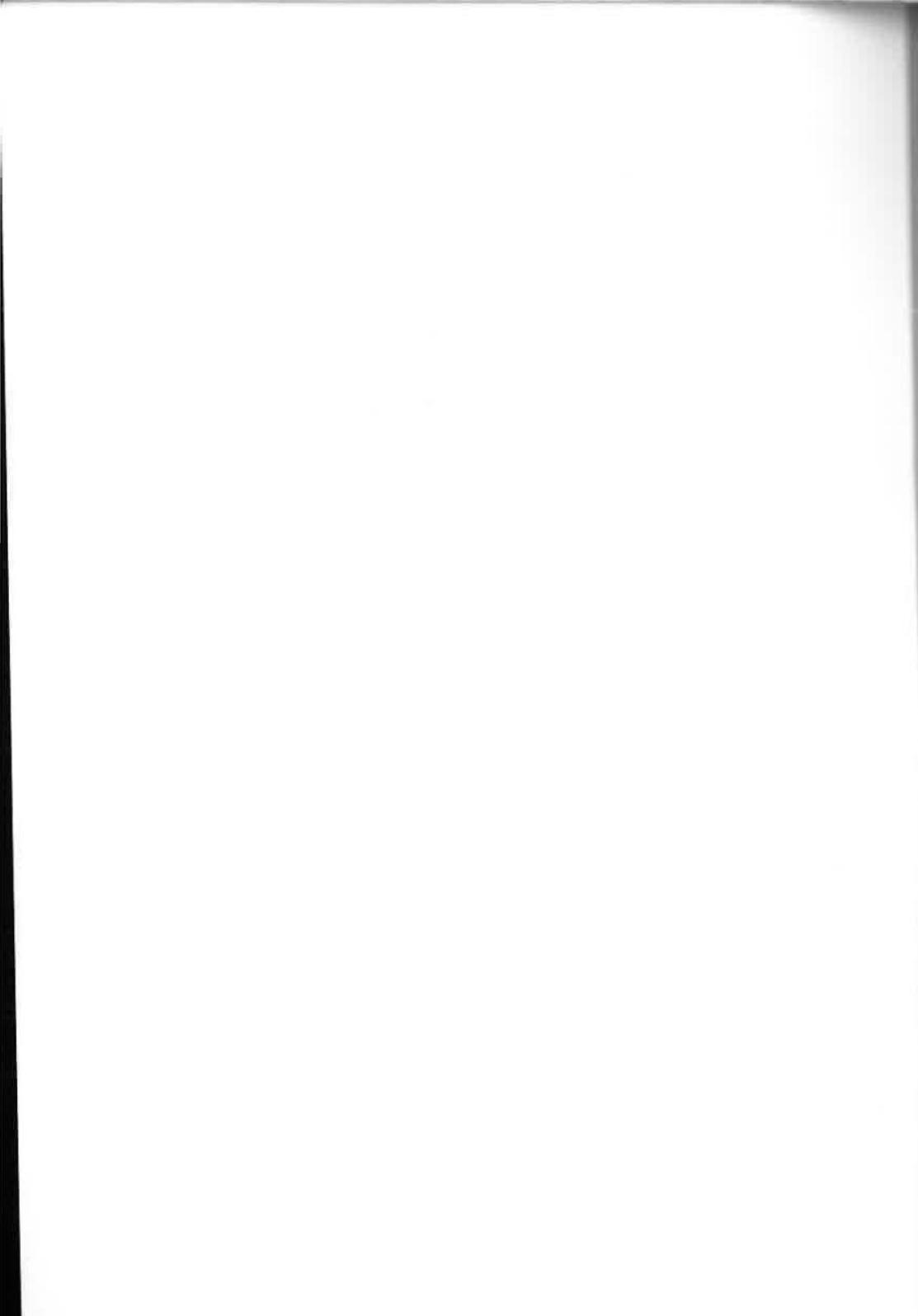


COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

SESSION DE 1975



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

COMITÉ CONSULTATIF
D'ÉLECTRICITÉ

14^e SESSION — 1975
(22-23 mai)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2043-5

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 fondamentales.

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. Le budget annuel du Bureau International est de l'ordre de 4 000 000 de francs-or, soit environ 1 600 000 dollars U.S.

(1) Au 31 décembre 1975, quarante-quatre 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, Corée, Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

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

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

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité* (CCE), créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au *Comité Consultatif de Photométrie* (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie* (CCT), créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (CCDM), créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (CCDS), créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections: Section I (Rayons X et 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

<i>Secrétaire</i>	<i>Vice-Président</i>	<i>Président</i>
J. DE BOER	J. V. DUNWORTH	J. M. OTERO

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Président

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

Membres

AMT FÜR STANDARDISIERUNG, MESSWESEN UND WARENPRÜFUNG
[A.S.M.W.], *Berlin*.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [N.R.C.], *Ottawa*.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS: Laboratoire Central
des Industries Électriques [L.C.I.E.], *Fontenay-aux-Roses* (France).

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

ISTITUTO ELETTROTECNICO NAZIONALE GALILEO FERRARIS [I.E.N.],
Turin.

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

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [N.B.S.], *Washington*.

NATIONAL MEASUREMENT LABORATORY [N.M.L.], *Chippendale*
(Australie).

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [N.P.L.], *Teddington* (Grande-
Bretagne).

NATIONAL PHYSICAL RESEARCH LABORATORY [N.P.R.L.], *Pretoria*.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [P.T.B.], *Braunschweig*.

Le directeur du Bureau International des Poids et Mesures [B.I.P.M.],
Sèvres.

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Résultats des 13^e comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice.
 2. Utilisation d'enceintes thermorégulées de type commercial pour transférer le volt; précautions d'emploi.
 3. Contrôle de la permanence des étalons de référence; mise en œuvre de l'effet Josephson, valeur du rapport e/h ; réajustement du « volt » conservé par le B.I.P.M.
 4. Organisation des prochaines comparaisons internationales.
 5. Comparaison circulaire des étalons de capacité de 10 pF.
 6. Déterminations absolues.
 7. Étalons de transfert courant continu — courant alternatif.
 8. Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.
 9. Questions diverses.
-

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

14^e SESSION (1975)

RAPPORT

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par A. F. DUNN, Rapporteur

Le Comité Consultatif d'Electricité (C.C.E.) s'est réuni pour sa quatorzième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu trois séances les jeudi 22 et vendredi 23 mai 1975.

Étaient présents :

F.J. LEHANY, membre du C.I.P.M., président du C.C.E.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung
[A.S.M.W.], Berlin (W. SCHLESOK).

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa
(A.F. DUNN).

Conservatoire National des Arts et Métiers : Laboratoire Central des Industries Electriques [L.C.I.E.],
Fontenay-aux-Roses (Ph. OLMER, J. BLOUET, N. ELNÉ-KAVÉ).

Electrotechnical Laboratory [E.T.L.], Tokyo (H. HIRAYAMA).

Institut de Métrologie D.I. Mendélèev [I.M.M.],
Leningrad (V. AROUTUNOV, N. STOUUDENTSOV).

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

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington
(C.H. PAGE, B.N. TAYLOR).
National Measurement Laboratory [N.M.L.], Chippendale
(F.J. LEHANY).
National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington
(A.E. BAILEY, G.H. RAYNER).
National Physical Research Laboratory [N.P.R.L.],
Pretoria (R. TURNER).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.],
Braunschweig (H.J. SCHRADER).

Le directeur du B.I.P.M. (J. TERRIEN).

Invité : R. KAARLS (Van Swinden Laboratorium, 's-Gravenhage).
Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-directeur
du B.I.P.M. ; G. LECLERC et T. WITT (B.I.P.M.).

Le Président et le Directeur du B.I.P.M. souhaitent la
bienvenue aux participants, puis l'ordre du jour est adopté.

Mr Dunn est nommé rapporteur, assisté de Mr Leclerc comme
secrétaire.

RÉSULTATS DE LA 13^e COMPARAISON (1973) DES ÉTALONS NATIONAUX DE RÉSISTANCE

Mr *Leclerc* ajoute quelques commentaires à son rapport sur
la 13^e comparaison des étalons nationaux de résistance (Docu-
ment CCE/75-1).

Pour améliorer la précision des comparaisons il faudrait
maintenir les étalons de transfert en permanence à 20 °C afin
de leur éviter les chocs thermiques ; il faudrait aussi les
transporter avec davantage de précaution car les chocs mécani-
ques peuvent modifier leur résistance de quelques 10^{-7} ; il
faudrait enfin réduire le plus possible le délai qui s'écoule
entre les mesures "aller" et les mesures "retour" faites dans
les laboratoires nationaux.

On observe un écart systématique (de l'ordre de 2×10^{-7})
entre les résultats fournis par les comparaisons des résistances
de $10^4 \Omega$ et les résultats fournis par les comparaisons des éta-
lons de 1Ω ; cela semble indiquer que le passage de 1Ω à $10^4 \Omega$
est effectué dans la plupart des laboratoires nationaux à
 1×10^{-7} près, alors qu'au B.I.P.M. il a été entaché d'une
erreur de l'ordre de 2×10^{-7} .

COMPARAISON CIRCULAIRE DES ÉTALONS DE CAPACITÉ DE 10 pF

(Document CCE/75-29)

Conformément au désir exprimé en 1972 par plusieurs laboratoires, la comparaison circulaire des étalons en silice de 10 pF a été poursuivie. La bonne concordance des résultats obtenus prouve que les laboratoires ont pratiquement terminé la mise au point de leur condensateur à variation de capacité calculable et peuvent déterminer le farad en valeur absolue à 1×10^{-7} .

Ces résultats confirment aussi l'excellente qualité des étalons voyageurs qui permettent d'effectuer des comparaisons à quelques 10^{-8} près.

Quelques laboratoires déduisent déjà la valeur absolue de l'ohm de celle du farad déterminé au moyen d'un condensateur calculable. Le C.C.E. décide donc d'organiser différemment les comparaisons internationales des étalons nationaux de résistance et adopte la *Recommandation E 1* (1975).

RÉSULTATS DE LA 13^e COMPARAISON (1973) DES ÉTALONS NATIONAUX DE FORCE ÉLECTROMOTRICE

Mr *Leclerc* commente son rapport sur la 13^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (Document CCE/75-2). L'utilisation d'étalons de transfert conservés dans des enceintes thermorégulées n'a pas apporté toute l'amélioration espérée. Il n'est pas équivalent d'alimenter ces enceintes à l'aide d'accumulateurs ou à l'aide du secteur électrique. L'encombrement des enceintes ne permet pas de les transporter par avion comme bagages à main ; de ce fait elles sont parfois manipulées trop brutalement et les piles sont alors perturbées. Néanmoins, la dispersion des résultats individuels fournis par les piles conservées dans les enceintes est plus faible que celle qui est obtenue avec les piles nues. Les enceintes sont donc préférables comme dispositifs de transfert ; des recherches sont d'ailleurs en cours pour améliorer leurs performances et leur encombrement a déjà été réduit pour permettre de les loger sous les sièges d'avions (Documents CCE/75-5 et 17).

CONTRÔLE DE LA PERMANENCE DES ÉTALONS
DE FORCE ÉLECTROMOTRICE

(Documents CCE/75-4, 6, 10, 14, 23, 27, 31 et 32)

Dix laboratoires ont entrepris la mise en oeuvre de l'effet Josephson en vue de son utilisation pour conserver le volt ; quatre d'entre eux contrôlent déjà la permanence du volt par ce moyen. Une expérience de transfert d'un "dispositif Josephson" entre le B.I.P.M. et la P.T.B. a montré que l'on pouvait reproduire une tension Josephson à 1×10^{-7} près (ou mieux). En conséquence, le C.C.E. a décidé de retarder l'organisation de la 14^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice et adopté la *Recommandation E 2* (1975).

DETERMINATIONS ABSOLUES

Le C.C.E. a pris connaissance des nombreux documents relatifs aux déterminations absolues en cours dans les laboratoires nationaux (Documents CCE/75-4, 8, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 24, 25, 26 et 33).

A la suite de la présentation du Document CCE/75-16 par Mr *Aroutunov* et sur sa proposition, le C.C.E. a adopté après discussion la *Recommandation E 3* (1975).

COMPARAISON INTERNATIONALE D'INSTRUMENTS DE PASSAGE
COURANT CONTINU - COURANT ALTERNATIF

La comparaison des instruments de passage courant continu-courant alternatif, en cours entre le N.B.S., l'I.M.M., l'E.T.L. et le N.P.L. sera bientôt terminée. Les résultats déjà obtenus sont satisfaisants (Documents CCE/75-15 et 22).

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL
POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES

Mr *Blouet* présente le rapport de ce Groupe de travail qui s'est réuni les 19 et 20 mai 1975 sous la présidence de Mr *Lehany* (p. E 8).

Le C.C.E. approuve le programme de comparaisons présenté par ce Groupe et le remercie pour le travail qu'il a effectué.

Le C.C.E. a examiné la question posée par le Groupe de travail concernant l'organisation de comparaisons dans le domaine des ultrasons. Après discussion détaillée la déclaration suivante a été adoptée :

Le C.C.E. reconnaît la nécessité d'une coordination des mesures dans le domaine des ultrasons, et juge utile que le N.B.S. organise des comparaisons entre les laboratoires intéressés.

Cependant, il s'estime insuffisamment informé pour prendre une décision au cours de la présente session. Pour pouvoir le faire en toute connaissance de cause lors de sa prochaine session, il demande au N.B.S. d'informer régulièrement les membres du C.C.E. de la progression des mesures et de l'intérêt qu'elles suscitent.

QUESTIONS DIVERSES

Piles étalons. - Mr *Schrader* demande l'opinion des autres laboratoires sur la formule de variation de la force électromotrice des piles étalons en fonction de la température déterminée à la P.T.B. (Document CCE/75-7).

