0,00011 0,0008	1,0161 0,00013 0,001
DMH	0,00096 0,00003 0,0001	0,00951 0,00005 0,0001	0,05169 0,00106 0,0005	0,31552 0,00010 0,001	0,50286 0,00084 0,001	0,05048 0,00005 0,00005	0,10237 0,00007 0,00005	0,25092 0,00004 0,00005	0,50317 0,00009 0,00005	1,01588 0,00006 0,0005
PTB	0,000993 0,000002 0,0002	0,009810 0,000003 0,0002	0,05124 0,00006 0,0003	0,31402 0,00004 0,004	0,49814 0,00014 0,001	0,05071 0,00002 0,00005	0,10245 0,00009 0,00005	0,25135 0,00002 0,00005	0,50357 0,00002 0,00005	1,01621 0,00005 0,0005
NKL	0,001009 0,000007 0,00003	0,009628 0,000017 0,00003	0,0528 0,0006 0,001	0,3168 0,0008 0,001	0,5012 0,0005 0,001	0,0508 0,00006 0,001	0,1024 0,00009 0,001	0,2520 0,0002 0,001	0,5036 0,0003 0,001	1,0174 0,0002 0,001
PTB	0,000986 0,000006 0,0002	0,009811 0,000004 0,0002	0,05154 0,00009 0,001	0,32199 0,00003 0,004	0,50117 0,00008 0,001	0,05066 0,00001 0,00005	0,10229 0,00001 0,00005	0,25117 0,00002 0,00005	0,50351 0,00003 0,00005	1,01585 0,00004 0,0005
NKL	0,001005 0,000008 0,00002	0,00958 0,00001 0,00003	-	-	-	-	-	-	-	-
DMH	-	-	-	-	-	0,05081 0,00015 0,00005	0,10251 0,00011 0,00005	0,25171 0,00007 0,00005	0,50409 0,00012 0,00005	1,01662 0,00014 0,00005
PTB	-	-	0,05174 0,00006 0,001	-	-	-	-	-	-	-
RIND	-	-	-	0,3173 0,0002	-	-	-	-	-	-
RSRE	-	-	-	-	0,4977 0,0002 0,002	-	-	-	-	-

⁴⁾ Pour chaque comparaison trois valeurs sont données

a) la valeur moyenne

b) l'écart type de la moyenne

c) l'estimation de l'imprécision systématique

La comparaison a été commencée en octobre 1973 et a été terminée en novembre 1976. Les résultats essentiels sont donnés dans le Tableau I. Le nombre n des mesurages individuels dont la valeur moyenne a été communiquée aux laboratoires, est donné au Tableau II, si $n \neq 10$. Le rapport final du laboratoire pilote (Document GT-RF/78-10) contient une description des méthodes, des étalons voyageurs et de tous les résultats, y compris une discussion détaillée.

T A B L E A U II

Nombre n des mesurages individuels si $n \neq 10$

Laboratoire	Etalons voyageurs					
	NML 0.001	NML 0.01	PTB 0.05	RIND 0.3	RSRE 0.5	OMH 0.05-1
NML	850	580	-	-	-	-
OMH	-	-	-	-	-	6
IEN	-	-	-	-	7	15
OMH	-	-	-	5	-	-
NML	2630	540	-	-	-	-
NML	2060	1500	5	31	-	-
OMH	-	-	-	-	-	5

BIBLIOGRAPHIE

1. International intercomparison of low attenuation in waveguide R 100 (WG 16, WR 90) at 10 GHz, *PTB-Bericht* E-9, mai 1978, pp. 1-48.

ANNEXE E 15

**Rapport final sur la comparaison internationale
d'affaiblissement à 30 MHz**

par D. L. HOLLWAY

National Measurement Laboratory (Australie)

(Traduction du Document GT-RF/78-11)

Laboratoire pilote : National Measurement Laboratory, Australie
(NML)

Participants : Conseil National de Recherches, Canada
(NRC)
Electrotechnical Laboratory, Japon (ETL)
National Bureau of Standards, Etats-Unis
d'Amérique (NBS)
National Measurement Laboratory, Australie
(NML)
National Physical Laboratory, Royaume-Uni
(NPL)
Office National des Mesures, Hongrie
(OMH)
Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Rép. Féd. d'Allemagne (PTB)
Research Institute of National Defence,
Suède (FOA).

INTRODUCTION

Lors de la 13^e session du Comité Consultatif d'Electricité qui s'est tenue à Sèvres en 1972, le Groupe de travail pour les Grandeurs aux Radiofréquences avait fait savoir que la comparaison internationale d'affaiblissement à 30 MHz, pour laquelle le NML (à l'époque NSL) jouait le rôle de laboratoire

pilote, avait conduit à des résultats non concluants par suite de l'instabilité de l'un des affaiblisseurs de masquage. Pour cette première comparaison on avait utilisé des affaiblisseurs du commerce. Etant donnée l'importance que représentent les mesures d'affaiblissement à 30 MHz pour les laboratoires nationaux, on a décidé, au cours de la session de 1972, de refaire cette comparaison et le NML a été désigné comme laboratoire pilote.

La précédente comparaison internationale avait montré que, dans bien des pays, les étalons et l'équipement utilisés pour les mesures d'affaiblissement étaient d'une précision si élevée que la réalisation d'étalons voyageurs d'affaiblissement suffisamment stables pour faire apparaître les différences entre les laboratoires serait une tâche difficile. Les affaiblisseurs que l'on trouve actuellement dans le commerce ne sont pas suffisamment stables et reproductibles.

Au cours de la session de 1972 on avait pris deux décisions qui modifiaient la méthode employée pour les comparaisons internationales. D'abord on avait décidé que les résultats obtenus par chaque laboratoire ne seraient diffusés aux autres laboratoires qu'après achèvement de la comparaison ; ensuite que les étalons voyageurs circuleraient selon un schéma "en pétales", c'est-à-dire qu'ils retourneraient au laboratoire pilote toutes les deux ou trois comparaisons.

ÉTALONS VOYAGEURS

Le laboratoire pilote a construit cinq affaiblisseurs à résistance de valeur nominale 3, 6, 10, 20 et 40 dB. Chacun comportait un affaiblisseur, commutable au moyen d'un relais à contacts mouillés au mercure commandé électriquement, produisant un échelon d'affaiblissement. Comme l'affaiblissement dépendait légèrement de l'intensité du courant qui traversait la bobine du relais, les affaiblisseurs étaient accompagnés d'un stabilisateur de courant permettant de réduire les variations dues à cette cause à moins de 0,001 dB. L'affaiblisseur commutable produisant l'échelon d'affaiblissement était inséré entre deux masques de 10 dB connectés de manière permanente. Le module du coefficient de réflexion pour la porte d'entrée et la porte de sortie était inférieur à 0,005 dans l'une ou l'autre des positions du commutateur. Les affaiblisseurs de

valeurs plus élevées étaient équipés d'un dispositif entourant chacun des connecteurs de type N d'entrée et de sortie, pour permettre la connexion avec une tresse de blindage (fournie) enfilée par dessus les câbles d'entrée et de sortie.

Une brève description des affaiblisseurs est donnée dans l'Appendice.

Après leur construction les affaiblisseurs ont été mis à l'épreuve pendant plusieurs mois dans le laboratoire pilote. Les épreuves comportaient un chauffage à 80 °C pendant des périodes de 12 heures, un essai aux chocs et 70 000 opérations de commutation. Au cours de ces épreuves on a détecté et remplacé un composant défectueux.

Les coefficients de température des affaiblisseurs étaient les suivants :

dB	dB/°C	dB	dB/°C
3	- 6 x 10 ⁻⁵	20	+ 30 x 10 ⁻⁵
6	- 25 x 10 ⁻⁵	40	+ 95 x 10 ⁻⁵
10	+ 31 x 10 ⁻⁵		

RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

Les résultats complets de la comparaison sont reproduits dans les tableaux I à V. Bien qu'il ne semble pas que les étalons voyageurs aient dérivé de quantités appréciables les résultats ont été donnés dans l'ordre chronologique des mesures.

Les mêmes résultats sont présentés sous forme graphique, avec des abscisses proportionnelles au temps, sur les figures NOS 1 à 5; chaque figure correspond à l'ensemble des mesures faites sur le même étalon voyageur. Le point placé au milieu de chaque trait "vertical" correspond à la valeur moyenne donnée par le laboratoire dont les initiales figurent au-dessus de l'axe du temps. De part et d'autre de ce point la longueur du trait correspond à trois fois l'écart-type de la moyenne augmentées de l'erreur systématique ou incertitude estimée par le laboratoire. Les lignes qui joignent les traits "verticaux" n'ont pas de signification ; elles servent seulement à faire apparaître plus clairement les positions relatives de ces traits.

Il convient de noter que la moyenne des quatre valeurs (marquées "Δ") qui, sur chaque figure, représentent les résultats obtenus par le laboratoire pilote, n'est pas nécessairement plus exacte que la valeur, représentée par un point unique, obtenue par chacun des autres laboratoires.

Après avoir constaté les différences qui existent entre certains résultats et entre les grandeurs des incertitudes indiquées, nous avons décidé de ne pas calculer une valeur moyenne pour chaque affaiblisseur mais de présenter les résultats sans commentaire pour permettre à chaque laboratoire d'en tirer ses propres conclusions.

Un défaut inhérent aux comparaisons internationales est le long délai qui existe souvent entre les mesures, ce qui oblige à disposer d'étalons voyageurs de grande stabilité. Par ailleurs les premiers participants ne reçoivent pas les résultats au moment où ceux-ci leur seraient le plus utiles.