Mr *Aroutunov* souhaite savoir s'il existe de nouvelles spécifications pour fabriquer les piles étalons.

Le *Président* suggère finalement aux laboratoires de poursuivre l'étude des piles étalons.

*
* * *

Le *Président* remercie les membres du C.C.E. de leur active et fructueuse collaboration.

Mr *Page* se fait l'interprète de ses collègues pour remercier à son tour le *Président* de la façon aussi aimable qu'efficace avec laquelle il a dirigé les travaux de la 14^e session du C.C.E.

(24 mai 1975)

— E 6 —
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

Liaison des étalons de l'ohm du B.I.P.M. au farad

RECOMMANDATION E 1 (1975)*

Le Comité Consultatif d'Electricité, considérant que plusieurs laboratoires ont accompli complètement, et avec une très haute précision, la réalisation la plus exacte de l'unité SI de résistance par le moyen du condensateur à variation calculable du type Lampard-Thompson, et qu'ils ont déjà des preuves expérimentales de la bonne concordance de leurs résultats,

recommande à ces laboratoires de conclure les arrangements les plus convenables pour que les étalons de résistance de 1 ohm du Bureau International des Poids et Mesures (B.I.P.M.) puissent être ajustés et maintenus par comparaison aux étalons de ces laboratoires,

et recommande que le B.I.P.M. prenne ensuite les dispositions nécessaires pour que tous les laboratoires intéressés puissent bénéficier de l'amélioration qui sera ainsi obtenue dans l'exactitude des étalons du B.I.P.M.

Sur l'emploi de l'effet Josephson et la poursuite des recherches pour améliorer les étalons du volt

RECOMMANDATION E 2 (1975)*

Le Comité Consultatif d'Electricité, considérant que la reproductibilité des échelons de potentiel obtenus avec le dispositif cryogénique à jonction Josephson est maintenant vérifiée expérimentalement avec une très haute précision, que l'emploi des éléments voltaïques pour conserver et transporter la valeur du volt reste incertain à cause de leur fragilité et de leurs instabilités

recommande au Bureau International des Poids et Mesures et à tous les laboratoires intéressés :

* Cette recommandation a été approuvée par le Comité International des Poids et Mesures à sa 64^e session (mai 1975).

- de faire usage de l'effet Josephson pour corriger les instabilités de leurs étalons de différence de potentiel,
 - et de faire connaître la valeur de la fréquence Josephson qui correspond à la valeur du volt représentée par leurs étalons, que cette valeur soit celle qui a été estimée par le Comité Consultatif d'Electricité en 1972, c'est-à-dire 483 594,0 GHz, ou une autre valeur justifiée par de bons arguments,

estime qu'il est important de poursuivre les recherches en cours visant à améliorer la stabilité et les possibilités de transport des éléments voltaïques, car les étalons de ce type restent toujours nécessaires dans tous les laboratoires intéressés.

Sur la poursuite des déterminations absolues du volt et de l'ampère

RECOMMANDATION E 3 (1975) **

Le Comité Consultatif d'Electricité,
 considérant

que l'on a les moyens de maintenir avec une haute stabilité les étalons de différence de potentiel et d'intensité de courant électrique,

mais que la réalisation des unités SI correspondantes par des mesures absolues n'a pas encore été accomplie avec une exactitude qui serait en harmonie avec cette stabilité,

renouvelle ses recommandations de poursuivre et d'intensifier les mesures absolues du volt et de l'ampère, soit par l'amélioration des méthodes expérimentales déjà essayées, soit par la recherche d'autres méthodes directes ou indirectes, par exemple détermination de la constante Josephson $2 e/h$ par l'intermédiaire d'autres constantes physiques sans utiliser les grandeurs électriques pour créer un nouvel étalon du volt.

** Cette recommandation a été approuvée par le Comité International des Poids et Mesures à sa 64^e session (mai 1975) après suppression du mot "Josephson" avant $2 e/h$.

E 8

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 19 et 20 mai 1975.

Etaient présents : MM. F.J. LEHANY, président ; H.M. ALTSCHULER (NBS), A.E. BAILEY (NPL), H. BAYER (PTB), J. BLOUET (LCIE), A.F. DUNN (NRC), H. HIRAYAMA (ETL), P.O. LUNDBOM (RIND), G. RIETTO (IEN), M. SINCLAIR (RRE).

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

Excusé : Mr G. ALMASSY (IRT)⁽¹⁾.

Les débats ont porté sur les sujets suivants :

1. ÉTAT D'AVANCEMENT DES COMPARAISONS INTERNATIONALES

Depuis la dernière réunion (1972) du Groupe de travail, trois comparaisons ont été achevées ; une comparaison a été abandonnée : elle aurait fait double emploi avec d'autres comparaisons précédemment exécutées ou en cours.

Actuellement, treize comparaisons sont en cours d'exécution.

Les renseignements relatifs à chacune des comparaisons terminées ou en cours figurent dans le tableau I.

2. TRAVAUX FUTURS

2.1. *Comparaisons à entreprendre*

Le Groupe de travail a discuté les propositions présentées par la PTB (Document GT-RF/75-2), le NBS (GT-RF/75-7), le NML et le NPL. Il a établi la liste des nouvelles comparaisons à entreprendre (tableau II) ; dans cette liste, les comparaisons projetées ont été réparties en trois catégories :

A - Comparaisons pour lesquelles il existe un laboratoire pilote et des participants, et qui pourraient donc être entreprises sans délai (14 comparaisons).

B - Comparaisons pour lesquelles il n'existe pas actuellement de laboratoire pilote et qui ne pourront donc être entreprises que lorsque l'un des participants aura accepté cette charge (4 comparaisons).

C - Comparaisons pour lesquelles un seul laboratoire a, jusqu'à présent, marqué de l'intérêt (3 comparaisons).

2.2. *Réflexion sur les travaux futurs*

2.2.1. *Comparaisons dans le domaine des ultrasons.* - Une proposition du NBS concernant l'exécution d'une comparaison de mesures de puissance d'un faisceau ultrasonore a donné lieu à une discussion approfondie. Deux tendances principales se sont dégagées :

- certains membres estiment que ce type de mesure est totalement en dehors du domaine d'activité du Groupe de travail. S'il acceptait, pour ce cas, de déborder de son domaine actuel, le Groupe serait amené à faire de même pour d'autres types de mesures qui lui sont étrangers. Ceci risquerait d'entraîner une augmentation notable de son activité et nécessiterait

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

d'adjoindre au Groupe actuel des spécialistes des nouveaux domaines, or l'accroissement du nombre des participants est peu favorable à l'efficacité des travaux.

- Pour le NBS et les autres membres qui partagent son point de vue, la gamme de fréquence considérée tombe dans le domaine du Groupe de travail et certaines méthodes de mesure, en fait purement électrique, mettent en oeuvre des procédés familiers aux radioélectriciens. A ce titre, le cas de la mesure des puissances ultrasonores est analogue à celui de la mesure des puissances laser. En outre, il ne semble pas qu'il existe actuellement sur le plan international un autre organisme susceptible d'entreprendre ces travaux. D'après les enquêtes effectuées dans différents pays et notamment aux Etats-Unis, les laboratoires qui travaillent dans le domaine des ultrasons n'ont pas en général de vocation métrologique.

Compte tenu de ces différents avis, le Groupe de travail décide finalement de soumettre la question au C.C.E.

2.2.2. *Multiplication des comparaisons.* - L'incidence de l'augmentation du nombre des comparaisons sur la charge de travail des laboratoires inquiète certains membres qui recommandent de limiter le nombre des comparaisons et d'éviter, en particulier, d'entreprendre des travaux voisins de ceux qui ont déjà été effectués. D'autres membres jugent au contraire utile de reprendre de telles comparaisons, notamment pour s'assurer qu'il n'y a pas de dérive due aux équipements de mesure ou à leur mise en oeuvre.

3. LIAISONS AVEC L'URSI

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

4. DATE DE LA PROCHAINE RÉUNION

Le Groupe de travail souhaite tenir sa prochaine réunion en 1978, quelques jours après la réunion de l'URSI.

(21 mai 1975)

Le Rapporteur,

J. BLOUET

Le Président,

F.J. LEHANY

TABLEAU I

ÉTAT D'AVANCEMENT DES COMPARAISONS INTERNATIONALES

1. COMPARAISONS ACHEVÉES DEPUIS LA DERNIÈRE RÉUNION (1972) DU GROUPE DE TRAVAIL

1.1. *Instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz (1965)*

a) Comparaison initiale, 2^e circuit. (Laboratoire pilote : IMPR ; participant : LCIE).

Cette comparaison s'est finalement réduite à un échange d'étalons entre l'IMPR et le LCIE. Les résultats des mesures portant sur les montures de l'ETL figurent dans le Document GT-RF/75-5 qui clôt cette comparaison.

b) Comparaison parallèle (Laboratoire pilote : LCIE ; participants : PTB, NRC, OMH).

Cette comparaison avait fait l'objet d'un rapport provisoire en 1972. Les résultats définitifs sont contenus dans le Document GT-RF/75-6.

1.2. *Tension à 1 GHz (1968)*

(Laboratoire pilote : NBS; participants : NRC, OMH, NPL, EQD).

Cette comparaison avait fait l'objet d'un rapport provisoire en 1972. Les résultats définitifs sont contenus dans le Document GT-RF/75-1.

1.3. Affaiblissement à 10 GHz sur guide d'ondes (1968)

(Laboratoire pilote : RIND ; participants : PTB, OMH, IEN, LCIE, NPL, NRC, NML, ETL).

Cette comparaison avait fait l'objet d'un rapport partiel en 1972. L'ensemble des mesures est maintenant terminé et les principaux résultats sont contenus dans le Document GT-RF/75-13. Un rapport final sera établi dans les prochains mois. Le laboratoire-pilote souhaiterait connaître les suggestions éventuelles des participants sur la présentation à adopter pour ce rapport.

1.4. Affaiblissement jusqu'à 8 GHz sur guide d'ondes (1968)

Compte tenu des autres comparaisons d'affaiblissement, il n'a pas été jugé utile d'entreprendre cette comparaison qui est donc abandonnée.

2. COMPARAISONS EN COURS

2.1. Déphasage sur guide d'ondes (1972) (Laboratoire pilote : NBS ; participants : ETL, RRE, NRC, NML, IEN).

Le NBS a réalisé trois étalons de transfert comportant chacun trois parcours commutables. Deux de ces étalons seront mis en circulation et le troisième restera comme témoin au NBS. Les mesures initiales sont terminées et les instruments ont été expédiés à l'ETL (Document GT-RF/75-15).

2.2. Affaiblissement à 7 GHz en coaxial (1972) (Laboratoire pilote : NPL ; participants : IEN, NBS, PTB).

Un groupe de dix affaiblisseurs fixes de 6, 10, 20, 30 et 60 dB (deux de chaque valeur) a été mis en circulation suivant un schéma radial. La comparaison se poursuit (Document GT-RF/75-10).

2.3. Tension sur coaxial à 1 MHz (1972) (Laboratoire pilote : NPL ; participants : ASMW, EQD, IEN, NBS, NML, OMH, PTB).

Deux instruments réalisés par EQD ont été mis en circulation indépendamment l'un de l'autre suivant un schéma radial. Actuellement, le tiers des mesures a été effectué (Document GT-RF/75-9).

2.4. Puissance sur guide d'ondes à 65 GHz (1972) (Laboratoire pilote : NPL, participant : NBS).

Les laboratoires ont échangé des informations pour résoudre les problèmes posés par l'emploi de deux types de guides différents. Le commencement des mesures est prévu pour 1976 (Document GT-RF/75-11).

2.5. Puissance sur guide d'ondes à 35 GHz (1972) (Laboratoire pilote : NRC ; participants : NBS, RRE, ETL).

A l'exception de l'ETL qui effectue les mesures à 34,5 GHz seulement, les trois autres laboratoires effectuent les mesures à 34,5 et 35 GHz. La comparaison se poursuit ; le tiers des mesures environ a déjà été effectué (Document GT-RF/75-14).

2.6. Puissance en coaxial à 6 GHz (1972) (Laboratoire pilote : NBS ; participants : NML, NPL, LCIE, IEN, RIND, NRC, PTB, OMH).

Les laboratoires ont été répartis en trois groupes en fonction des connecteurs coaxiaux utilisés : N, GR 900, APC-7. Trois montures équipées de ces différents connecteurs et des adaptateurs sont mis en circulation. La circulation des étalons en est à son commencement (Document GT-RF/75-15).

- 2.7. *Champ électrique (75-150 MHz) (1972)* (Laboratoire pilote : NBS ; participants : IEN, FTZ et peut-être l'Université technique de Wrocław).

Le NBS a réalisé et expérimenté un instrument de transfert constitué par un dipôle associé à un détecteur à diode. Cet instrument sera expédié très prochainement au premier laboratoire participant.

Le NBS accepterait avec plaisir la participation d'autres laboratoires (Document GT-RF/75-15).

- 2.8. *Gain d'un cornet à 10 GHz (1972)* (Laboratoire pilote : IRT ; participants : NBS, IEN, NRC).

Le représentant du laboratoire pilote n'a pu assister à la réunion ; la seule information parvenue au Groupe de travail est que le travail préparatoire est en cours.

- 2.9. *Affaiblissement aux basses valeurs, à la fréquence de 10 GHz (1972)*. (Laboratoire pilote : PTB ; participants : IEN, OMH, NML, RIND, RRE).

Six étalons de transfert fournis par différents laboratoires et de valeurs comprises entre 0,001 dB et 1 dB, ont été mis en circulation.

La moitié des mesures environ a déjà été effectuée (Document GT-RF/75-2).

- 2.10. *Affaiblissement à 30 MHz (1972 : suite à la comparaison non concluante recommandée en 1968)* (Laboratoire pilote : NML ; participants : ETL, NBS, NRC, PTB).