Cependant, compte tenu de la stabilité apparente des étalons voyageurs sur une période de plus de 3 ans et de l'accord étroit qui existe entre les résultats de plusieurs laboratoires, on peut considérer que cette comparaison a été un succès.

FUTURES COMPARAISONS

Nous avons l'intention de conserver les étalons voyageurs ensemble, dans leur emballage d'origine. Si dans l'avenir un laboratoire (ancien participant ou non) souhaite recevoir ces étalons, le National Measurement Laboratory sera très heureux de les mettre à sa disposition pour un temps limité.

D'autre part, Mr P.I. Somlo a conçu un dispositif coaxial transportable pour contrôler les systèmes d'étalonnage d'affaiblisseurs à 30 MHz par la méthode de Laverick [1], [2]. Cette méthode absolue fournit un échelon connu, au voisinage de 6 dB, avec une erreur probable de $4,7 \times 10^{-5}$ dB. Ce dispositif et un appareil analogue en guide d'ondes [3] pourront être retenus pour les futures comparaisons.

TABLEAU I

Etalon voyageur NML S60255

Numéro	Laboratoire	Date des mesures	Valeur mesurée (en dB)	Ecart-type de la moyenne (en dB)	Erreur systématique estimée (en dB)	Température (°C)	Méthode
1	NML	mars 1975	3,000 7	0,000 1	± 0,002 3	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
2	NBS	mai 1975	3,001	0,000 4	± 0,002	23	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution série.
3	NRC	juillet 1975	3,000 6	< 0,000 1	± 0,001	22	Diviseur inductif à 10 kHz, substitution série.
4	NML	juillet 1975	3,000 6	0,000 15	± 0,002 3	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
5	ETL	mars 1976	3,001	0,001	± 0,002	22	-id.-
6	NPL	janvier 1977	2,983 1	0,000 05	± 0,000 16	24	Affaiblisseur à onde évanescente.
7	NML	mars 1977	3,000 78	0,000 02	± 0,002 3	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
8	FOA	mai 1977	3,021	0,001 9	± 0,01	20,5	Affaiblisseur à onde évanescente.
9	OMH	août 1977	3,001 15	0,000 03	± 0,003	22	Substitution audiofréquence à deux canaux et substitution parallèle à fréquence intermédiaire.
10	PTB	mars 1978	3,001 3	0,000 04	± 0,003	23	Mesure de puissance
11	NML	mai 1978	3,001 02	0,000 02	± 0,002 3	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.

1
E
C
1

TABEAU II

Numéro	Laboratoire	Date des mesures	Valeur mesurée (en dB)	Ecart-type de la moyenne (en dB)	Erreur systématique estimée (en dB)	Température (°C)	Méthode
1	NML	mars 1975	6,039 2	0,000 1	± 0,002 6	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
2	NBS	mai 1975	6,041	0,000 2	± 0,003	23	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution série.
3	NRC	juillet 1975	6,042 1	< 0,000 1	± 0,001	22	Diviseur inductif à 10 kHz, substitution série.
4	NML	juillet 1975	6,040 0	0,000 15	± 0,002 6	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
5	ETL	mars 1976	6,043	0,001	± 0,003	22	-id.-
6	NPL	janvier 1977	6,016 3	0,000 9	± 0,000 22	24	Affaiblisseur à onde évanescente.
7	NML	mars 1977	6,040 39	0,000 02	± 0,002 6	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
8	FOA	mai 1977	6,046	0,001 6	± 0,01	20,5	Affaiblisseur à onde évanescente.
9	OMH	août 1977	6,039 14	0,000 05	± 0,005	22	Substitution audionfréquence à deux canaux et substitution parallèle à fréquence intermédiaire.
10	PTB	mars 1978	6,040 7	0,000 07	± 0,003	23	Mesure de puissance
11	NML	mai 1978	6,040 83	0,000 02	± 0,002 6	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.

TABLEAU III

Etalon voyageur NML S60257

Numéro	Laboratoire	Date des mesures	Valeur mesurée (en dB)	Ecart-type de la moyenne (en dB)	Erreur systématique estimée (en dB)	Température (°C)	Méthode
1	NML	mars 1975	10,020 9	0,000 1	± 0,003	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
2	NBS	mai 1975	10,022	0,000 3	± 0,004	23	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution série.
3	NRC	juillet 1975	10,022 7	< 0,000 1	± 0,001	22	Diviseur inductif à 10 kHz, substitution série.
4	NML	juillet 1975	10,021 3	0,000 23	± 0,003	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
5	ETL	mars 1976	10,024	0,001	± 0,003	22	-id.-
6	NPL	janvier 1977	9,993 4	0,000 05	± 0,000 3	24	Affaiblisseur à onde évanescente.
7	NML	mars 1977	10,022 3	0,000 01	± 0,003	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
8	FOA	mai 1977	10,025	0,002 2	± 0,015	20,5	Affaiblisseur à onde évanescente.
9	OMH	août 1977	10,028 4	0,000 1	± 0,01	22	Substitution audiofréquence à deux canaux et substitution parallèle à fréquence intermédiaire.
10	PTB	mars 1978	10,024 2	0,000 11	± 0,003	23	Mesure de puissance.
11	NML	mai 1978	10,022 7	0,000 02	± 0,003	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.

TABLEAU IV

Etalon voyageur NML S60258

Numéro	Laboratoire	Date des mesures	Valeur mesurée (en dB)	Ecart-type de la moyenne (en dB)	Erreur systématique estimée (en dB)	Température (°C)	Méthode
1	NML	mars 1975	19,716 5	0,000 1	± 0,004	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
2	NBS	mai 1975	19,718	0,000 2	± 0,008	23	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution série.
3	NRC	juillet 1975	19,717 9	< 0,000 1	± 0,002	22	Diviseur inductif à 10 kHz, substitution série.
4	NML	juillet 1975	19,717 1	0,000 15	± 0,004	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
5	ETL	mars 1976	19,724	0,001	± 0,006	22	-id.-
6	NPL	janvier 1977	19,684 8	0,000 05	± 0,000 5	24	Affaiblisseur à onde évanescente.
7	NML	mars 1977	19,716 2	0,000 04	± 0,004	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
8	FOA	mai 1977	19,735	0,002 5	± 0,03	20,5	Affaiblisseur à onde évanescente.
9	OMH	août 1977	19,740 2	0,000 2	± 0,02	22	Substitution audiofréquence à deux canaux et substitution parallèle à fréquence intermédiaire.
10	PTB	mars 1978	19,718 1	0,000 4	± 0,005	23	Mesure de puissance.
11	NML	mai 1978	19,714 9	0,000 07	± 0,004	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle

TABLEAU V

Etalon voyageur NML S60259

Numéro	Laboratoire	Date des mesures	Valeur mesurée (en dB)	Ecart-type de la moyenne (en dB)	Erreur systématique estimée (en dB)	Température (°C)	Méthode
1	NML	mars 1975	39,492 5	0,000 2	± 0,006	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
2	NBS	mai 1975	39,498	0,000 5	± 0,016	23	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution série.
3	NRC	juillet 1975	39,494 1	< 0,000 1	± 0,005	22	Diviseur inductif à 10 kHz, substitution série.
4	NML	juillet 1975	39,491 6	0,000 23	± 0,006	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.
5	ETL	mars 1976	39,502	0,002	± 0,01	22	-id.-
6	NPL	janvier 1977	39,451 9	0,000 05	± 0,000 9	24,1	Affaiblisseur à onde évanescente.
7	NML	mars 1977	39,489 2	0,000 04	± 0,006	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle
8	FOA	mai 1977	39,559	0,002 2	± 0,04	20,5	Affaiblisseur à onde évanescente.
9	OMH	août 1977	39,473	0,003	± 0,03	22	Substitution audiofréquence à deux canaux et substitution parallèle à fréquence intermédiaire.
10	PTB	mars 1978	39,490 6	0,000 35	± 0,02	23	Mesure de puissance.
11	NML	mai 1978	39,485 9	0,000 1	± 0,006	22	Affaiblisseur à onde évanescente, substitution parallèle.

1
E
89
1

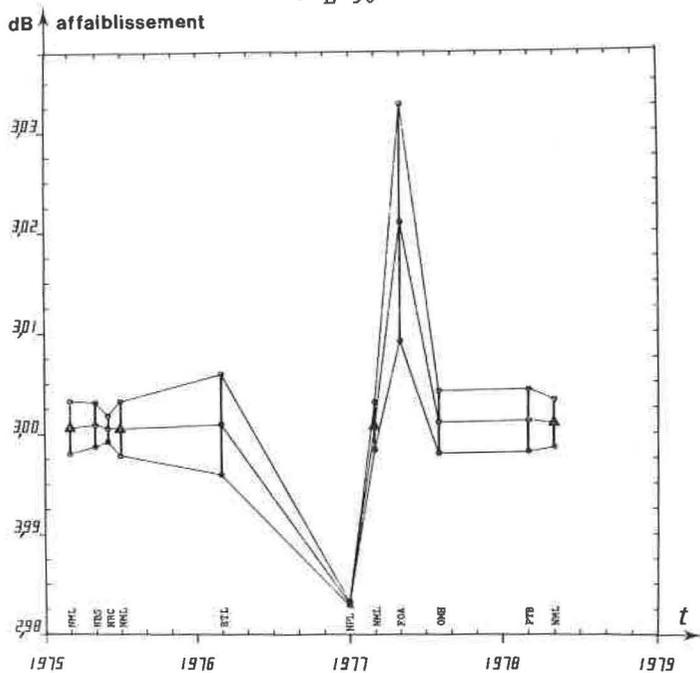


Fig. 1.- Etalon voyageur NML S60255.

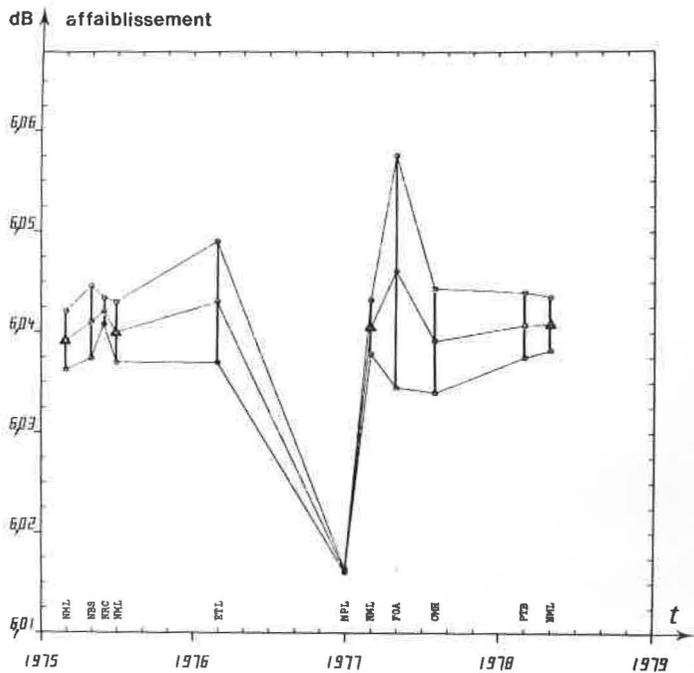


Fig. 2.- Etalon voyageur NML S60256.

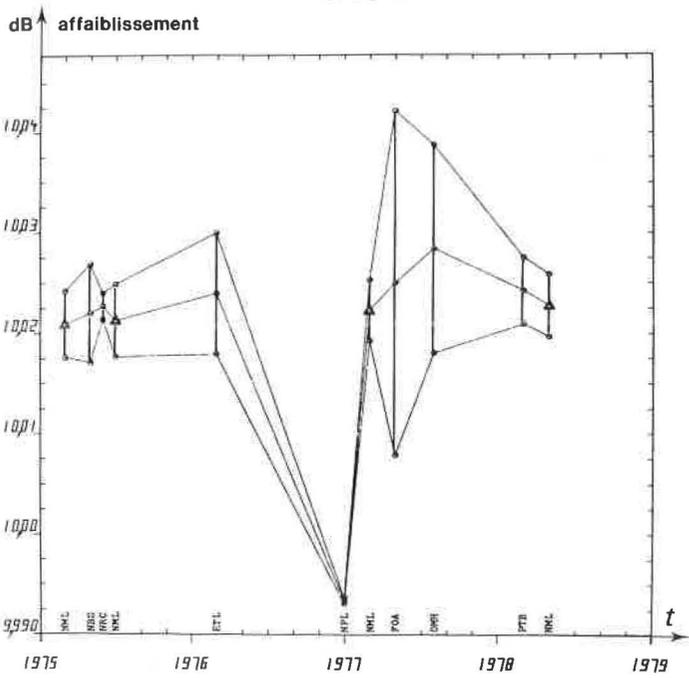


Fig. 3.- Etalon voyageur NML S60257.

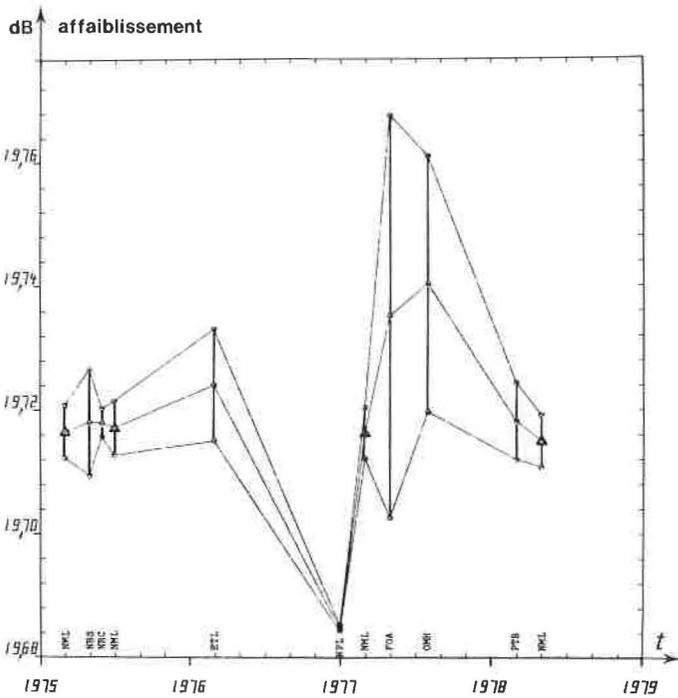


Fig. 4.- Etalon voyageur NML S60258.

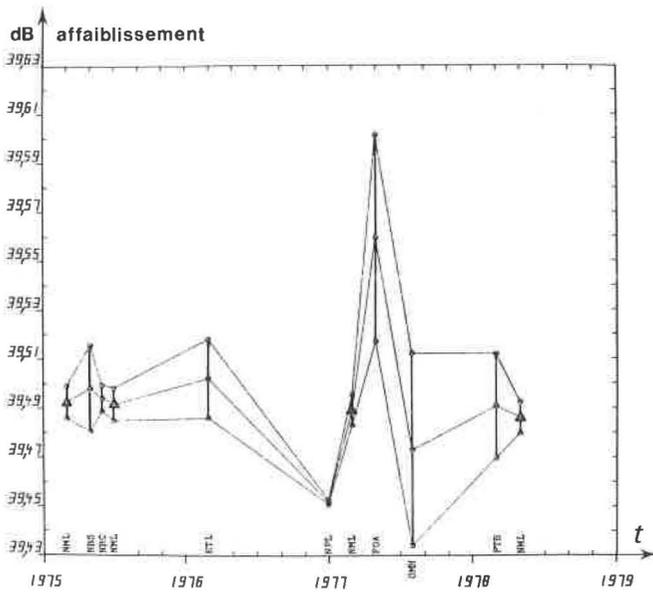
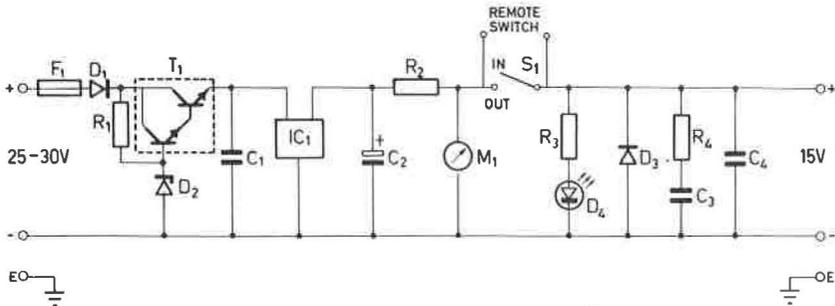


Fig. 5.- Etalon voyageur NML S60259.

CONTROL BOX



- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| C ₁ - 1μF | M ₁ - Meter 20V F.S.D. |
| C ₂ - 470μF | R ₁ - 8.2kΩ |
| C ₃ - 1μF | R ₂ - 1Ω |
| C ₄ - 470pF | R ₃ - 1.8kΩ |
| D ₁ - 1A Silicon Diode | R ₄ - 100Ω |
| D ₂ - 25V Zener Diode | S ₁ - Switch |
| IC ₁ - 7815 15V Regulator | T ₁ - MJ1001 Darlington |
| | D ₃ - LED |
| | F ₁ - 1 Amp Fuse |

REMERCIEMENTS

Au NML, c'est Mr P.I. Somlo qui a effectué les nombreuses et délicates mesures des étalons voyageurs. Il a aussi préparé les tableaux et les courbes tracées par ordinateur reproduites sur les diagrammes 1 à 5.

Mr Somlo a contribué à l'amélioration du système d'étalonnage qui a été utilisé au cours de la comparaison [4], [5].

BIBLIOGRAPHIE

1. LAVERICK (E.), The calibration of microwave attenuators by an absolute method, *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. *MTT-4*, Oct. 1957, pp. 250-254.
2. SOMLO (P.I.), A voltage doubling circuit for the absolute calibration of 30 MHz attenuation measurement systems, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. *IM-27*, March 1978, pp. 76-79.
3. CLARK (R.F.), Absolute calibration of microwave attenuation systems, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. *IM-25*, June 1976, pp. 126-128.
4. HOLLWAY (D.L.) and SOMLO (P.I.), The reduction of errors in a precise microwave attenuator calibration system, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. *IM-22*, Sept. 1973, pp. 268-270.
5. SOMLO (P.I.), Automated measurement of noisy voltages with a preset confidence level, *Electron Lett.*, Vol. 13, April 1977, pp. 234-235.
6. SOMLO, (P.I.), Precision impedance measurement and Smith chart display with easily fabricated directional couplers from 1MHz upwards, *Proc. Inst. Radio Eng'rs (Aust.)*, Vol. 35, November 1974, pp. 341-345.

A p p e n d i c e

Renseignements accompagnant les étalons voyageurs

Description des affaiblisseurs étalons de transfert

Chaque affaiblisseur de 3 dB, 6 dB, 10 dB et 20 dB comporte 3 réseaux d'affaiblissement en T associés.

Les réseaux d'entrée et de sortie sont tous de 10 dB et sont placés pour assurer une certaine isolation de la source et du récepteur.

Le réseau central est mis en ou hors circuit au moyen de deux relais à un circuit, deux positions. Ces relais sont commandés électriquement et comportent des contacts mouillés au mercure dans une ampoule scellée.