La principale difficulté de cette comparaison réside dans la nécessité de disposer d'étalons de transfert de très haute stabilité. Le NML a réalisé cinq étalons de transfert qu'il a soumis à des essais de vieillissement comprenant notamment des essais en température et en vibrations.

La circulation de ces étalons vient de commencer (Document GT-RF/75-3).

- 2.11. *Puissance surfacique (1972)* (Laboratoire pilote : NML ; participants : HEW, IEN, NBS, NPL, RIND).

La circulation de trois instruments de transfert suivant un schéma radial se poursuit (Document GT-RF/75-4).

- 2.12. *Bruit blanc à basse température (77 K) à 4,1 GHz sur guide d'ondes (1972)* (Laboratoire pilote : RRE ; participant : ETL).

Les étalons de transfert comportent l'ensemble à micro-ondes proprement dit et les équipements cryogéniques associés.

Compte tenu de la complexité du matériel et des opérations à effectuer, les résultats des mesures sont échangés avant la réexpédition des instruments de manière à remédier à une mauvaise utilisation éventuelle de ces instruments.

Les travaux se poursuivent actuellement (Document GT-RF/75-12).

- 2.13. *Puissance laser à ondes entretenues (1972)* (Laboratoire pilote : ETL ; participants : NBS, NPL, PTB).

Quatre étalons de transfert ont été réalisés par l'ETL. La comparaison est du type radial. La comparaison utilisant des lasers à He-Ne est entreprise, le tiers des mesures a été effectué. La comparaison utilisant des lasers à argon suivra (Document GT-RF/75-8).

TABLEAU II

COMPARAISONS PROJÉTÉES*A. - Comparaisons prêtes à être entreprises*

Comparaison	Parti- cipants*	Commencement	Observations
<i>Puissance à 15,0 GHz</i>	<u>PTB</u>	Début 1977	Guide d'ondes R 140 (WR 62)
<i>Efficacité de montures bolométriques sur guide d'ondes</i>	<u>TEN</u> <u>LCIE</u> <u>NBS</u> <u>NRC</u> <u>RRE</u>		RRE dispose d'étalons de transfert
<i>Puissance à 15,0 GHz</i>	<u>PTB</u>	Début 1977	Coupleur 10 dB ou 20 dB
<i>Facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif- monture bolométrique</i>	<u>NBS</u>		100 mW à la sortie directe 10 ou 1 mW à la sortie latérale Guide d'ondes R 140 (WR 62)
<i>Affaiblissement à 15 GHz sur guide d'ondes</i>	<u>PTB</u> <u>TEN</u> <u>NBS</u>	1977	Guide d'ondes R 140 (WR 62)
<i>Coefficient de réflexion à 300 et 3000 MHz sur coaxial 50 Ω</i>	<u>PTB</u> <u>NML</u> <u>NRC</u> <u>NPL</u> ⁺ <u>NBS</u> ⁺	1978	Coaxial 14 mm Connecteurs GR 900 NRC souhaiterait 1, 2, 4 et 8 GHz NPL désignera ultérieurement le laboratoire intéressé au Royaume-Uni
<i>Tension sur ligne coaxiale 50 Ω</i>	<u>PTB</u> <u>NBS</u> <u>NML</u> <u>LCIE</u> ⁺	1976	Mesure de l'écart de transposition de convertisseurs thermiques
1 V ; 100, 250, 500 et 1000 MHz			
<i>Tension sur ligne coaxiale 50 Ω</i>	<u>PTB</u> <u>NBS</u>	Début 1979	
100 V ; 30 MHz			
<i>Tension sur ligne coaxiale 50 Ω</i>	<u>PTB</u> <u>NBS</u> <u>NML</u>	Début 1979	
0,001 V ; 30 MHz			
<i>Puissance de bruit à 30 MHz</i>	<u>NML</u> <u>NBS</u>	Fin 1976 ou 1977	NML propose un étalon voyageur, avec affaiblisseur incorporé, de température équivalente varia- ble de 900 000 K à 1 200 K (35 à 5 dB ENR)
<i>Affaiblissement à 35 GHz</i>	<u>RRE</u> <u>NRC</u>	1976	Guide d'ondes R 320 RRE dispose d'étalons de transfert
<i>Affaiblissement à 70 GHz</i>	<u>NPL</u> <u>NBS</u> ⁺ <u>NRC</u> ⁺	1976	Guide d'ondes R 740
<i>Puissance 12 à 18 GHz</i>	<u>NBS</u> <u>TEN</u> <u>LCIE</u> <u>NPL</u> <u>NML</u> ⁺ <u>NRC</u> ⁺ <u>PTB</u> ⁺	Fin 1977	Après achèvement de l'actuelle comparaison à 6 GHz Eviter les fréquences proches de 17,4 GHz (résonances) 10 mW (éventuellement 1 à 10 mW) Connecteur type N (éventuellement APC 7)

Coefficient de réflexion à 10 GHz (en module)	RRE ETL IEN NBS NML	Début 1976	Guide d'ondes R 100 RRE et NBS disposent d'étalons voyageurs $\Gamma < 0,2$ Charges glissantes
Amplitude spectrale d'impulsions	NBS IEN ⁺		Coaxial 50 Ω Mesure à diverses fréquences dans la gamme 20 MHz - 3 GHz NBS disposera d'un étalon de transfert (générateur stable)
Affaiblissement à 300 MHz en coaxial 75 Ω	PTB NPL	Milieu 1977	Coaxial 14 mm Connecteurs GR 975

B.- Comparaisons qui n'ont pas encore de laboratoire pilote

Puissance à 30 MHz Facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif - monture bolométrique	NBS NML PTB	Milieu 1978	Coupleur 10 dB ou 20 dB Coaxial 14 mm Connecteur GR 900 100 mW à la sortie directe
Puissance à 7 GHz Facteur d'étalonnage d'ensembles coupleur directif - monture bolométrique	NBS NML PTB RRE ⁺	Milieu 1978	Coupleur 10 dB ou 20 dB 100 mW à la sortie directe Connecteur coaxial : non défini pour le moment (NBS préfère type N)
Coefficient de réflexion à 1 GHz sur coaxial 75 Ω	NRC PTB NPL ⁺	Milieu 1978	NPL désignera ultérieurement le laboratoire intéressé au Royaume-Uni
Coefficient de réflexion à 1 MHz sur coaxial 75 Ω	PTB NPL	1978	Coaxial 14 mm Connecteur GR 975

C.- Comparaisons pour lesquelles un seul laboratoire
a jusqu'à présent marqué de l'intérêt

Puissance de bruit 1 à 4 GHz ; 77 à 1000 K sur coaxial 50 Ω	NBS	Début 1976	NBS disposera d'étalons de transfert (sources à diodes)
Temps de retard d'impulsions sur ligne coaxiale 50 Ω	NBS		Retard de 100 ps à 1 ns Temps de montée des signaux \approx 10 ps
Temps de montée d'impulsions	NBS		Temps de montée : 20, 50 et 200 ps Amplitude : 250 mV Coaxial 50 Ω NBS disposera d'un étalon de transfert (générateur stable)

* Le nom du laboratoire pilote est souligné

+ Sous réserve de confirmation

Identification des laboratoires : EQD, Electrical Quality Assurance Directorate, Bromley (Royaume-Uni) ; FTZ, Fernmelde Technische Zentral Amt, Darmstadt (Rép. Féd. d'Allemagne) ; HEW, Department of Health Education and Welfare (U.S.A.) ; IMPR, Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou (U.R.S.S.) ; IRT, Institut de Recherches des Télécommunications, Budapest (Hongrie) ; OMH, Office National des Mesures, Budapest (Hongrie) ; RIND, Institut de Recherches de la Défense, Stockholm (Suède) ; RRE, Royal Radar Establishment, Malvern (Royaume-Uni).

Pour les autres sigles voir p. E 1.

ANNEXE E 1

**Documents de travail
présentés à la 14^e session du C.C.E.***

Documents diffusés avant la réunion

CCE/

- 75-1 B.I.P.M.- Rapport sur la 13^e comparaison des étalons nationaux de résistance électrique (janvier-avril 1973), par G. Leclerc (voir Annexe E 2).
- 75-2 B.I.P.M.- Rapport sur la 13^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (janvier-avril 1973), par G. Leclerc (voir Annexe E 3).
- 75-3 N.B.S. (États-Unis d'Amérique).- Tetrahedral junction error contribution to a series-parallel four-terminal resistor, by Chester H. Page.
Publié dans *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, IM-23, No. 1, 1974, pp. 5-8.
- 75-4 N.B.S. (États-Unis d'Amérique).- Résumé des recherches en cours à la Division Electricité du N.B.S. sur les étalons électriques et les constantes fondamentales en relation avec ces étalons (français-anglais).

* Les documents non publiés en Annexes à ce volume peuvent être obtenus sur demande adressée au B.I.P.M.

Document

CCE/

- 75-5 P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne).- Commentaires sur l'emploi d'enceintes thermorégulées dans les comparaisons internationales, par F. Melchert (français-allemand) (voir Annexe E 6).
- 75-6 P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne).- Réalisation de l'unité de force électromotrice au moyen de l'effet Josephson, par V. Kose et F. Melchert (français-allemand) (voir Annexe E 8).
- 75-7 P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne).- Relation entre la force électromotrice et la température des éléments Weston du type saturé, par F. Melchert (français-allemand).
Voir l'article publié en allemand dans *Metrologia*, 10, 1974, pp. 79-86.
- 75-8 P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne).- Détermination des constantes de bobines magnétiques par superposition de champs, par K. Weyand (français-allemand).
Publié en allemand dans *PTB-Mitteilungen*, 85, N° 3, 1975, pp. 206-208.
- 75-9 N.M.L. (Australie).- Etalon cryogénique de force électromotrice à effet Josephson utilisant un transformateur à supraconduction pour courant continu, par I.K. Harvey (français-anglais) (voir Annexe E 9).
- 75-10 N.M.L. (Australie).- Contrôle à long terme de l'étalon australien de force électromotrice au moyen de l'effet Josephson, par I.K. Harvey, J.C. Macfarlane et R.B. Frenkel (français-anglais) (voir Annexe E 10).
- 75-11 N.M.L. (Australie).- Electromètre absolu à liquide, par W.K. Clothier (français-anglais).
Sommaire du travail en cours.
- 75-12 L.C.I.E. (France).- Détermination absolue de l'ohm au Laboratoire Central des Industries Electriques, par N. Elnékavé (voir Annexe E 14).

Document

CCE/

75-13 I.M.M. (U.R.S.S.).- Réalisation de l'unité de capacité électrique à l'I.M.M., par I. Krotkov, V. Viktorov et T. Froudko (français-russe) (voir Annexe E 15).

75-14 I.M.M. (U.R.S.S.).- Détermination de $h/2e$ au moyen de l'effet Josephson alternatif à l'I.M.M., par K. Krasnov, V. Masourov et E. Frantsouz (français-russe) (voir Annexe E 12).

75-15 I.M.M. (U.R.S.S.).- Etalons de tension en courant alternatif de fréquence comprise entre 20 Hz et 30 MHz, par R.A. Aknaev, O. Galakhova et T. Rojdestvenskaïa (français-russe).

Résumé.- Etalons de tension en courant alternatif mis au point à l'I.M.M. pour le domaine 0,1-300 V et les fréquences comprises entre 20 Hz et 30 MHz. Les caractéristiques techniques fondamentales des convertisseurs qui constituent les éléments de base des étalons ont été spécialement étudiées pour les convertisseurs à basses fréquences (jusqu'à 100 kHz) et pour les convertisseurs à hautes fréquences (jusqu'à 30 MHz).

La technique de comparaison des convertisseurs est décrite et les erreurs commises étudiées.

En conclusion, le document donne les résultats de la première partie de la comparaison internationale effectuée à l'I.M.M. entre les étalons du N.P.L., du N.B.S. et de l'I.M.M. Cette comparaison a eu lieu pour des tensions de 10, 30 et 100 V, à des fréquences comprises entre 40 Hz et 50 kHz. Les résultats sont bons.

La comparaison en cours sera achevée lorsque les mesures auront été faites pour des fréquences s'étendant jusqu'à 50 kHz, mais il serait souhaitable d'organiser une nouvelle comparaison à des fréquences plus élevées.

75-16 I.M.M. (U.R.S.S.).- Nouveau système d'étalons pour les grandeurs électriques et magnétiques, par V.O. Aroutunov (français-russe).

Résumé.- On propose de remplacer les étalons de l'ampère et du henry qui constituent les étalons de base classiques par les étalons du farad (représenté par un condensateur calculable) et du volt (défini au moyen de l'effet Josephson, la valeur de $2e/h$ étant déduite par le calcul de la valeur d'autres constantes naturelles).

(Voir la communication en français présentée au "Colloque international sur l'électronique et la mesure", Paris, 26-30 mai 1975).

Documents distribués en séance

CCE/

- 75-17 E.T.L. (Japon).- Thermo-regulated and transportable air bath with standard cells used for the international comparison, by H. Hirayama and K. Shimazaki (voir Annexe E 7).
- 75-18 E.T.L. (Japon).- Absolute farad and ohm experiments in the E.T.L., by T. Igarashi and H. Nishinaka.
Bref compte rendu du travail en cours et résultats des mesures des étalons de capacité voyageurs de 10 pF (ces résultats sont reproduits dans l'Annexe E 4).
- 75-19 E.T.L. (Japon).- Note on absolute measurement of the volt, by T. Yamazaki, M. Kobayashi and K. Shida (voir Annexe E 16).
- 75-20 E.T.L. (Japon).- 10 kV high-accuracy DC voltage divider, by H. Hirayama, M. Kobayashi, K. Murakami and T. Kato.
Publié en anglais dans *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, IM-23, No. 4, 1974, pp. 314-317.
- 75-21 E.T.L. (Japon).- AC/DC thermal converters of the E.T.L., by S. Iwamoto and H. Hirayama.
Publié en anglais dans *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, IM-23, No. 4, 1974, pp. 326-329.
- 75-22 E.T.L. (Japon).- Etat actuel des étalons électriques à l'E.T.L., par H. Hirayama.
- 75-23 E.T.L. (Japon).- $2e/h$ determination by Josephson effect in E.T.L., by T. Endo, M. Koyanagi, S. Koga, G. Yonezaki and A. Nakamura (voir Annexe E 11).
- 75-24 E.T.L. (Japon).- Experiment with magnetically isolated calculable solenoid for γ'_p determination, by H. Nakamura and A. Nakamura (voir Annexe E 17).
- 75-25 N.P.L. (Royaume-Uni).- Realization and monitoring of the ampere at N.P.L., by P. Vigoureux.
Bref compte rendu des travaux en cours et projetés.