L'affaiblisseur de 40 dB est semblable mais il comprend deux réseaux en T de 20 dB dans sa section centrale.

Les résistances utilisées sont du type oxyde métallique à grande stabilité et faible coefficient de température. Elles sont montées dans des cavités usinées dans un bloc d'aluminium qui, en même temps que les doubles couvercles, protègent les résistances contre toute fuite interne ou externe.

Les participants sont invités à mesurer les affaiblisseurs à une fréquence acoustique s'ils le désirent, bien que ces mesures ne soient pas prévues dans la comparaison.

Cependant les affaiblisseurs ont été réglés pour être adaptés à 50 ohms* ($|\Gamma| < 0,005$) à 30 MHz et présentent de légères désadaptations aux fréquences acoustiques. En conséquence l'appareillage de mesure audiofréquence devra être soigneusement adapté à 50 ohms pour obtenir des résultats précis.

L'échelon d'affaiblissement est légèrement sensible à la tension d'alimentation de la bobine. Il est donc recommandé d'utiliser la boîte de contrôle, qui comporte un stabilisateur de tension, pour faire fonctionner les relais, et de placer les affaiblisseurs hors de champs magnétiques intenses pendant les mesures.

* L'appareillage à visualisation sur abaque de Smith dilaté est décrit dans la référence [6].

**Rapport sur une comparaison internationale
de mesures de la puissance d'un laser, sur un laser à He-Ne,
à la longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$**

par R. ISHIGE

Electrotechnical Laboratory (Japon)

(Traduction du Document GT-RF/78-12)

C'est en octobre 1972, lors de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE qui s'est tenue au Bureau International des Poids et Mesures, que l'on a décidé de procéder à une comparaison de mesures de puissance d'un laser sur un laser He-Ne à la longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$.

Les laboratoires participants étaient les suivants :

Electrotechnical Laboratory, Japon

National Bureau of Standards, États-Unis d'Amérique

National Physical Laboratory, Royaume-Uni

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Rép. Féd d'Allemagne.

A l'époque l'ETL a été désigné comme laboratoire pilote pour cette comparaison internationale.

En décembre 1973, le laboratoire pilote a envoyé aux laboratoires participants des instructions en vue de l'organisation de la comparaison internationale en leur demandant leurs suggestions et leurs commentaires.

Ensuite on a fixé le mode opératoire, en particulier l'ordre de circulation indiqué sur la fig. 1 et la méthode de comparaison dite "en étoile".

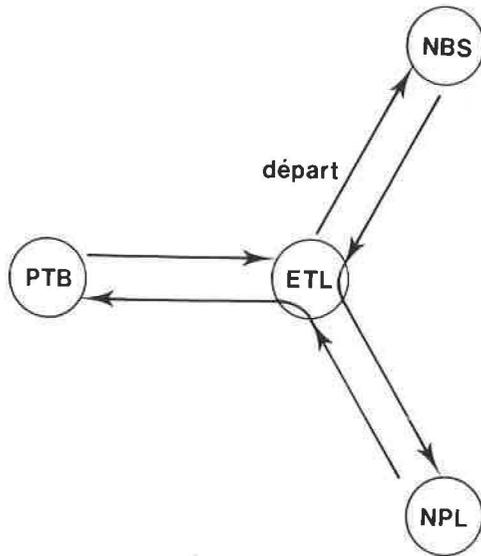


Fig. 1.- Schéma de circulation des étalons de transfert

Les quatre étalons de transfert utilisés au cours de cette comparaison ont été fournis par le laboratoire pilote. Il s'agissait respectivement des étalons de transfert ETL 0.633-2B, ETL 0.633-3B, ETL 0.633-4B et ETL 0.633-1G. La figure 2(a) donne le schéma de l'étalon de transfert qui contient la thermopile. La figure 2(b) montre le schéma de la thermopile, qui est la partie essentielle de l'étalon de transfert. La thermopile elle-même est obtenue par évaporation de bismuth (Bi) et d'antimoine (Sb) sur un mince substrat en mica. Un disque absorbant en laiton recouvert de noir d'or est fixé au centre de la thermopile. Dans ce disque est encastré un chauffage électrique alimenté en courant continu pour l'étalonnage. La thermopile elle-même est logée dans la monture dont les parois internes sont également noircies.

Le cycle de mesures de cette comparaison qui a débuté en octobre 1974 s'est achevé en mai 1976. Le tableau I contient les dates d'arrivée et de départ des étalons pour chaque laboratoire participant et l'état des étalons. L'un des

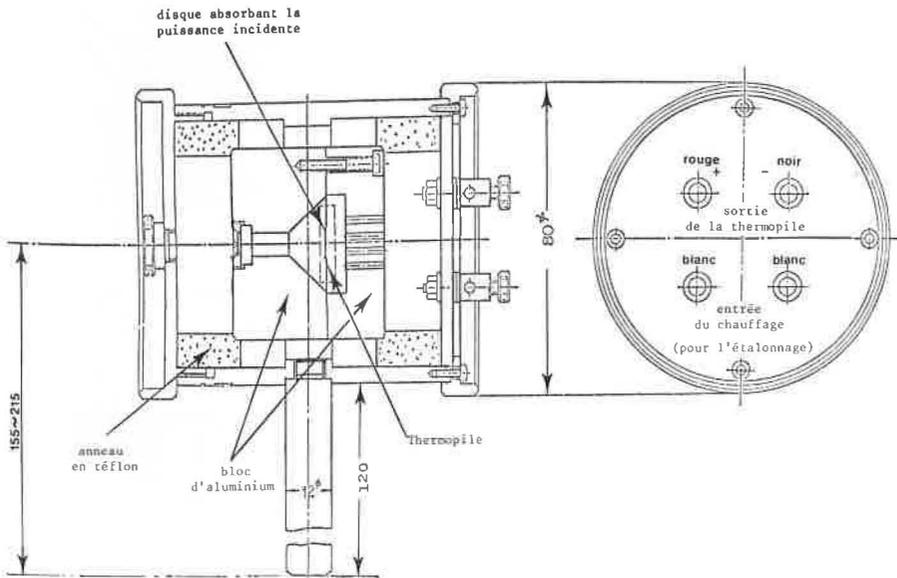


Fig. 2(a).- Monture étalon de transfert

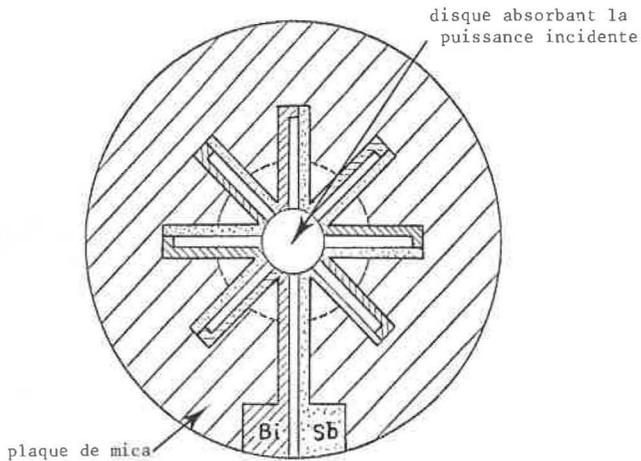


Fig. 2(b).- Thermopile

TABLEAU I

Calendrier des mesures

Étalon de transfert	Date		ETL(I)	NBS	ETL(II)	NPL	ETL(III)	PTB	ETL(IV)
	Arrivée	Départ	Nov. 1974	Déc. 1974	Jan. 1975	Avr. 1975	Nov. 1975	Fév. 1976	Avr. 1976
ETL 0.633-2B			0	0	0	0	0	0	0
ETL 0.633-3B			0	0	X	-	-	-	-
ETL 0.633-4B			0	0	0	0	0	0	0
ETL 0.633-1G			0	0	0	0	0	0	0

0 : en bon état

X : endommagé

étalons de transfert a été endommagé pendant le cycle de mesures. Un rond indique que l'étalon de transfert était en état de fonctionner et a été mesuré dans le laboratoire concerné. Une croix indique que l'on a trouvé l'étalon de transfert endommagé à son arrivée au laboratoire pilote. Les étalons de transfert présentent un alignement imparfait qui donne une erreur maximale de $\pm 0,25 \%$; leur coefficient de température est de $- 0,05 \%$ par degré à $23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. L'erreur due à la non-linéarité de la relation entre la tension de sortie de la thermopile et la puissance d'entrée était de $\pm 0,1 \%$ pour les mesures de 1 à 20 milliwatts.

Les mesures comparatives à $\lambda = 633 \text{ nm}$ devait être faites à une puissance laser de 3 milliwatts.

La PTB et l'ETL ont également fait des mesures à 1 mW et 10 mW. Ces mesures ont donné des résultats aussi concordants que celles faites à 3 mW.

Le NBS a utilisé deux lasers au cours de cet étalonnage, un laser à krypton à $\lambda = 647 \text{ nm}$ et un laser à He-Ne à $\lambda = 633 \text{ nm}$. L'étalonnage primaire a été fait avec le laser à krypton. On n'a pas décelé d'écarts significatifs en fonction de la longueur d'onde entre $\lambda = 647 \text{ nm}$ et $\lambda = 633 \text{ nm}$.

Les résultats des mesures pour chaque laboratoire sont donnés dans le tableau II ; les laboratoires participants figurent dans l'ordre chronologique de leur participation. Les valeurs indiquées sont les coefficients d'étalonnage K des étalons de transfert exprimés en milliwatts par millivolt.

Pendant les mesures de comparaison, la température était de 20 à 24 $^\circ\text{C}$ et l'humidité relative de 20 à 70 %.