Document

CCE/

- 75-26 N.P.L. (Royaume-Uni).- The proton gyromagnetic ratio in a strong magnetic field (Report on work at N.P.L.), by B.P. Kibble (voir Annexe E 18).
- 75-27 N.P.L. (Royaume-Uni).- Report on work on the Josephson effects, by B.W. Petley.
Résumé des travaux en cours.
- 75-28 Lettre du directeur du B.I.P.M. aux membres du C.C.E. : "Prise de position du directeur du B.I.P.M." (voir Annexe E 5).
- 75-29 B.I.P.M.- Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF, par G. Leclerc (voir Annexe E 4).
- 75-30 V.S.L. (Pays-Bas).- National primary standard of electrical resistance, by R. Doorn and R. Kaarls.
Présenté à "Insymet 1974", Bratislava, 5-8 novembre 1974.
- 75-31 I.E.N. (Italie).- Etapes pour la réalisation de l'unité de tension par effet Josephson alternatif à l'I.E.N., par D. Andreone, E. Arri et G. Marullo.
Voir l'article en anglais publié dans *Alta Frequenza*, XLIV, N° 10, 1975, pp. 603-608.
- 75-32 B.I.P.M.- Note sur l'état des mesures de l'effet Josephson au B.I.P.M., par T. Witt (voir Annexe E 13).
- 75-33 P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne).- Condensateur croisé du type Thompson-Lampard à six électrodes cylindriques, par A. Fiebiger et K. Fleischhauer.
Publié en allemand dans *PTB-Mitteilungen*, 85, N° 4, 1975, pp. 271-274.

Document

CCE/

75-34 Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, par J. Blouet (voir l'Appendice au Rapport du C.C.E.).

75-35 N.B.S. (Etats-Unis d'Amérique).- On the value of the "ampère B.I.P.M."

Ce document est un extrait des articles suivants :

"Present status of the fundamental constants", by B.N. Taylor and E.R. Cohen (*Atomic Masses and Fundamental Constants* 5, 1975) ;

"Is the present realization of the absolute ampere in error ?", by B.N. Taylor, *Metrologia*, 1976.

Document diffusé après la réunion

75-36 I.M.M. (U.R.S.S.).- Les méthodes et les moyens de mesure précise des puissances en courant alternatif aux fréquences acoustiques, par A.Y. Bézikovitch et E.Z. Chapiro (français-russe).

Résumé.- Analyse des raisons de la faible précision des mesures des puissances actives aux fréquences acoustiques et propositions pour y remédier.

Description des convertisseurs-mesureurs réalisés à l'I.M.M., résultats obtenus.

Proposition de comparaisons internationales de convertisseurs de puissance.

GROUPE DE TRAVAIL
POUR LES GRANDEURS AUX RADIOFRÉQUENCES

Documents diffusés avant la réunion

GT-RF/

75-1 N.B.S. (Etats-Unis d'Amérique).- Report on the international intercomparison of voltage standards at 1 GHz in coaxial transmission line, by F.X. Ries (voir Annexe E 19).

75-2 P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne).-

A) Interim report on the progress of international comparison "Low attenuation in waveguide at the frequency 10 GHz", by H. Bayer.

B) List of P.T.B. proposed R.F. inter-comparisons.

GT-RF/

- 75-3 N.M.L. (Australie).- Comparaison de l'affaiblissement à 30 MHz, par D.L. Hollway (français-anglais).
- 75-4 N.M.L. (Australie).- Comparaison de puissance surfacique à 2450 MHz, par D.L. Hollway (français-anglais).
- 75-5 Lettre de B. Issaev (Comité des Normes, U.R.S.S.) relative à la 2^e comparaison d'instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz (anglais-russe).
- 75-6 L.C.I.E. (France).- Rapport sur la comparaison internationale d'étalons de puissance à 10 GHz, par J. Blouet et L. Erard (voir Annexe E 20).
- 75-7 N.B.S. (Etats-Unis d'Amérique).- Lettre de H.M. Altschuler (29 avril 1975) proposant de nouvelles comparaisons internationales, dont une comparaison de puissance ultrasonique.

Documents distribués en séance

- 75-8 E.T.L. (Japon).- The international comparison of laser power standards.
- 75-9 N.P.L. (Royaume-Uni).- International comparison of voltage at 1 MHz and 1 volt, by A.E. Fantom.
- 75-10 N.P.L. (Royaume-Uni).- International comparison of attenuation in coaxial line at 7 GHz, by R.W. Yell.
- 75-11 N.P.L. (Royaume-Uni).- International comparison of power at 65 GHz in waveguide 25/26 (WR 12 and 15), by A.E. Fantom.

GT-RF/

- 75-12 R.R.E. (Royaume-Uni).- Report on the international comparison of low temperature noise at 4.1 GHz, by E.W. Houghton and M.W. Sinclair.
- 75-13 R.I.N.D. (Suède).- Preliminary report on inter-comparison of waveguide attenuation standards at 10 GHz, by G. Nilsson (voir Annexe E 21).
- 75-14 N.R.C. (Canada).- Interim report on the international intercomparison of power standards in WR-28 waveguide, by R.F. Clark.
- 75-15 N.B.S. (Etats-Unis d'Amérique).- Interim report on N.B.S. pilot laboratory activities, by H.M. Altschuler.

Seuls les Documents GT-RF/75-1, 6 et 13 qui constituent des rapports définitifs sur les comparaisons internationales sont publiés en Annexes.

Rapport
sur la 13^e comparaison des étalons nationaux
de résistance électrique

(janvier-avril 1973)

par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

(Document CCE/75-1)

A l'occasion de la 13^e comparaison périodique des étalons nationaux de résistance, le B.I.P.M. a effectué simultanément une comparaison traditionnelle d'étalons de 1 Ω et une comparaison d'étalons de 10⁴ Ω . Le but de cette double comparaison était d'estimer la précision avec laquelle les laboratoires réalisent le passage de 1 à 10⁴ Ω .

A.- COMPARAISON DES ÉTALONS DE 1 Ω

Les onze laboratoires invités à participer à la comparaison ont envoyé au B.I.P.M. trente-six étalons de 1 Ω de premier ordre (en manganine, à quatre bornes, étanches). Ces étalons et les six étalons qui conservent la valeur de référence Ω_{69-BI} du B.I.P.M. ont été comparés deux à deux conformément au schéma de la figure 1 (les étalons d'un même laboratoire ont été comparés l'un à l'autre dans toutes les combinaisons possibles).

Les comparaisons ont été effectuées par un seul observateur (D. Bournaud), au moyen d'un pont double de Thomson à bras de 1000 Ω et en procédant par substitution (les deux étalons comparés au cours d'une série de mesures étant opposés à tour de rôle à une résistance tare ajustable). Au milieu de chaque série d'observations les bras "mesure" et "tare" du pont étaient inversés.

Liste des étalons de résistance
qui ont participé à la 13^e comparaison

Laboratoires	Etalons n ^{os}		Arrivée B.I.P.M.	Départ B.I.P.M.	Mode de transport
	1 Ω	10 ⁴ Ω			
N.P.R.L. (Afrique du Sud)	1132427 1146606		11 octobre 1972	16 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
A.S.M.W.* (Rép. Dém. Allemande)	509 511 512	1 ISA	19 décembre 1972	17 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne)	166 266	172	7 décembre 1972	23 mai 1973	aller et retour par train accompagnés
N.S.L. (Australie)	S-4448 S-41695 S-41696 S-41697	804041	10 décembre 1972	18 avril 1973	aller et retour par avion en fret
N.R.C. (Canada)	1029331 1336435 1336436 1336437	7170 7171	13 décembre 1972	4 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
N.B.S. (États-Unis d'Amérique)	73 114 1003		3 octobre 1972	8 juin 1973	aller et retour par avion accompagnés
		1409 1410	4 janvier 1973	13 juin 1973	aller et retour par avion en fret
L.C.I.E. (France)	1732525 1732530 1732531 1732532		13 décembre 1972	10 mai 1973	aller et retour en automobile accompagnés
I.E.N. (Italie)	1681955 1681957 1723158 J-2		28 novembre 1972	2 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
		804044 143	19 janvier 1973	16 avril 1973	aller et retour par avion en fret
E.T.L. (Japon)	5796 5799 31002 3905-C17	6909-CI 851044	14 décembre 1972	9 mai 1973	aller et retour par avion en fret
N.P.L. (Royaume- Uni)	713 715 716		15 novembre 1972	16 avril 1973	aller et retour par avion accompagnés
		851024 852018	18 décembre 1972	16 avril 1973	aller et retour par avion accompagnés
I.M.M. (U.R.S.S.)	710 922 2523	110126 110130	23 janvier 1973	1 ^{er} juin 1973	aller et retour par avion accompagnés

* Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, nouveau nom du
Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung (D.A.M.W.).

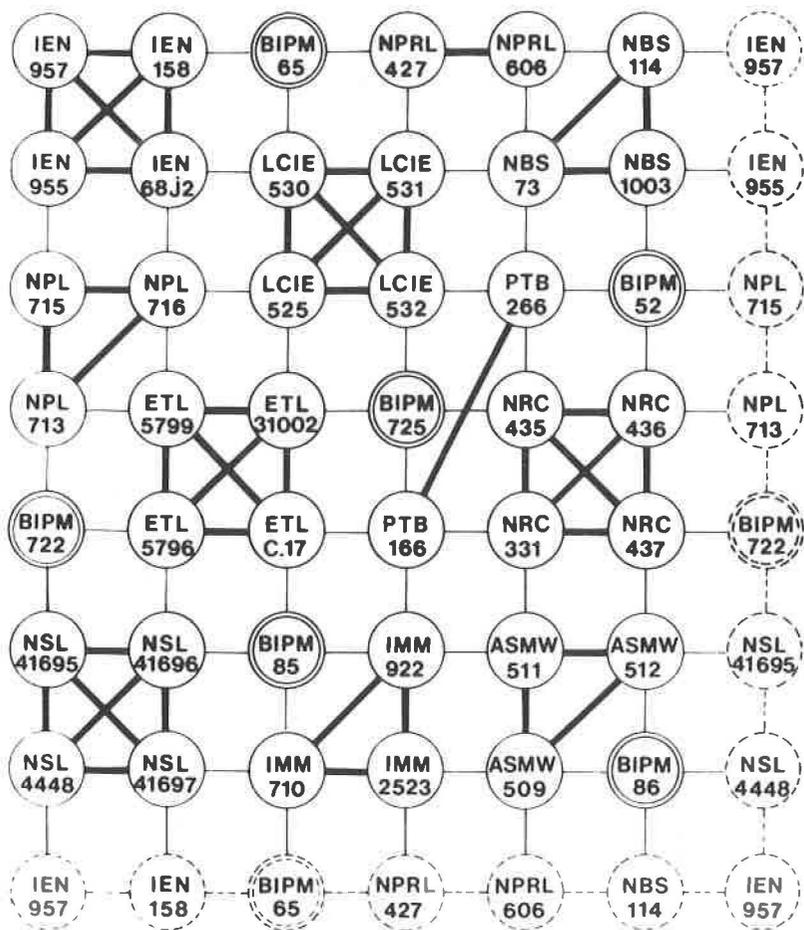


Fig. 1.- Schéma de comparaison des étalons de résistance de 1 Ω .
 Les étalons du B.I.P.M. sont identifiés par un double cercle.
 Les comparaisons entre les étalons d'un même laboratoire sont indiquées par un trait gras.

Pendant les observations les étalons étaient parcourus par un courant de 0,1 A. Les mesures "aller" ont été effectuées du 8 janvier au 9 février 1973 à une température moyenne de 20,062 °C et les mesures "retour" du 12 mars au 13 avril 1973, à une température moyenne de 19,970 °C. Les quatre-vingt-dix-neuf équations de condition (moyennes des mesures "aller et retour") qui en ont résulté ont été traitées par la méthode des moindres carrés ; elles ont fourni, à partir de la somme connue des dix étalons de référence du B.I.P.M., la valeur de chaque résistance voyageuse en fonction de Ω_{69-BI} . Les résultats ainsi obtenus sont donnés dans la colonne 2 du tableau II.

Dans la colonne 1 du tableau II figurent les valeurs des étalons voyageurs exprimées en "unité du laboratoire d'origine" ⁽¹⁾ au 25 février 1973, date centrale des comparaisons effectuées au B.I.P.M. Ces valeurs sont celles qui ont été calculées dans le tableau I, colonne 3.

Le tableau III contient les résultats finaux de la 13^e comparaison périodique des étalons nationaux de résistance.

Précision

Les valeurs des étalons voyageurs exprimées en fonction de Ω_{69-BI} sont connues avec un écart-type de 0,03 $\mu\Omega$; mais nous ignorons avec quelle précision elles le sont en fonction des "unités nationales".

Pour calculer néanmoins un ordre de grandeur de la précision des résultats du tableau III, nous avons procédé comme pour la 12^e comparaison et considéré la dispersion des résultats fournis par les différents étalons d'un même laboratoire.