Le laboratoire pilote a procédé à quatre séries de mesures conformément au schéma de comparaison dit "en étoile". Dans l'ensemble les résultats de ces quatre mesures ont été identiques. Il semble que l'instabilité des étalons de transfert n'a pas affecté les mesures de façon significative.

Dans le calcul de la moyenne qui suit, ces quatre déterminations sont considérées comme une seule mesure.

TABLEAU II

Résultats des mesures

Étalon de transfert	Coefficient d'étalonnage K (mV/mV)										moyenne \bar{K} (2)
	ETL(I)	NBS	ETL(II)	NPL	ETL(III)	PTB	ETL(IV)	ETL moy. (1)			
ETL 0.633-2B	2,793	2,758 3	2,785	2,790	2,777	2,797	2,787	2,786			2,783
ETL 0.633-3B	2,755	2,716 7	-	-	-	-	-	-			-
ETL 0.633-4B	2,821	2,807 30	2,811	2,796	2,803	2,816	2,808	2,811			2,808
ETL 0.633-1G	3,047	3,022 1	3,054	3,053	3,058	3,058	3,056	3,054			3,047

$$(1) \text{ ETL moy.} = [\text{ETL(I)} + \text{ETL(II)} + \text{ETL(III)} + \text{ETL(IV)}] / 4$$

$$(2) \text{ moyenne } \bar{K} = [\text{ETL (moy.)} + \text{NBS} + \text{NPL} + \text{PTB}] / 4$$

La moyenne \bar{K} des résultats des mesures obtenus par le NBS, le NPL, la PTB et l'ETL (moyenne) est donnée dans la dernière colonne. On peut considérer que ces moyennes représentent la meilleure estimation du coefficient d'étalonnage de chaque étalon de transfert. Il convient de noter que les résultats des mesures des quatre laboratoires participants concordent à $\pm 0,6 \%$.

Le tableau III donne la valeur de K normalisée en utilisant la valeur moyenne \bar{K} . Dans ce tableau, la moyenne des écarts δ et l'écart-type σ de K/\bar{K} sont définis comme suit :

$$\delta = \Sigma (K/\bar{K} - 1)/N$$

$$\sigma = \left[\Sigma (K/\bar{K} - 1)^2 / (N - 1) \right]^{1/2}$$

où N, nombre des étalons de transfert, égale 3.

TABLEAU III

*Résultats finaux de la comparaison
(déduits du tableau II)*

Étalon de transfert	Coefficient d'étalonnage normalisé K/\bar{K}			
	ETL moy.	NBS	NPL	PTB
ETL 0.633-2B	1,000 9	0,991 1	1,002 5	1,005 0
ETL 0.633-3B				
ETL 0.633-4B	1,001 0	0,999 8	0,995 7	1,002 8
ETL 0.633-1G	1,002 2	0,991 8	1,002 0	1,003 6
$\delta^{(1)}$	+ 0,001 4	- 0,005 7	+ 0,000 1	+ 0,003 8
$\sigma^{(2)}$	0,001 8	0,008 6	0,003 8	0,004 8

(1) δ : écart moyen = $\Sigma (K/\bar{K} - 1)/N$

(2) σ : écart-type = $\left[\Sigma (K/\bar{K} - 1)^2 / (N - 1) \right]^{1/2}$

N = 3 = nombre des étalons de transfert

L'auteur remercie le Comité Consultatif d'Électricité qui recommanda l'organisation de cette comparaison internationale et tous les participants qui, par leur coopération, ont permis d'en assurer le succès.

**Comparaison internationale de puissance de bruit
à basse température (77 K) et à 4,1 GHz**

par M. W. SINCLAIR

Royal Signals and Radar Establishment (Royaume-Uni)

(Traduction du rapport reçu en septembre 1979)

INTRODUCTION

L'organisation de cette comparaison a été décidée par la Groupe de travail pour les Grandeurs aux Radiofréquences, dans sa réunion des 10 et 11 octobre 1972. Les laboratoires qui y ont participé sont :

le laboratoire pilote : RSRE (Royal Signals and Radar Establishment), Royaume-Uni

et l'ETL (Electrotechnical Laboratory), Japon.

Ce rapport donne les résultats des mesures effectuées entre juillet 1975 et février 1978.

Le paramètre ϕ effectivement mesuré est lié à la densité spectrale de la puissance du bruit disponible à la sortie des étalons de transfert par la relation :

Densité spectrale de la puissance de bruit disponible = $k\phi =$

$$kT \left[\frac{hf}{kT} \left(e^{\frac{hf}{kT}} - 1 \right)^{-1} \right] \text{ watts/hertz}$$

avec k : constante de Boltzmann ; h : constante de Planck ;
 f : fréquence ; T : température absolue du générateur de
bruit thermique équivalent.

Tous les résultats donnent la valeur de ϕ en kelvins. Pour 4,1 GHz et à 77 K, la différence entre ϕ et T est 0,10 K.

ÉTALONS DE TRANSFERT

Chacun des laboratoires a fourni un étalon de transfert constitué par une source de bruit thermique refroidie dans de l'azote liquide. Les photographies des guides d'ondes des deux étalons de transfert sont reproduites sur les figures 1 et 2 et leurs coupes schématiques représentées sur les figures 3 et 4. Il s'agit de guide d'ondes R40. Comme les trous des brides ne se correspondaient pas, on a fait des adaptateurs spéciaux possédant d'un côté une disposition UDR40 (s'adaptant sur les brides de l'étalon du RSRE) et de l'autre une disposition BRJ-4 (s'adaptant sur les brides de l'étalon de l'ETL). Le RSRE a fabriqué deux de ces adaptateurs pour équiper en permanence la sortie de chaque étalon.

Les étalons de transfert étaient construits de telle façon que l'azote liquide pénètre dans le guide d'ondes et recouvre complètement l'élément source de rayonnement. Une fenêtre inclinée placée au-dessus de cet élément réduisait les réflexions sur la surface du liquide. Une fenêtre supplémentaire fermait le guide d'ondes à son extrémité supérieure, à la sortie de l'ensemble. Pour éviter la formation de glace dans le guide d'ondes, la partie supérieure (entre les deux fenêtres) de l'étalon de transfert du RSRE (RSRE-11A/2 Mk.1) était mise sous vide et celle de l'étalon de transfert de l'ETL (ETL-4-1LN) remplie d'azote gazeux. Ce gaz, produit par l'ébullition de l'azote liquide contenu dans le Dewar entourant l'étalon, pénétrait dans le guide par des trous ménagés à sa partie supérieure. Chacun des étalons de transfert était équipé d'un dispositif de chauffage extérieur, placé au voisinage de l'extrémité du guide d'ondes ; ce dispositif, contrôlé électroniquement, servait à maintenir une température constamment supérieure à la température ambiante afin d'éviter des condensations dans l'assemblage de sortie du guide d'ondes. L'étalon ETL-4-1LN était placé dans un vase Dewar en verre entouré d'une enveloppe métallique. L'étalon RSRE-11A/2 Mk.1 était placé dans un vase Dewar en acier-inoxydable. Chaque laboratoire a fourni des instructions détaillées sur la méthode de fonctionnement de son étalon de transfert.

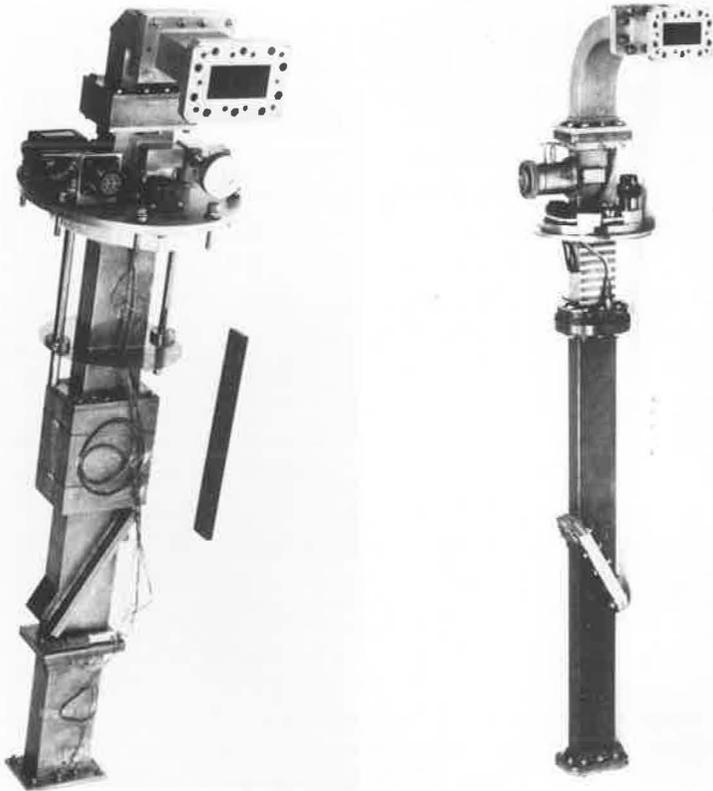


Fig. 1 et 2.- Guides d'ondes (ensemble) des étalons de transfert :