En admettant que tous les étalons étaient de même qualité métrologique, qu'ils avaient été transportés avec le même soin, qu'ils avaient été étalonnés avec la même précision dans leur laboratoire respectif, nous avons calculé, pour chaque laboratoire, la valeur de l'expression :

$$\sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{(n-p)q}}$$

(1) Dans ce rapport, on entend par "unité du laboratoire d'origine", "unité nationale" la représentation de l'ohm conservée par chaque laboratoire au moyen d'étalons. Bien que cette expression soit impropre, elle a l'avantage d'être brève et bien comprise par tous les intéressés.

TABLEAU I

Valeurs à 20 °C des étalons de 1 Ω, exprimées en "unité nationale" du laboratoire d'origine, à la date du 25 février 1973

Sauf pour le N.B.S., les valeurs au 25 février 1973, date centrale de la comparaison, ont été calculées par interpolation linéaire à partir des valeurs des résistances attribuées aux étalons par les laboratoires nationaux avant et après les mesures au B.I.P.M. Pour le N.B.S., ces valeurs ont été calculées par extrapolation à partir des valeurs attribuées au 31 décembre 1972, en tenant compte des dérives des étalons indiquées dans le certificat.

		<u>N.P.R.L.</u>			
		(1)	(2)	(3)	
		1 ^{er} octobre 1972	1 ^{er} juin 1973	25 février 1973	
1132427	0,999 990 4		0,999 990 5	0,999 990 46	Ω _{NPRL}
1146606	0,999 990 0		0,999 990 0	0,999 990 00	
	<u>0,999 990 20</u>		<u>0,999 990 25</u>	<u>0,999 990 23</u>	Ω _{NPRL}
<u>A.S.M.W.</u>					
		10 décembre 1972	2 juin 1973		
509	0,999 997 5		0,999 997 5	0,999 997 50	Ω _{ASMW}
511	0,999 997 1		0,999 997 0	0,999 997 06	
512	0,999 996 2		0,999 996 2	0,999 996 20	
	<u>0,999 996 93</u>		<u>0,999 996 90</u>	<u>0,999 996 92</u>	Ω _{ASMW}
<u>P.T.B.</u>					
		1 ^{er} novembre 1972	15 juillet 1973		
166	0,999 993 18 ₀		0,999 993 30 ₆	0,999 993 23 ₇	Ω _{PTB}
266	0,999 987 68 ₁		0,999 988 01 ₉	0,999 987 83 ₄	
	<u>0,999 990 43₀</u>		<u>0,999 990 66₂</u>	<u>0,999 990 53₆</u>	Ω _{PTB}
<u>N.S.L.</u>					
		28 novembre 1972	25 mai 1973		
S.4448	1,000 005 77		1,000 005 84	1,000 005 80 ₅	Ω _{NSL}
S.41695	0,999 986 52		0,999 986 37	0,999 986 44 ₅	
S.41696	0,999 988 42		0,999 988 24	0,999 988 33 ₅	
S.41697	0,999 988 54		0,999 988 10	0,999 988 32	
	<u>0,999 992 31</u>		<u>0,999 992 14</u>	<u>0,999 992 22₅</u>	Ω _{NSL}
<u>N.R.C.</u>					
		7 novembre 1972	3 août 1973		
1029331	0,999 986 0		0,999 986 1	0,999 986 04	Ω _{NRC}
1336435	0,999 995 2		0,999 995 2	0,999 995 20	
1336436	0,999 993 1		0,999 993 1	0,999 993 10	
1336437	0,999 994 3		0,999 994 5	0,999 994 38	
	<u>0,999 992 15</u>		<u>0,999 992 22</u>	<u>0,999 992 18</u>	Ω _{NRC}
<u>N.B.S.</u>					
		31 décembre 1972	variations en 56 jours		
73	1,000 012 283	- 0,000 000 035	0 x 0,153	4 = 1,000 012 28	Ω _{NBS}
114	0,999 973 899	-	012 2 x 0,153	4 = 0,999 973 90	
1003	0,999 978 191	-	001 7 x 0,153	4 = 0,999 978 19	
	<u>0,999 988 124</u>	<u>- 0,000 000 016</u>	<u>3 x 0,153</u>	<u>4 = 0,999 988 12</u>	Ω _{NBS}

		<u>L.C.I.E.</u>		
		17 novembre 1972	30 juillet 1973	25 février 1973
1732525	0,999 977 20		0,999 977 20	
1732530	0,999 977 06		0,999 977 13	Ω _{LCIE}
1732531	0,999 980 88		0,999 980 94	
1732532	0,999 977 50		0,999 977 56	
	<u>0,999 978 16</u>		<u>0,999 978 21</u>	Ω _{LCIE}
		<u>I.E.N.</u>		
		21 novembre 1972	21 novembre 1973	
1681955	0,999 975 32		0,999 975 30	
1681957	0,999 973 35		0,999 973 31	Ω _{IEN}
1723158	0,999 978 80		0,999 978 78	
J-2	0,999 994 48		0,999 994 60	
	<u>0,999 980 49</u>		<u>0,999 980 50</u>	Ω _{IEN}
		<u>E.T.L.</u>		
		19 novembre 1972	17 juin 1973	
5796	0,999 931 95		0,999 932 17	
5799	0,999 896 42		0,999 896 43	Ω _{ETL}
31002	1,000 440 35		1,000 440 50	
3905-C17	1,000 015 05		1,000 015 63	
	<u>1,000 070 94</u>		<u>1,000 071 18</u>	Ω _{ETL}
		<u>N.F.L.</u>		
		8 novembre 1972	25 mai 1973	
L-713	1,000 048 16		1,000 048 26	
L-715	1,000 515 40		1,000 515 48	Ω _{NFL}
L-716	1,000 533 19		1,000 533 34	
	<u>1,000 365 58</u>		<u>1,000 365 69</u>	Ω _{NFL}
		<u>I.M.M.</u>		
		décembre 1972	juin 1973	
710	0,999 996 8		0,999 996 8	
922	1,000 013 9		1,000 013 8	Ω _{IMM}
2523	0,999 991 0		0,999 990 8	
	<u>1,000 000 57</u>		<u>1,000 000 47</u>	Ω _{IMM}

TABLEAU II

Valeur de l'"unité nationale" de chaque laboratoire en fonction de Ω_{69-BI}
(d'après les étalons de 1 Ω)

Les étalons qui ne figurent pas dans ce tableau ont été éliminés à la demande du laboratoire d'origine parce que leur valeur "retour" montrait qu'ils avaient subi des dommages au cours du transport.

	(1)	N.P.R.L.		(2)		(3)
1132427	0,999 990 46	Ω_{NPRL}	=0,999 991 59	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{NPRL}	= Ω_{69-BI} + 1,13 $\mu\Omega$
1146606	0,999 990 00	Ω_{NPRL}	=0,999 991 09	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{NPRL}	= Ω_{69-BI} + 1,09 $\mu\Omega$
	0,999 990 23	Ω_{NPRL}	=0,999 991 34	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{NPRL}	= Ω_{69-BI} + 1,11 $\mu\Omega$
<u>A.S.M.W.</u>						
509	0,999 997 50	Ω_{ASMW}	=0,999 998 34	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{ASMW}	= Ω_{69-BI} + 0,84 $\mu\Omega$
511	0,999 997 06		=0,999 997 97			= + 0,91
512	0,999 996 20		=0,999 997 25			= + 1,05
	0,999 996 92	Ω_{ASMW}	=0,999 997 85	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{ASMW}	= Ω_{69-BI} + 0,93 $\mu\Omega$
<u>P.T.B.</u>						
166	0,999 993 24	Ω_{PTB}	=0,999 993 82	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{PTB}	= Ω_{69-BI} + 0,58 $\mu\Omega$
266	0,999 987 83		=0,999 988 39			= + 0,56
	0,999 990 53	Ω_{PTB}	=0,999 991 10	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{PTB}	= Ω_{69-BI} + 0,57 $\mu\Omega$
<u>N.S.L.</u>						
S-4448	1,000 005 80	Ω_{NSL}	=1,000 006 06	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{NSL}	= Ω_{69-BI} + 0,25 $\mu\Omega$
S-41695	0,999 986 44		=0,999 986 75			= + 0,31
S-41696	0,999 988 33		=0,999 988 76			= + 0,43
	0,999 993 53	Ω_{NSL}	=0,999 993 86	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{NSL}	= Ω_{69-BI} + 0,33 $\mu\Omega$
<u>N.R.C.</u>						
1029331	0,999 986 04	Ω_{NRC}	=0,999 985 07	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{NRC}	= Ω_{69-BI} - 0,97 $\mu\Omega$
1336435	0,999 995 20		=0,999 994 35			= - 0,85
1336436	0,999 993 10		=0,999 992 26			= - 0,84
1336437	0,999 994 38		=0,999 993 46			= - 0,92
	0,999 992 18	Ω_{NRC}	=0,999 991 28	Ω_{69-BI}	d'où Ω_{NRC}	= Ω_{69-BI} - 0,90 $\mu\Omega$

TABLEAU II (fz n)

		<u>N.B.S.</u>			
73	1,000 012 28	Ω_{NBS}	=1,000 012 55	Ω_{69-BI}	d'ou $\Omega_{NBS} = \Omega_{69-BI} + 0,27 \mu\Omega$
114	0,999 973 90		=0,999 974 08		= + 0,18
1003	0,999 978 19		=0,999 978 33		= + 0,14
	<u>0,999 988 12</u>	<u>Ω_{NBS}</u>	<u>=0,999 988 32</u>	<u>Ω_{69-BI}</u>	<u>d'ou $\Omega_{NBS} = \Omega_{69-BI} + 0,20 \mu\Omega$</u>
		<u>L.C.I.E.</u>			
1732525	0,999 977 20	Ω_{LCIE}	=0,999 977 80	Ω_{69-BI}	d'ou $\Omega_{LCIE} = \Omega_{69-BI} + 0,60 \mu\Omega$
1732530	0,999 977 09		=0,999 977 72		= + 0,63
1732531	0,999 980 90		=0,999 981 55		= + 0,65
1732532	0,999 977 52		=0,999 978 18		= + 0,66
	<u>0,999 978 18</u>	<u>Ω_{LCIE}</u>	<u>=0,999 978 81</u>	<u>Ω_{69-BI}</u>	<u>d'ou $\Omega_{LCIE} = \Omega_{69-BI} + 0,63 \mu\Omega$</u>
		<u>I.E.N.</u>			
1681955	0,999 975 31	Ω_{IEN}	=0,999 976 19	Ω_{69-BI}	d'ou $\Omega_{IEN} = \Omega_{69-BI} + 0,88 \mu\Omega$
1681957	0,999 973 34		=0,999 974 19		= + 0,85
1723158	0,999 978 79		=0,999 979 71		= + 0,92
	<u>0,999 975 81</u>	<u>Ω_{IEN}</u>	<u>=0,999 976 70</u>	<u>Ω_{69-BI}</u>	<u>d'ou $\Omega_{IEN} = \Omega_{69-BI} + 0,88 \mu\Omega$</u>
		<u>E.T.L.</u>			
5796	0,999 932 05	Ω_{ETL}	=0,999 931 69	Ω_{69-BI}	d'ou $\Omega_{ETL} = \Omega_{69-BI} - 0,36 \mu\Omega$
5799	0,999 896 42		=0,999 896 14		= - 0,28
31002	1,000 440 42		=1,000 439 85		= - 0,57
3905-C17	1,000 015 32		=1,000 014 92		= - 0,40
	<u>1,000 071 05</u>	<u>Ω_{ETL}</u>	<u>=1,000 070 65</u>	<u>Ω_{69-BI}</u>	<u>d'ou $\Omega_{ETL} = \Omega_{69-BI} - 0,40 \mu\Omega$</u>
		<u>N.P.L.</u>			
713	1,000 048 22	Ω_{NPL}	=1,000 048 35	Ω_{69-BI}	d'ou $\Omega_{NPL} = \Omega_{69-BI} + 0,13 \mu\Omega$
715	1,000 515 44		=1,000 515 40		= - 0,04
716	1,000 533 27		=1,000 533 20		= - 0,07
	<u>1,000 365 64</u>	<u>Ω_{NPL}</u>	<u>=1,000 365 65</u>	<u>Ω_{69-BI}</u>	<u>d'ou $\Omega_{NPL} = \Omega_{69-BI} + 0,01 \mu\Omega$</u>
		<u>I.M.M.</u>			
710	0,999 996 80	Ω_{IMM}	=0,999 997 55	Ω_{69-BI}	d'ou $\Omega_{IMM} = \Omega_{69-BI} + 0,75 \mu\Omega$
922	1,000 013 87		=1,000 014 25		= + 0,38
2523	0,999 990 93		=0,999 991 67		= + 0,74
	<u>1,000 000 53</u>	<u>Ω_{IMM}</u>	<u>=1,000 001 16</u>	<u>Ω_{69-BI}</u>	<u>d'ou $\Omega_{IMM} = \Omega_{69-BI} + 0,62 \mu\Omega$</u>

TABLEAU III

*Résultats de la 13^e comparaison
des étalons nationaux de résistance
(au 25 février 1973)*

Afrique du Sud (N.P.R.L.)	Ω_{NPRL}	= $\Omega_{69\text{-BI}}$	+ 1,11 $\mu\Omega$
République Dém. Allemande (A.S.M.W.) ..	Ω_{ASMW}	=	+ 0,93
République Féd. d'Allemagne (P.T.B.) ..	$\Omega_{\text{PTB-69}}$	=	+ 0,57
Australie (N.S.L.)	$\Omega_{\text{NSL-69}}$	=	+ 0,33
Canada (N.R.C.)	$\Omega_{\text{NRC-69}}$	=	- 0,90
États-Unis d'Amérique (N.B.S.)	Ω_{NBS}	=	+ 0,20
France (L.C.I.E.)	$\Omega_{\text{LCIE-69}}$	=	+ 0,63
Italie (I.E.N.)	Ω_{IEN}	=	+ 0,88
Japon (E.T.L.)	Ω_{ETL}	=	- 0,40
Royaume-Uni (N.P.L.)	$\Omega_{\text{NPL-69}}$	=	+ 0,01
U.R.S.S. (I.M.M.)	Ω_{IMM}	=	+ 0,62

dans laquelle

ϵ = écart entre ($\Omega_{\text{lab}} - \Omega_{69\text{-BI}}$) fourni par un étalon et la valeur moyenne admise pour le laboratoire (tableau II),

n = 34 = nombre des étalons voyageurs,

p = 11 = nombre des laboratoires,

q = nombre d'étalons voyageurs du laboratoire considéré.