à gauche ; étalon ETL-4-1LN

à droite ; étalon RSRE-11A/2 Mk.1

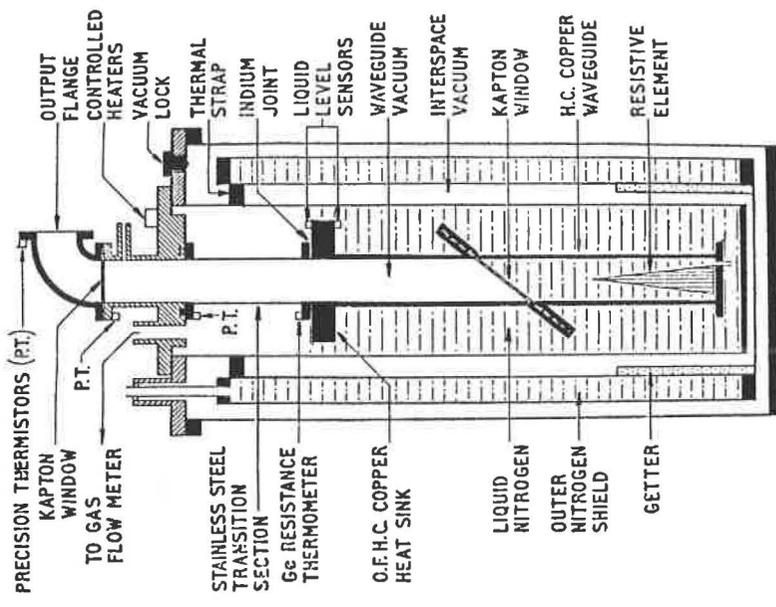


Fig. 4.- Coupe schématique de l'étalon RSRE-11A/2 Mk.1

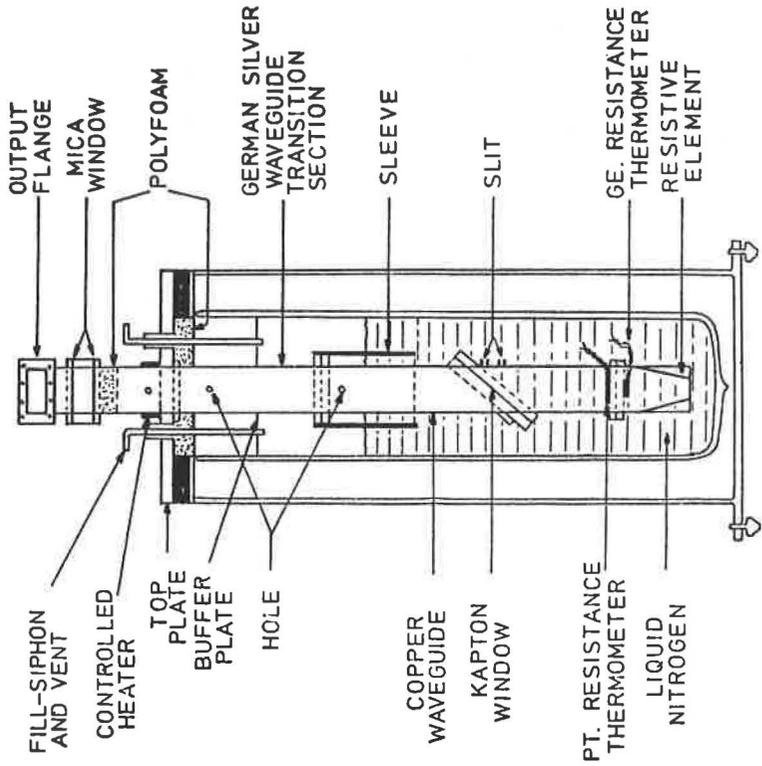


Fig. 3.- Coupe schématique de l'étalon ETL-4-1LN.

Dans les deux étalons le liquide cryogénique est soumis aux fluctuations de la pression atmosphérique si bien que sa température varie ; la valeur de ϕ est par conséquent une fonction de la pression atmosphérique. Pour rendre comparables les résultats des mesures effectuées sous des pressions différentes dans les différents laboratoires, les participants ont donc décidé de les "normaliser", c'est-à-dire de les calculer pour une valeur déterminée de la pression atmosphérique. La valeur choisie a été 1000 mbar, pression voisine de la moyenne des valeurs de la pression atmosphérique à l'ETL et au RSRE. Les résultats "normalisés" ont été calculés en utilisant l'expression ci-dessous, déduite de la relation entre la température et la pression de l'azote liquide donnée dans la dernière version de l'EIPT-68 (*Metrologia*, 12, 1976, pp. 7-17).

$$\phi_{1000} = \phi_p - 0,008\ 46 (p-1000) + 0,000\ 006\ 6 (p-1000)^2 \quad (\text{en K})$$

avec ϕ_{1000} : température de bruit à 1000 mbar (en K)

p : pression atmosphérique (en mbar)

ϕ_p : température de bruit à la pression atmosphérique p
(en K)

ÉCHANGE DES ÉTALONS DE TRANSFERT

Les deux étalons de transfert étaient volumineux et lourds et leur transport était difficile. L'étalon RSRE-11A/2 Mk.1 avec son emballage pesait 404 kg. De plus les méthodes de fonctionnement étaient relativement compliquées. On a donc décidé que chaque laboratoire mesurerait son propre étalon de transfert et l'enverrait à l'autre laboratoire pour qu'il le mesure à son tour. Cette première partie de la comparaison terminée, les laboratoires échangeraient les résultats de leurs deux mesures. Si l'on constatait des différences importantes entre les résultats, ces différences pourraient traduire des erreurs dans la manière d'utiliser les étalons. On pourrait alors corriger ces erreurs et remesurer les étalons avant de les renvoyer à leur laboratoire d'origine. Celui-ci remesurerait à son tour son étalon dès son retour.

En fait cette méthode n'a pas pu être appliquée car les deux étalons ont présenté des défauts après avoir été échangés. En particulier une fuite s'est produite dans la partie supérieure du guide d'ondes de l'étalon RSRE-11A/2 Mk.1

pendant qu'il était à l'ETL. Pour le mesurer à l'ETL on dut, à cause de cela, remplir la partie supérieure du guide d'ondes avec de l'hélium gazeux à la pression d'une atmosphère. A son retour en Angleterre, on a constaté que la fuite était localisée dans la région de la fenêtre inclinée du bas. On a observé, en outre, que lorsque la pression de l'hélium n'était que d'une atmosphère, le coefficient de réflexion variait de façon notable sur des périodes de temps relativement courtes. Nous avons pensé que cet effet était dû à la déformation des fenêtres du guide d'ondes causée par des variations de pression consécutives à des fuites d'azote à travers la fenêtre du bas. Pour obtenir des conditions stables nous avons dû augmenter la pression de l'hélium gazeux de 3,5 kPa dans la partie supérieure du guide d'ondes, ce qui fit disparaître complètement les variations du coefficient de réflexion. Le RSRE a donc refait ses mesures dans ces conditions. On a aussi constaté qu'en maintenant sous vide la partie supérieure du guide d'ondes de l'étalon RSRE-11A/2 Mk.1 par un pompage permanent, on pouvait retrouver, à très peu près, les conditions de fonctionnement initiales. Une série supplémentaire de résultats a été obtenue en maintenant sous vide la partie haute du guide d'ondes de cette façon.

Durant le séjour de l'étalon ETL-4-1LN au RSRE, on a noté un changement de son coefficient de réflexion, changement qui fut confirmé par l'ETL après le retour de l'étalon au Japon. Le RSRE a remesuré l'étalon ETL-4-1LN lorsqu'il eut constaté ce changement.

PROCÉDÉ DE MESURE

Dans les deux laboratoires les étalons de transfert furent mesurés en employant des méthodes radiométriques. Dans chacun d'eux ils furent directement comparés à des étalons primaires constitués par des sources de bruit thermique refroidies dans de l'azote liquide. Les figures 5 et 6 représentent les schémas synoptiques des deux systèmes de radiomètre. On a choisi une fréquence de mesure de 4,1 GHz parce qu'elle correspondait à une région de faible bruit des amplificateurs utilisés dans les deux systèmes radiométriques. Les radiomètres ont été considérablement automatisés et les mesures furent effectuées à l'ETL en utilisant une calculatrice de bureau

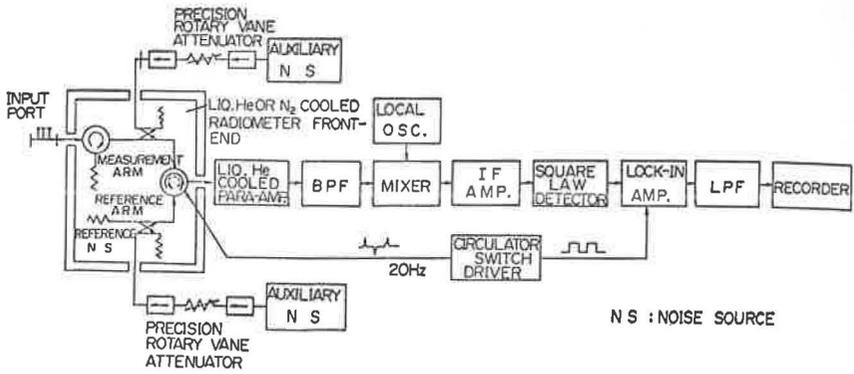


Fig. 5.- Schéma synoptique du radiomètre utilisé à l'ETL.