Nous avons obtenu ainsi les incertitudes suivantes :

0,070 $\mu\Omega$	pour les laboratoires représentés par 2 étalons
0,057 $\mu\Omega$	" " " 3 étalons
0,049 $\mu\Omega$	" " " 4 étalons.

Conclusion

L'accord entre les "unités nationales" de résistance reste satisfaisant bien que les faibles évolutions des groupes d'étalons qui conservent l'ohm dans les différents laboratoires aient tendance à augmenter les écarts.

La très faible évolution de $\Omega_{69\text{-BI}}$ par rapport à Ω_{NSL} (déterminé en valeur absolue depuis le 1^{er} janvier 1969 en fonction d'une fréquence et d'une capacité calculée) confirme la bonne stabilité de l'"unité de résistance" conservée par le B.I.P.M.

B.- COMPARAISON DES ÉTALONS DE $10^4 \Omega$

Neuf laboratoires ont envoyé au B.I.P.M. quinze étalons de $10^4 \Omega$ pour participer à la première comparaison internationale d'étalons de valeur multiple de l'ohm. Cinq étalons étaient du type classique (on les a conservés et mesurés dans un bain d'huile en déterminant leur température au moyen de thermomètres à mercure étalonnés au B.I.P.M.) ; les dix autres, de construction plus récente, étaient du type ESI ou General Radio où l'on détermine la température de l'étalon au moyen d'un thermomètre à résistance incorporé et étalonné par le constructeur. Si l'on excepte ceux de l'I.M.M., tous ces étalons avaient des coefficients de température très faibles (de l'ordre de quelques $10^{-7}/\text{K}$).

Le B.I.P.M. ne disposant pas d'étalon de $10^4 \Omega$ de premier ordre, il a engagé dans la comparaison sa bobine de passage de 10^2 à $10^4 \Omega$ (type Hamon).

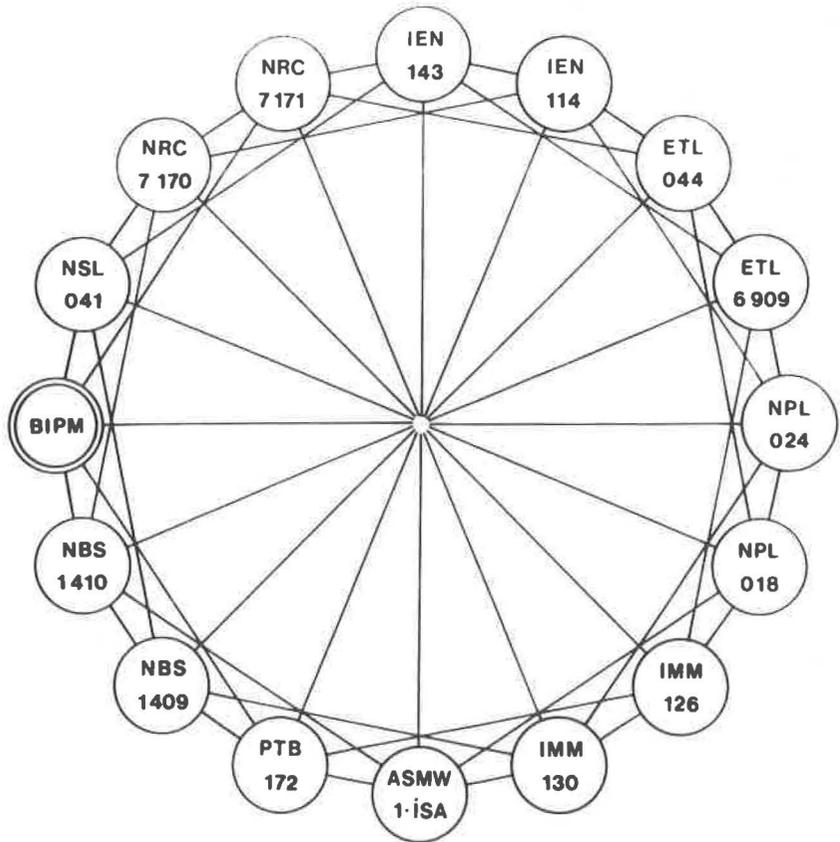


Fig. 2.- Schéma de comparaison des étalons de résistance de $10^4 \Omega$.

Les seize étalons ont été comparés deux à deux suivant un schéma simplifié (fig. 2).

Les comparaisons ont été effectuées à 20 °C par un seul observateur (D. Bournaud), au moyen d'un pont double de Thomson à bras de $10^4 \Omega$ et en procédant par substitution. Pendant les observations les étalons étaient parcourus par un courant de 5×10^{-4} A.

Les mesures "aller" ont été effectuées du 14 au 23 février 1973 et les mesures "retour" du 26 février au 9 mars. Des quarante équations qui en ont résulté on a déduit, par la méthode des moindres carrés, la valeur à 20 °C de chaque étalon voyageur, exprimée en fonction de Ω_{69-BI} , à partir de la valeur connue de la bobine de passage du B.I.P.M. Cette bobine a été étalonnée avant (2 au 9 février 1973) et après (15 au 22 mars 1973) les comparaisons.

Les valeurs des étalons voyageurs, exprimées en fonction de Ω_{69-BI} , figurent dans la colonne 2 du tableau V ; dans la colonne 1 figurent les valeurs exprimées en fonction des "unités nationales" à la date du 25 février 1973, telles qu'elles résultent des calculs reproduits dans le tableau IV.

La colonne 1 du tableau VI contient les résultats finaux de la comparaison des étalons de $10^4 \Omega$.

Précision

La résistance de l'étalon de passage de 10^2 à $10^4 \Omega$ du B.I.P.M., déterminée par l'intermédiaire de l'étalon de passage de 1 à $10^2 \Omega$, est connue en fonction de Ω_{69-BI} avec un écart-type de $7,7 \times 10^{-8}$. Les résultats de la comparaison proprement dite des étalons de $10^4 \Omega$ sont connus avec un écart-type de 6×10^{-8} . La résistance à 20 °C de chaque étalon voyageur est donc finalement exprimée en fonction de Ω_{69-BI} avec un écart-type de l'ordre de 1×10^{-7} .

Conclusion

Dans la colonne 2 du tableau VI nous avons rappelé les résultats fournis par la comparaison des étalons de 1 Ω et dans la colonne 3 nous avons calculé les différences entre ces résultats et ceux de la colonne 1. L'ordre de grandeur de la plupart de ces différences est compatible avec les incertitudes admises sur les résultats de chacune des comparaisons ;

TABLEAU IV

Valeurs à 20 °C des étalons de $10^4 \Omega$, exprimées en "unité nationale" du laboratoire d'origine, à la date du 25 février 1973

Sauf pour le N.B.S., les valeurs au 25 février 1973, date centrale de la comparaison, ont été calculées par interpolation linéaire à partir des valeurs des résistances attribuées aux étalons par les laboratoires nationaux avant et après les mesures au B.I.P.M. Pour le N.B.S., ces valeurs ont été calculées par extrapolation à partir des valeurs attribuées au 31 décembre 1972, en tenant compte des dérives des étalons indiquées dans le certificat.

		<u>A.S.M.W.</u>			
		(1)	(2)	(3)	
		10 décembre 1972	5 juin 1973	25 février 1973	
1 ISA	10 000,291	10 000,268	10 000,281	Ω_{ASMW}	
<u>P.T.B.</u>					
	7 octobre 1972	1 ^{er} août 1973			
172	9 999,983	9 999,976	9 999,979 7	Ω_{PTB}	
<u>N.S.L.</u>					
	28 novembre 1972	25 mai 1973			
804041	10 000,013 9	10 000,013 8	10 000,013 8 ₅	Ω_{NSL}	
<u>N.R.C.</u>					
	1 ^{er} décembre 1972	1 ^{er} septembre 1973			
7170	10 000,023	10 000,025	10 000,023 6	Ω_{NRC}	
7171	10 000,034	10 000,036	10 000,034 6	Ω_{NRC}	
	10 000,028 5	10 000,030 5	10 000,029 1	Ω_{NRC}	
<u>N.B.S.</u>					
	31 décembre 1972	variations en 56 jours			
1409	9 999,960 5	+ 0,001 501 x 0,153 4 =	9 999,960 7	Ω_{NBS}	
1410	9 999,979 1	+ 0,003 655 x 0,153 4 =	9 999,979 7	Ω_{NBS}	
	9 999,969 8	+ 0,002 578 x 0,153 4 =	9 999,970 2	Ω_{NBS}	

TABLEAU IV (fin)

	<u>I.E.N.</u>		
	8-12 janvier 1973	6-10 juillet 1973	25 février 1973
143	9 999,997 1	9 999,997 8	9 999,997 3 Q _{LEN}
804044	9 999,997 8	10 000,000 2	9 999,998 4
	<u>9 999,997 4₅</u>	9 999,999 0	<u>9 999,997 8₅</u> Q _{LEN}
	<u>E.T.L.</u>		
	5 décembre 1972	8 juillet 1973	
851044	10 000,013 3	10 000,019 3	10 000,015 6 Q _{ETL}
6909 CI	10 000,331 5	10 000,338 5	10 000,334 2
	<u>10 000,172 4</u>	10 000,178 9	<u>10 000,174 9</u> Q _{ETL}
	<u>N.P.L.</u>		
	24 novembre 1972	20 juin 1973	
851024	9 999,996	9 999,996	9 999,996 Q _{NPL}
852018	10 000,004	10 000,004	10 000,004
	<u>10 000,000</u>	10 000,000	<u>10 000,000</u> Q _{NPL}
	<u>I.M.M.</u>		
	décembre 1972	juin-1973	
110126	10 000,114	10 000,110	10 000,112 7 Q _{IMM}
110130	10 000,357	10 000,349	10 000,354 3
	<u>10 000,235 5</u>	10 000,229 5	<u>10 000,233 5</u> Q _{IMM}

TABLEAU V

Valeur de l' "unité nationale" de chaque laboratoire en fonction de Ω_{69-BI}
(d'après les étalons de $10^4 \Omega$)

		<u>A.S.M.W.</u>			
	(1)		(2)		(3)
1 ISA	10 000,281	$\Omega_{ASMW} = 10\ 000,293$	1	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{ASMW} = \Omega_{69-BI} + 1,21 \mu\Omega$
<u>P.T.B.</u>					
172	9 999,979 7	$\Omega_{PTB} = 9\ 999,984$	5	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{PTB} = \Omega_{69-BI} + 0,48 \mu\Omega$
<u>N.S.L.</u>					
804041	10 000,013 8 ₅	$\Omega_{NSL} = 10\ 000,019$	5 ₆	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{NSL} = \Omega_{69-BI} + 0,57 \mu\Omega$
<u>N.R.C.</u>					
7170	10 000,023 6	$\Omega_{NRC} = 10\ 000,016$	5	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{NRC} = \Omega_{69-BI} - 0,71 \mu\Omega$
7171	10 000,034 6	$\Omega_{NRC} = 10\ 000,027$	4		$= \Omega_{69-BI} - 0,72 \mu\Omega$
	10 000,029 1	$\Omega_{NRC} = 10\ 000,022$	0	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{NRC} = \Omega_{69-BI} - 0,71 \mu\Omega$
<u>N.B.S.</u>					
1409	9 999,960 7	$\Omega_{NBS} = 9\ 999,966$	6	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{NBS} = \Omega_{69-BI} + 0,59 \mu\Omega$
1410	9 999,979 7	$\Omega_{NBS} = 9\ 999,983$	9		$= \Omega_{69-BI} + 0,42 \mu\Omega$
	9 999,970 2	$\Omega_{NBS} = 9\ 999,975$	2 ₅	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{NBS} = \Omega_{69-BI} + 0,51 \mu\Omega$
<u>I.E.N.</u>					
143	9 999,997 3	$\Omega_{IEN} = 10\ 000,007$	6	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{IEN} = \Omega_{69-BI} + 1,03 \mu\Omega$
804044	9 999,998 4	$\Omega_{IEN} = 10\ 000,009$	3		$= \Omega_{69-BI} + 1,09 \mu\Omega$
	9 999,997 8	$\Omega_{IEN} = 10\ 000,008$	4	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{IEN} = \Omega_{69-BI} + 1,06 \mu\Omega$
<u>E.T.L.</u>					
851044	10 000,015 6	$\Omega_{ETL} = 10\ 000,011$	7	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{ETL} = \Omega_{69-BI} - 0,39 \mu\Omega$
6909-CI	10 000,334 2	$\Omega_{ETL} = 10\ 000,332$	1		$= \Omega_{69-BI} - 0,21 \mu\Omega$
	10 000,174 9	$\Omega_{ETL} = 10\ 000,171$	9	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{ETL} = \Omega_{69-BI} - 0,30 \mu\Omega$
<u>N.P.L.</u>					
851024	9 999,996	$\Omega_{NPL} = 10\ 000,000$	6	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{NPL} = \Omega_{69-BI} + 0,46 \mu\Omega$
852018	10 000,004	$\Omega_{NPL} = 10\ 000,008$	0		$= \Omega_{69-BI} + 0,40 \mu\Omega$
	10 000,000	$\Omega_{NPL} = 10\ 000,004$	3	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{NPL} = \Omega_{69-BI} + 0,43 \mu\Omega$
<u>I.M.M.</u>					
110126	10 000,112 7	$\Omega_{IMM} = 10\ 000,107$	2	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{IMM} = \Omega_{69-BI} - 0,55 \mu\Omega$
110130	10 000,354 3	$\Omega_{IMM} = 10\ 000,348$	9		$= \Omega_{69-BI} - 0,54 \mu\Omega$
	10 000,233 5	$\Omega_{IMM} = 10\ 000,228$	0	Ω_{69-BI}	d'où $\Omega_{IMM} = \Omega_{69-BI} - 0,54_5 \mu\Omega$

TABLEAU VI

Résultats de la comparaison des étalons
de résistance de $10^4 \Omega$
(au 25 février 1973)

	(1) comparaison des étalons de $10^4 \Omega$	(2) comparaison des étalons de 1Ω	(3) différences (2) - (1)
République Dém. Allemande (A.S.M.W.) .. Ω_{ASMW}	= Ω_{69-BI} + 1,21 $\mu\Omega$	+ 0,93 $\mu\Omega$	- 0,28 $\mu\Omega$
République Féd. d'Allemagne (P.T.B.) .. Ω_{PTB-69}	=	+ 0,57	+ 0,09
Australie (N.S.L.)	Ω_{NSL-69} =	+ 0,33	- 0,24
Canada (N.R.C.)	Ω_{NRC-69} =	- 0,71	- 0,19
Etats-Unis d'Amérique (N.B.S.)	Ω_{NBS} =	+ 0,51	- 0,31
Italie (I.B.N.)	Ω_{IEN} =	+ 1,06	- 0,18
Japon (E.T.L.)	Ω_{ETL} =	- 0,30	- 0,10
Royaume-Uni (N.P.L.)	Ω_{NPL-69} =	+ 0,43	- 0,42
U.R.S.S. (I.M.M.)	Ω_{IMM} =	- 0,54	+ 1,16

néanmoins, leur allure systématique paraît mettre en évidence une erreur (très plausible) de $0,20 \times 10^{-6}$ dans le passage de 1 à $10^4 \Omega$ effectué au B.I.P.M. Si l'on diminue de $0,20 \mu\Omega$ les nombres de la colonne 1, la coïncidence entre les résultats des deux comparaisons devient excellente pour presque tous les laboratoires. L'étalonnage des résistances de 1 Ω à partir des étalons de $10^4 \Omega$, eux-mêmes déterminés directement en valeur absolue en fonction d'une fréquence et d'une capacité calculée, ne posera donc pas de problèmes métrologiques difficiles ; cette constatation est encourageante.

(Février 1974)

APPENDICE

La Division "Electricité" du Van Swinden Laboratorium (V.S.L.) des Pays-Bas, qui est devenue un laboratoire de métrologie électrique de haute précision, a envoyé au B.I.P.M. trois étalons de résistance de 1 Ω et deux étalons de 10⁴ Ω pour qu'ils soient étalonnés durant la période de la 13^e comparaison internationale. Ces étalons de premier ordre et de la même qualité que les étalons voyageurs utilisés par les participants à la comparaison internationale, ont été transportés avec le plus grand soin (en automobile, dans des emballages spéciaux).

A.- COMPARAISON DES ÉTALONS DE 1 Ω

Immergés dans un bain d'huile dont on pouvait faire varier la température, les étalons de 1 Ω ont été étalonnés successivement à 20 °C, à 25 °C puis de nouveau à 20 °C. Dans chaque cas ils ont été comparés, au moyen d'un pont double de Thomson à bras de 1000 Ω, aux six étalons de référence primaire du B.I.P.M. conservés en permanence à 20 °C. Pendant les observations ils étaient parcourus par un courant de 0,1 A.

1. Valeurs des étalons du V.S.L., exprimées en fonction de Ω_{69-BI}

Résultats des mesures du B.I.P.M. à la date moyenne du 24 juin 1973 :

Étalon N°	à 20 °C	à 25 °C
1753639	0,999 977 14	1,000 000 61 Ω _{69-BI}
1753641	0,999 977 03	1,000 000 99
1756653	0,999 978 66	1,000 001 12

2. Valeurs à 20 °C des étalons du V.S.L., exprimées en fonction de Ω_{VSL}
(unité de résistance conservée par le V.S.L.)

Valeurs calculées par interpolation linéaire entre les résistances attribuées aux étalons par le V.S.L. avant et après les mesures au B.I.P.M.

Étalon N°	12 décembre 1972	18 juillet 1973	Valeur admise au 24 juin 1973
1753639	0,999 976 97	0,999 977 03	0,999 977 02 Ω _{VSL}
1753641	0,999 976 82	0,999 976 83	0,999 976 83
1756653	0,999 978 52	0,999 978 53	0,999 978 53

3. Valeur de Ω_{VSL} en fonction de Ω_{69-BI}

N° 1753639	0,999 977 02 Ω _{VSL}	= 0,999 977 14 Ω _{69-BI}	d'où Ω _{VSL} = Ω _{69-BI} + 0,12 μΩ
1753641	0,999 976 83	= 0,999 977 03	= + 0,20
1756653	0,999 978 53	= 0,999 978 66	= + 0,13

$$0,999 977 46 \Omega_{VSL} = 0,999 977 61 \Omega_{69-BI} \text{ d'où } \Omega_{VSL} = \Omega_{69-BI} + 0,15 \mu\Omega$$

En moyenne : Ω_{VSL} = Ω_{69-BI} + 0,15 μΩ (d'après les étalons de 1 Ω).

B.- COMPARAISON DES ÉTALONS DE $10^4 \Omega$

Les étalons de $10^4 \Omega$, type ESI, ont été comparés, à une température voisine de 20°C , à l'étalon de passage de 10^2 à $10^4 \Omega$ du B.I.P.M. et aux étalons voyageurs N° 172 de la P.T.B. et N° 1410 du N.B.S., au moyen d'un pont double à bras de $10^4 \Omega$. Pendant les observations, ils étaient parcourus par un courant de 5×10^{-4} A.

1. Valeurs à 20°C des étalons du V.S.L., exprimées en fonction de $\Omega_{69\text{-BI}}$

Résultats des mesures du B.I.P.M. à la date moyenne du 21 avril 1973 :

N° 851015	9 999,995 6	$\Omega_{69\text{-BI}}$
851036	9 999,987 1	

2. Valeurs à 20°C des étalons du V.S.L., exprimées en fonction de Ω_{VSL}

Etalon N°	12 décembre 1972	31 août 1973	Valeur admise au 24 avril 1973
851015	9 999,995 5	9 999,995 6	9 999,995 5 Ω_{VSL}
851036	9 999,988 8	9 999,989 0	9 999,988 9

3. Valeurs de Ω_{VSL} en fonction de $\Omega_{69\text{-BI}}$

N° 851015	9 999,995 5	$\Omega_{\text{VSL}} = 9 999,995 6 \Omega_{69\text{-BI}}$	d'où $\Omega_{\text{VSL}} = \Omega_{69\text{-BI}} + 0,01 \mu\Omega$
851036	9 999,988 9	$= 9 999,987 1$	$= - 0,18$

$$9 999,992 2 \Omega_{\text{VSL}} = 9 999,991 4 \Omega_{69\text{-BI}} \quad \text{d'où } \Omega_{\text{VSL}} = \Omega_{69\text{-BI}} - 0,08 \mu\Omega$$

En moyenne : $\Omega_{\text{VSL}} = \Omega_{69\text{-BI}} - 0,08 \mu\Omega$ (d'après les étalons de $10^4 \Omega$).

Conclusion

La représentation de l'ohm conservée par le Van Swinden Laboratorium est très voisine de celle que conserve le B.I.P.M., puisqu'elle n'en diffère que de $0,15 \mu\Omega$. Cependant, on constate un écart assez important entre le résultat obtenu avec les étalons de 1Ω (résultat retenu officiellement) et le résultat obtenu avec les étalons de $10^4 \Omega$. Cet écart ($0,23 \mu\Omega$) est du même ordre de grandeur que pour la plupart des laboratoires qui ont participé à la comparaison internationale (voir tableau VI), mais il est de signe opposé. Les résultats fournis par les deux étalons de $10^4 \Omega$ divergent par ailleurs de $0,19 \mu\Omega$.

(Juin 1975)

Rapport
sur la 13^e comparaison des étalons nationaux
de force électromotrice

(janvier-avril 1973)

par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

(Document CCE/75-2)

Onze laboratoires ont participé à la 13^e comparaison périodique des étalons nationaux de force électromotrice. Ainsi que nous le souhaitions, tous les laboratoires qui en avaient la possibilité ont fait parvenir au B.I.P.M. deux groupes d'étalons de transfert ; le premier constitué de piles nues, définies à 20 °C, transportées à température ambiante, le second constitué de piles maintenues en permanence à environ 30 °C dans une enceinte thermorégulée.

Plusieurs laboratoires ont aussi envoyé les thermomètres que nous désirions pour contrôler la concordance entre leur échelle de température et celle du B.I.P.M.

Au cours de son transport en fret de Tokyo à Paris, la caisse qui contenait le groupe de piles nues de l'E.T.L. a été malmenée (pied cassé, probablement à la suite d'une chute) et a subi un retournement complet (ainsi que l'indiquaient les enregistreurs placés à l'intérieur). Cependant, le dispositif de suspension à la Cardan dont était équipée la caisse ayant rempli son office, les piles n'ont pas paru avoir souffert de cet accident. Un examen minutieux effectué dès leur arrivée n'a révélé aucun dommage apparent et par la suite leur comportement a toujours été satisfaisant.

Sans en avoir la preuve, nous pensons que certains autres colis qui ont voyagé sans surveillance (par exemple l'enceinte

Liste des étalons nationaux de force électromotrice
qui ont participé à la 13^e comparaison

<u>Laboratoires</u>	<u>Etalons N^{os}</u>	<u>Arrivée B.I.P.M.</u>	<u>Départ B.I.P.M.</u>	<u>Mode de transport</u>	
N.P.R.L. (Afrique du Sud)	31896 31946 32039 32041	enceinte à 30 °C	11 octobre 1972	16 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
A.S.M.W.* (République Démocratique Allemande)	K.35 K.57 K.101 K.105 K.109 M.542		19 décembre 1972	17 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
P.T.B. (République Fédérale d'Allemagne)	66095 66105 66108 66110 66111	à 20 °C	7 décembre 1972	23 mai 1973	aller et retour par train accompagnés
	37518 37731 37730 38043		enceinte à 30 °C	30 janvier 1973	26 mars 1973	aller par train retour par train accompagnés
N.S.L. (Australie)	1102 1103 1105 1107 1109 1111	à 20 °C	10 décembre 1972	18 avril 1973	aller et retour par avion en fret
	1-2-3-4		enceinte à 30 °C	21 janvier 1973	28 mars 1973	aller et retour par avion en fret
N.R.C. (Canada)	3217 3218 65063 66226	à 20 °C	13 décembre 1972	4 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
	1-2-3-4		enceinte à 30 °C		
N.B.S. (Etats-Unis d'Amérique)	1172 1177 1196 1197 1199 1200	à 20 °C	20 octobre 1972	30 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
	1-2-3-4		enceinte à 30 °C	24 janvier 1973	29 mars 1973	aller et retour par avion en fret
L.C.I.E. (France)	7353 7356 7357 7358 7359	à 20 °C	13 décembre 1972	10 mai 1973	aller et retour en automobile accompagnés
	1-2-3-4		enceinte à 30 °C	2 février 1973	23 mars 1973	aller et retour en automobile accompagnés

* Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, nouveau nom du Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung (D.A.M.W.).

I.E.N. (Italie)	1957	}	à 20 °C	28 novembre 1972	2 mai 1973	aller et retour par avion accompagnés
	1958					
	1959					
	1960					
	1961					
1964						
E.T.L. (Japon)	37219	}	enceinte à 30 °C	19 janvier 1973	16 avril 1973	aller et retour par avion en fret
	37582					
	38326					
	38338					
E.T.L. (Japon)	A.71	}	à 20 °C	14 décembre 1972	9 mai 1973	aller et retour par avion en fret
	A.78					
	A.82					
	1047					
	1054					
1008						
N.P.L. (Royaume-Uni)	962	}	enceinte à 30 °C	18 janvier 1973	9 mai 1973	aller et retour par avion en fret
	959					
	956					
	A.1997					
	A.2019					
N.P.L. (Royaume-Uni)	2952	}	à 20 °C	18 décembre 1972	16 avril 1973	aller et retour par avion accompagnés
	2953					
	2954					
	2958					
	2959					
	2960					
	3507					
	3514					
	5309					
	6203					
1-2-3-4	enceinte à 30 °C		15 janvier 1973	27 mars 1973	aller et retour par avion accompagnés	
I.M.M. (U.R.S.S.)	5641	}	à 20 °C	23 janvier 1973	1 ^{er} juin 1973	aller et retour par avion accompagnés
	5648					
	5649					
	5651					
	5661					

du N.S.L.) ont aussi été manipulés trop rudement.

Dès leur arrivée au B.I.P.M. les piles nues ont été immergées dans le bain d'huile de paraffine à $20 \pm 0,05$ °C (uniformité de la température meilleure que 0,000 5 K) qui contient les piles de référence primaire du B.I.P.M. (1).

Les groupes de piles ont été comparés deux à deux, chaque groupe rassemblant les piles nues d'un laboratoire ou les piles contenues dans une enceinte. Les comparaisons ont été effectuées en utilisant l'un des trois schémas suivants, selon que les groupes à comparer comportaient le même nombre, ou un nombre différent de piles (fig. 1).