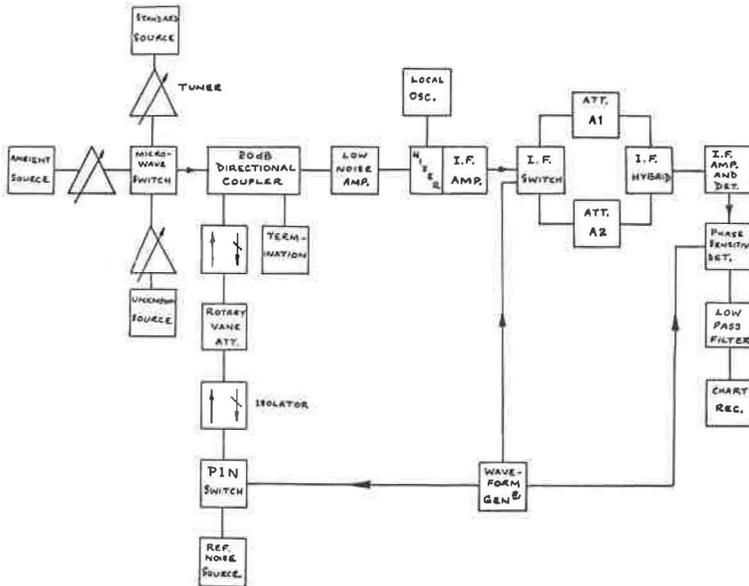


Fig. 6.- Schéma synoptique du radiomètre utilisé au RSRE.

comme élément de contrôle. Le système du RSRE était connecté à un mini ordinateur dans un but de contrôle.

RÉSULTATS DES MESURES

Le tableau I contient les résultats finaux des mesures. Les tableaux II et III contiennent respectivement les résultats des diverses séries de mesures concernant l'étalon ETL-4-1LN et l'étalon RSRE-11A/2 Mk.1. Ces résultats sont aussi donnés sous forme graphique dans les figures 7 et 8.

Les valeurs données pour les incertitudes accidentelles et systématiques correspondent à un écart-type, en admettant une distribution normale. On en a fait la somme quadratique pour calculer les incertitudes totales.

Les valeurs moyennes de RSRE-11A/2 Mk.1 et de ETL-4-1LN obtenues au RSRE en 1975 et en 1977 font apparaître des changements significatifs, bien qu'inférieurs à l'incertitude totale des mesures. Nous pensons qu'il s'agit d'un écart systématique dû aux améliorations des réglages du système de mesure du bruit effectuées entre les deux dates.

En 1977, au RSRE, on faisait le même jour plusieurs mesures de l'étalon RSRE-11A/2 Mk.1, la partie supérieure de son guide d'ondes étant alternativement vide et remplie d'hélium gazeux. Après chaque changement on attendait plusieurs heures que l'équilibre soit atteint avant de faire la mesure suivante. Les résultats ont toujours montré que lorsque le guide d'onde était rempli d'hélium la température de bruit était plus élevée d'approximativement 0,1 K que lorsque le guide d'ondes était vide (tableau III).

L'écart-type des résultats des mesures de l'étalon RSRE-11A/2 Mk.1 effectuées à l'ETL est plus important (tableau III). L'ETL pense que cela est dû à la défectuosité d'une connexion entre l'étalon et son radiomètre. Cependant les variations du coefficient de réflexion constatées au RSRE lorsque la pression de l'hélium dans la partie supérieure du guide d'onde n'était que d'une atmosphère, pourraient aussi avoir contribué à augmenter la dispersion des résultats.

L'étalon primaire du RSRE a eu des avaries au cours de la dernière partie des comparaisons. Il fut donc nécessaire d'utiliser une autre source, semblable, préalablement étalonnée

TABLEAU I

Etalon de transfert	Valeur moyenne finale (en K)		Différence (RSRE-ETL) (en K)	Incertitude totale (en K)
	ETL	RSRE		
ETL-4-1LN	77,83	78,21	0,38	0,42
RSRE-11A/2 MK.1 *	79,17	79,55	0,38	0,59

* Ces valeurs ne tiennent compte que des résultats obtenus avec la partie supérieure du guide d'ondes de l'étalon 11A/2 MK.1 remplie d'hélium gazeux.

TABLEAU II

Etalon de transfert	ETL-4-1LN				
	ETL	RSRE	RSRE	RSRE	ETL
Laboratoire de mesure	ETL	RSRE	RSRE	RSRE	ETL
Date de mesure	jan.-fév. 1975	août 1975	mai-juin 1977	juillet 1977	déc. 1977- jan. 1978
Valeur moyenne de la température de bruit à 1000 mbar (en K)	77,83	78,14	78,26	78,25	77,82
Ecart-type S1 (en K)	0,08	0,08	0,09	0,10	0,04
Incertitude systématique estimée S2 (en K)	0,18	0,32	0,32	0,45	0,18
Incertitude totale (en K) $(S_1^2 + S_2^2)^{1/2}$	0,20	0,33	0,33	0,46	0,18
Fréquence de mesure (en GHz)	4,100	4,100	4,100	4,100	4,100
Taux d'ondes stationnaires	1,06	1,05	1,04	1,04	1,04

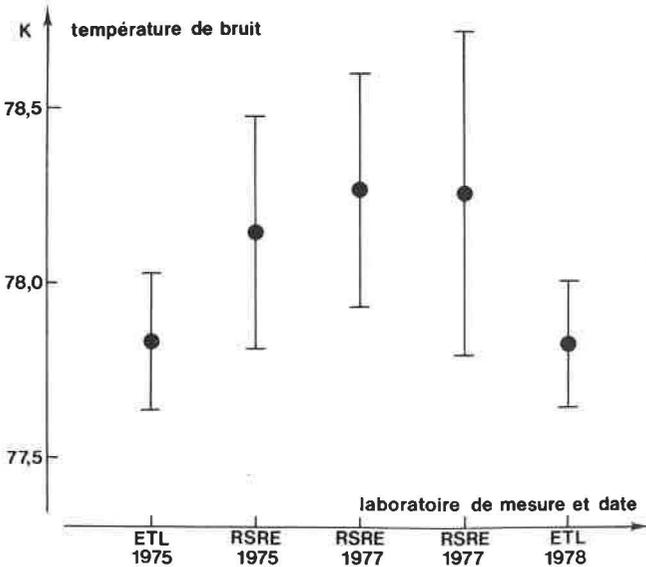


Fig. 7.- Résultats relatifs à l'étalon de transfert ETL-4-1LN ;
valeur moyenne à 1000 mbar ; les barres verticales
représentent la somme quadratique des incertitudes
systématique et aléatoire.

TABLEAU III

Etalon de transfert	RSRE-11A/2 MK.1				
	RSRE [∇]	ETL *	RSRE [∇]	RSRE *	RSRE*
Laboratoire de mesure					
Date de mesure	juil.-août 1975	décembre 1976	avril-mai 1977	avril-mai 1977	déc. 1977- jan. 1978
Valeur moyenne de la température de bruit à 1000 mbar (en K)	79,63	79,17	79,43	79,52	79,57
Ecart-type S1 (en K)	0,09	0,39	0,06	0,12	0,08
Incertitude systématique estimée S2 (en K)	0,33	0,18	0,33	0,33	0,46
Incertitude totale (en K) $(S_1^2 + S_2^2)^{1/2}$	0,34	0,43	0,34	0,35	0,47
Fréquence de mesure (en GHz)	4,100	4,100	4,100	4,100	4,100
Taux d'ondes stationnaires	1,05	1,08	1,05	1,02	1,02

Partie supérieure du guide d'ondes $\left\{ \begin{array}{l} \nabla \text{ vide} \\ * \text{ remplie d'hélium gazeux} \end{array} \right.$

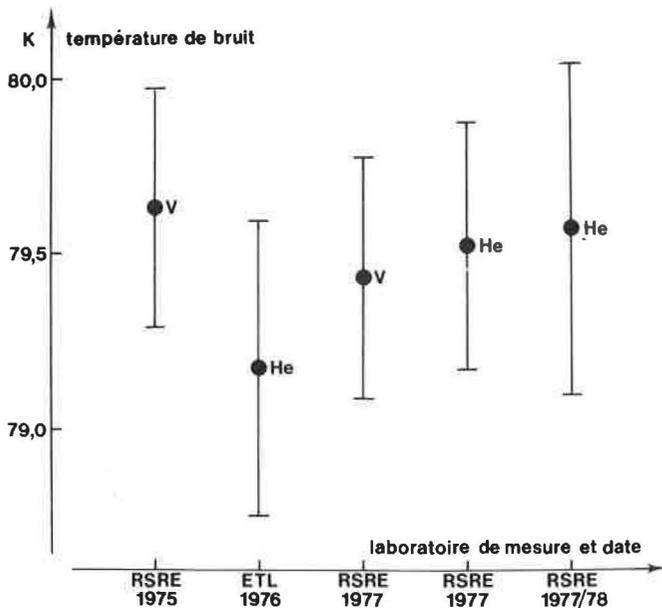


Fig. 8.- Résultats relatifs à l'étalon de transfert RSRE-11A/2 Mk.1 ;
valeur moyenne à 1000 mbar ; les barres verticales repré-
sentent la somme des incertitudes systématique et aléatoire,
V partie supérieure du guide d'ondes vide,
He partie supérieure du guide d'ondes remplie d'hélium.

en fonction de l'étalon primaire. Pour les deux étalons de transfert, la dernière série de résultats du RSRE a été obtenue en utilisant cette source de remplacement. La valeur de l'incertitude systématique (tableaux II et III) est plus élevée car elle tient compte de l'incertitude d'étalonnage de la seconde source.

A cause des difficultés éprouvées avec l'étalon RSRE-11A/2 Mk.1, les seuls résultats des deux laboratoires directement comparables sont ceux obtenus avec la partie supérieure du guide d'ondes remplie d'hélium gazeux. Les résultats obtenus avec le guide d'ondes vide ont été inclus par désir d'être complet. Les résultats reproduits dans le tableau I montrent clairement que les mesures des deux étalons de transfert ont été entièrement cohérentes. Pour chaque étalon les différences entre les résultats des deux laboratoires se situent à l'intérieur des limites permises par la combinaison des incertitudes. Cependant, il existe un écart systématique entre les résultats de l'ETL et du RSRE. En raison de la similitude des différences, cet écart résulte probablement soit d'une différence entre les étalons primaires de bruit, soit d'une différence entre les systèmes de mesure, soit d'une combinaison des deux. Les résultats de la comparaison montrent que l'écart systématique ne dépasse pas 0,38 K.

(Septembre 1979)

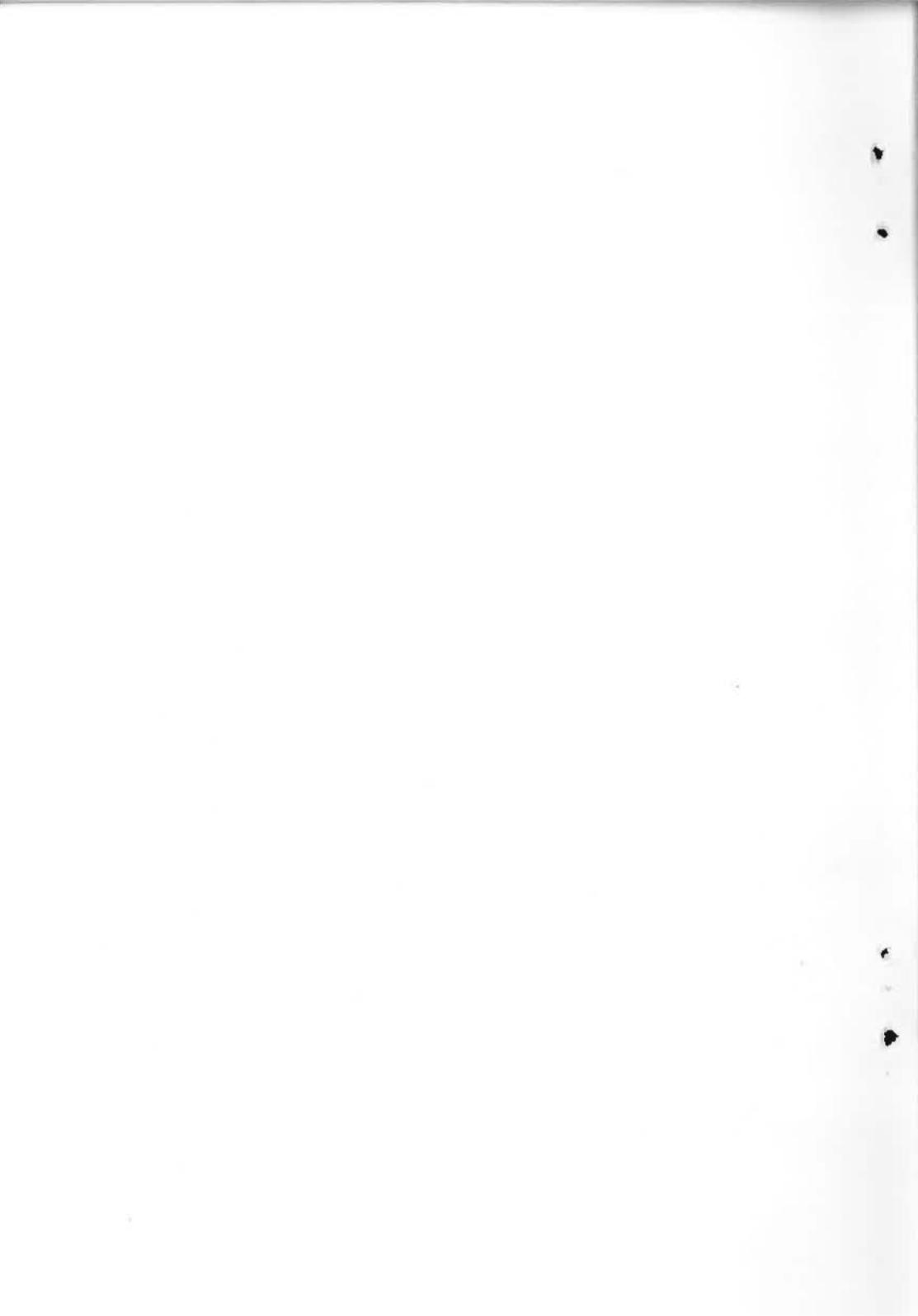


TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ 15^e Session (1978)

	Page
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre	v
Liste des membres	vii
Ordre du jour	viii
Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par A. F. Dunn	E 1
Réalisations des unités électriques SI (Progrès obtenus par les laboratoires ; propositions pour améliorer l'exactitude des constantes physiques fondamentales. Adoption de la Recommandation E 1)	2
Exactitude et précision des représentations de l'ohm et du volt conservées par les grands laboratoires nationaux (Estimation des incertitudes de mesure. Adoption de la Recommandation E 2 relative à l'expression des incertitudes dans les comparaisons internationales)	3
Exactitude des représentations de l'ohm et du volt conservées par le BIPM (Examen de documents présentés par le NPL et le BIPM)	3
Comparaisons internationales des représentations de l'ohm et du volt ; améliorations des étalons de transfert (Pas de rétablissement des grandes comparaisons périodiques, initiative laissée au BIPM pour l'organisation de comparaisons restreintes)	4
Comparaison internationale des étalons de capacité de 10 pF (Organisation d'une 3 ^e comparaison dont le NBS accepte d'être le laboratoire pilote)	4
Étalons de transfert courant continu — courant alternatif (Première comparaison terminée, accord à environ 1×10^{-5} ; organisation d'une 2 ^e comparaison dont le VSL sera le laboratoire pilote)	4
Projet de comparaisons internationales d'instruments de mesure des puissances à basse fréquence (50 ou 60 Hz) et d'étalons d'inductance (inductance propre de 10 mH, à la fréquence de 1 592 Hz). La PTB propose d'être le laboratoire pilote de ces comparaisons	5
Relations avec l'OIML et d'autres organisations (Recouvrement possible des activités du BIPM et des Comités Consultatifs et des activités de l'OIML. Adoption de la Recommandation E 3)	5
Information sur l'état d'avancement des travaux du Groupe de travail du CIPM sur l'expression des incertitudes (La première enquête montre l'importance du problème ; une seconde enquête va être entreprise)	5
Présentation du Rapport du « Groupe de travail pour les Grandeurs aux Radiofréquences » et approbation de son programme de comparaisons	5
Programme de travail du BIPM (Adjonction de nouveaux points : mesure de condensateurs de 10 pF, mesure des étalons de transfert courant continu — courant alternatif, acquisition d'un condensateur calculable, puis réalisation de l'unité SI de résistance ; importance des comparaisons internationales)	6
Questions diverses (Problème du franchissement des frontières par les étalons voyageurs)	6

Recommandations présentées au Comité International des Poids et Mesures :

<i>Recommandation E 1</i> (1978) (Réalisation des unités électriques SI)	7
<i>Recommandation E 2</i> (1978) (Expression des incertitudes dans les comparaisons internationales)	8
<i>Recommandation E 3</i> (1978) (Uniformité des étalons primaires nationaux : liaison avec l'OIML)	8
Rapport du « Groupe de travail pour les Grandeurs aux Radiofréquences » (Comparaisons terminées, en cours, à entreprendre ou projetées ; publication des résultats ; organisation des comparaisons)	9

Annexes

E 1. Documents de travail présentés à la 15 ^e session du CCE	19
E 2. PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Étude de résistances « cryogéniques » sur une longue période, par V. Kose, F. Melchert et P. Warnecke	26
E 3. NBS (États-Unis d'Amérique). — Rapport sur une comparaison internationale de convertisseurs thermiques utilisés comme étalons de transfert courant continu — courant alternatif, par B. N. Taylor	29
E 4. BIPM. — Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF, par G. Leclerc	37
E 5. LCIE (France). — Résumé des travaux en cours concernant l'utilisation de comparateurs cryogéniques de courants continus, par F. Delahaye	41
E 6. LCIE (France). — Mesure d'une capacité à partir de l'étalon cylindrique à cinq électrodes, par N. Elnékaúv	45
E 7. ETL (Japon). — Proposition concernant un convertisseur thermique de puissance, par T. Yamazaki et M. Tsukada	50
E 8. ETL (Japon). — Travaux récents sur les étalons électriques à l'ETL, par H. Hirayama	52
E 9. BIPM. — Réalisation et conservation de l'ohm et du volt par les grands laboratoires nationaux. Situation au 1 ^{er} janvier 1977, par G. Leclerc	59
E 10. BIPM. — Exactitude de la représentation de l'ohm conservée par le BIPM, par G. Leclerc	63
E 11. NRC (Canada). — Réalisation de l'unité de force électromotrice au moyen de l'effet Josephson, par G. H. Wood et A. F. Dunn	64
E 12. NPL (Royaume-Uni). — L'ohm du SI tel que le réalisent les principaux laboratoires qui possèdent un condensateur calculable	66
E 13. NPL (Royaume-Uni). — Rapport final sur la comparaison internationale de tensions à 1 MHz, par A. E. Fantom	70
E 14. PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Rapport sur une comparaison internationale des affaiblissements aux basses valeurs, à la fréquence 10 GHz, sur guides d'ondes R 100 (WG 16, WR 90), par H. Bayer	77
E 15. NML (Australie). — Rapport final sur la comparaison internationale d'affaiblissement à 30 MHz, par D. L. Hollway	81
E 16. ETL (Japon). — Rapport sur une comparaison internationale de mesures de la puissance d'un laser, sur un laser à He-Ne, à la longueur d'onde $\lambda = 633$ nm, par R. Ishige	95
E 17. RSRE (Royaume-Uni). — Comparaison internationale de puissance de bruit à basse température (77 K) et à 4,1 GHz, par M. W. Sinclair	102

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal, Imprimeur, 1980
ISBN 92-822-2061-3

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 1980-08-04

Imprimé en France