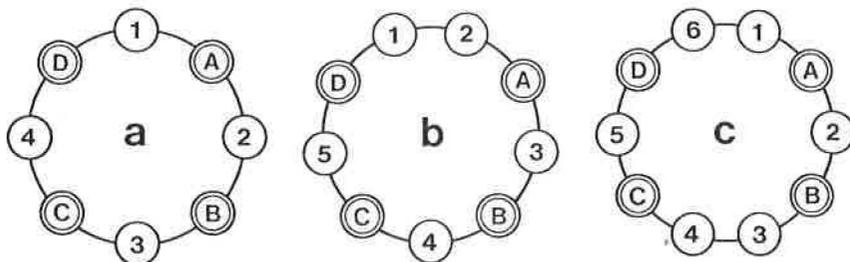


Fig. 1.- Schéma de comparaison de deux groupes de piles.

- a. Cas de 2 groupes comprenant le même nombre de piles (4 piles chacun par exemple)
- b. Cas de 2 groupes comprenant des nombres de piles qui diffèrent de 1 unité (4 et 5 par exemple)
- c. Cas de 2 groupes comprenant des nombres de piles qui diffèrent de 2 unités (4 et 6 par exemple).

Les comparaisons ont été faites par un seul observateur. Chaque mesure a été faite deux fois, à des dates symétriques par rapport au 25 février 1973, date centrale commune à toutes les comparaisons décrites ci-après.

Pour exprimer la force électromotrice des piles voyageuses au 25 février 1973, en fonction de la représentation du volt conservée dans le laboratoire d'origine, on a interpolé linéairement entre les valeurs attribuées à ces piles par le laboratoire avant et après la comparaison internationale (tableau I).

(1) Procès-Verbaux C.I.P.M., 36, 1968, p. 53-54.

1. *Comparaison des piles placées dans le bain d'huile à 20 °C*

Onze groupes voyageurs et deux groupes du B.I.P.M. (compre-
nant chacun 6 piles) ont participé à cette comparaison. Les
treize groupes ont été comparés deux à deux dans toutes les
combinaisons possibles. Les soixante-dix-huit séries "aller" ont
été effectuées du 8 au 27 janvier 1973 et du 12 au 23 février (à
cause de l'arrivée tardive des piles de l'I.M.M.), à une tempé-
rature moyenne de 19,984 °C, et les soixante-dix-huit séries
"retour" du 26 février au 9 mars et du 26 mars au 14 avril, à
une température moyenne de 20,008 °C.

Au milieu des comparaisons (25 février 1973) on a modifié
la position des piles dans le bain d'huile en faisant pivoter
d'un demi-tour les supports des chevalets, de façon à ramener
près du centre les piles placées à la périphérie du bain (et
réciproquement) et à inverser la position des pôles de chaque
pile par rapport au sens d'écoulement des courants d'huile ; on
élimine ainsi l'influence d'éventuels gradients de température
entre le bord et le centre du bain.

Les calculs ont été effectués directement avec les
résultats obtenus sur chaque pile (sans considération des grou-
pes) en traitant par la méthode des moindres carrés les
résultats des 852 comparaisons individuelles (moyennes des
mesures "aller" et "retour"). A partir des valeurs connues des
12 piles du B.I.P.M. on a exprimé celles des piles voyageuses en
fonction de V_{69-BI} . Ces valeurs sont données dans la colonne 2
du tableau II ; elles sont connues avec un écart-type de
0,025 μ V.

La colonne 3 du tableau II donne la relation entre $V_{Lab.}$ et
 V_{69-BI} fournie par chaque pile voyageuse ; la colonne 1 du
tableau IV donne la relation moyenne obtenue pour chaque labora-
toire.

2. *Comparaison des piles conservées à 30 °C dans quatre des
enceintes thermorégulées à l'ensemble des piles de référence
du B.I.P.M. définies à 20 °C*

Ces comparaisons sont celles pour lesquelles les risques
d'erreurs systématiques sont les plus nombreux : erreur d'éta-
lonnage du potentiomètre mais surtout erreur dans la mesure de
la température du bain d'huile contenant les piles du B.I.P.M.
Pour bien connaître cette température nous avons utilisé simul-
tanément trois thermomètres à résistance de platine, étalonnés
respectivement à la P.T.B., au N.P.L. et au B.I.P.M., dont les
positions dans le bain ont été régulièrement permutées ; ils ont

TABLEAU I

Valeurs des piles étalons, exprimées en "unité nationale",
à la date du 25 février 1973

Les valeurs au 25 février 1973, date centrale de la comparaison, ont
été calculées par interpolation linéaire entre les valeurs attribuées aux
piles par les laboratoires nationaux avant et après les mesures au B.I.P.M.

A - PILES NUES

A.S.M.W.

	14 décembre 1972	14 juin 1973	25 février 1973	
K.35	1,018 574 0	1,018 574 0	1,018 574 00	V _{ASMW}
K.57	641 8	642 0	641 88	
K.101	599 7	599 4	599 58	
K.105	600 8	600 8	600 80	
K.109	597 1	596 7	596 94	
M.542	635 4	634 7	635 12	

P.T.B.

	22 novembre 1972	22 juin 1973	1,018 608 70	V _{PTB}
66095	1,018 608 68	1,018 608 73	608 70	
66105	607 14	607 20	607 17	
66108	605 81	605 93	605 86	
66110	605 70	605 79	605 74	
66111	606 47	606 58	606 52	

N.S.L.

	24 novembre 1972	27 juillet 1973	1,018 620 81	V _{NSL}
1102	1,018 621 29	1,018 620 02	620 81	
1103	622 08	621 55	621 88	
1105	615 45	614 72	615 17	
1107	617 98	617 28	617 71	
1109	616 86	616 64	616 78	
1111	615 35	613 55	614 67	

N.R.C.

	12 décembre 1972	14 septembre 1973	1,018 595 14	V _{NRC}
3217	1,018 594 6	1,018 596 6	595 14	
3218	590 4	593 3	591 19	
65063	607 0	607 1	607 03	
66226	621 3	622 0	621 49	

N.B.S.

	12-19 octobre 1972	16/8-27/9/73 x30/8- xx23/8- "	1,018 661 47	V _{NBS}
1177	1,018 661 56	1,018 661 34	661 47	
1196	637 36	636 95	637 20	
1197	632 29	631 88	632 20	
1199	636 48	635 51	636 08	
1200	633 88	633 68	633 80	

* On entend par "unité nationale" la représentation du volt conservée par
chaque laboratoire au moyen de piles. Bien que cette expression soit impropre,
elle a l'avantage d'être brève et bien comprise par tous les intéressés.

TABLEAU I (suite)

			<u>L.C.I.E.</u>			
15 novembre 1972			9 juin 1973		25 février 1973	
7353	1,018	635 74	1,018	635 52	1,018	635 63
7356		626 09		621 63		623 88
7357		627 90		624 40		626 17
7358		618 62		617 48		618 06
7359		626 10		623 28		624 70

			<u>I.E.N.</u>			
20-24 novembre 1972			21-25 mai 1973			
1957	1,018	611 63	1,018	612 35	1,018	612 01
1958		612 51		614 02		613 30
1959		611 22		612 69		611 99
1960		611 92		613 06		612 52
1961		610 00		612 49		611 30
1964		610 56		613 58		612 14

			<u>E.T.L.</u>			
25 novembre 1972			22 juin 1973			
A.71	1,018	620 26	1,018	621 22	1,018	620 68
A.78		623 19		624 28		623 67
A.82		621 78		622 58		622 13
1047		630 13		630 74		630 40
1054		634 29		635 11		634 65
1008		627 92		628 80		628 31

			<u>N.P.L.</u>			
9 décembre 1972			16 juin 1973			
2952	1,018	616 0	1,018	616 1	1,018	616 04
2953		616 3		616 6		616 42
2954		612 1		612 2		612 14
2958		614 6		614 1		614 39
2959		615 9		616 4		616 11
2960		618 5		618 1		618 33
3507		599 0		599 2		599 08
3514		597 3		597 6		597 42
5309		616 1		616 1		616 10
6203		656 1		656 4		656 22

			<u>I.M.M.</u>			
octobre 1972			juillet - août 1973			
5641	1,018	636 6	1,018	634 6	1,018	635 76
5648		637 6		635 5		636 72
5649		637 5		636 7		637 16
5651		635 8		634 8		635 38
5661		637 0		635 4		636 33

TABLEAU I (suite)

B - FILES DANS DES ENCEINTES THERMOREGULEES

		<u>N.P.R.L.</u>		<u>N.P.R.L.</u>			
		1 ^{er} octobre 1972		1 ^{er} juin 1973		25 février 1973	
		à 29,995 °C	à 30,000 °C	à 29,995 °C	à 30,000 °C	à 30,000 °C	
1	31896	1,018 148 9	1,018 148 62	1,018 148 5	1,018 148 22	1,018 148 38	V _{NPRL}
2	31946	147 5	147 22	147 0	146 72	146 92	
3	32039	146 8	146 52	146 4	146 12	146 28	
4	32041	145 9	145 62	145 4	145 12	145 32	
<u>P.T.B.</u>							
		26 janvier 1973		13 mai 1973			
1	S/N 37518	1,018 139 23		1,018 138 71	1,018 139 08	V _{PTB}	
2	S/N 37731	141 33		141 32	141 33		
3	S/N 37730	141 55		141 39	141 51		
4	S/N 38043	140 52		140 64	140 55		
<u>N.S.L.</u>							
		28 décembre 1972		27 juillet 1973			
1		1,018 152 52		1,018 153 04	1,018 152 67	V _{NSL}	
2		155 20		156 48	155 56		
3		154 62		154 36	154 55		
4		154 13		155 16	154 42		
<u>N.R.C.</u>							
		20 novembre 1972		11 juillet 1973			
		à 29,999 °C	à 30,000 °C	à 29,999 °C	à 30,000 °C		
1		1,018 126 9	1,018 126 84	1,018 127 2	1,018 127 14	1,018 126 96	V _{NRC}
2		140 3	140 24	140 6	140 64	140 36	
3		137 1	137 04	137 2	137 14	137 08	
4		128 5	128 44	128 9	128 84	128 61	
<u>N.B.S.</u>							
		18-23 janvier 73		18-25 avril 1973			
1		1,018 140 09		1,018 139 94	1,018 140 03	V _{NBS}	
2		139 95		140 15	140 03		
3		139 79		139 77	139 78		
4		136 66		136 86	136 74		
<u>L.C.I.E.</u>							
		31 janvier 1973		28 mars 1973			
1	35864	1,018 128 67		1,018 128 85	1,018 128 75	V _{LCIE}	
2	35904	129 47		129 60	129 53		
3	35909	130 17		130 35	130 25		
4	35912	128 17		128 30	128 23		
<u>I.E.N.</u>							
		15-18 janvier 1973		3-7 mai 1973			
		30,005 °C	à 30,000 °C	30,010 °C	à 30,000 °C		
1	37219	1,018 143 82	1,018 144 10	1,018 143 20	1,018 143 77	1,018 143 98	V _{IEN}
2	37582	144 86	145 14	144 79	145 36	145 22	
3	38326	147 56	147 84	146 78	147 35	147 66	
4	38338	143 74	144 02	143 12	143 69	143 90	

TABLEAU I (fin)

E.T.L.

10 janvier 1973			2 juillet 1973			25 février 1973		
29,922°C(Hg)			29,930°C(Hg)			à 29,922 °C		
1	962	1,018 168 12	1,018 167 27	1,018 167 72	1,018 168 01	V _{ETL}		
2	959	168 79	167 22	167 67	168 49			
3	956	168 87	167 58	168 03	168 65			
4	A1997	144 72	144 39	144 84	144 75			
5	A2019	148 44	147 45	147 90	148 30			

N.P.L.

10 janvier 1973			3 avril 1973			
à 30,000 °C			à 30,000 °C			
1		1,018 126 04	1,018 125 78	1,018 125 90	V _{NPL}	
2		124 59	124 30	124 43		
3		124 80	124 46	124 61		
4		123 70	123 24	123 45		

TABLEAU II

Valeur de chaque "unité nationale" en fonction de V_{69-BI}

(Piles nues)

Les piles qui ne figurent pas dans ce tableau ont été éliminées à la demande du laboratoire d'origine parce que leur valeur "retour" montrait qu'elles avaient subi des dommages en cours de transport.

A.S.M.W.

	(1)		(2)		(3)
K.35	1,018 574 00	$V_{ASMW} =$	1,018 574 56	V_{69-BI} d'où $V_{ASMW} =$	$V_{69-BI} + 0,55 \mu V$
K.101	599 58	$=$	600 22	$=$	+ 0,63
K.105	600 80	$=$	601 25	$=$	+ 0,44
K.109	596 94	$=$	597 30	$=$	+ 0,35
M.542	635 12	$=$	635 70	$=$	+ 0,57
	<u>1,018 601 29</u>	$V_{ASMW} =$	<u>1,018 601 81</u>	V_{69-BI} d'où $V_{ASMW} =$	<u>$V_{69-BI} + 0,51 \mu V$</u>
				Ecart-type de la moyenne	($\epsilon = 0,050$)

P.T.B.

66095	1,018 608 70	$V_{PTB} =$	1,018 610 14	V_{69-BI} d'où $V_{PTB} =$	$V_{69-BI} + 1,41 \mu V$
66105	607 17	$=$	608 56	$=$	+ 1,36
66108	605 86	$=$	607 27	$=$	+ 1,38
66110	605 74	$=$	607 13	$=$	+ 1,36
66111	606 52	$=$	607 93	$=$	+ 1,38
	<u>1,018 606 80</u>	$V_{PTB} =$	<u>1,018 608 21</u>	V_{69-BI} d'où $V_{PTB} =$	<u>$V_{69-BI} + 1,38 \mu V$</u>
					($\epsilon = 0,009$)

N.S.L.

1102	1,018 620 81	$V_{NSL} =$	1,018 621 79	V_{69-BI} d'où $V_{NSL} =$	$V_{69-BI} + 0,96 \mu V$
1103	621 88	$=$	623 10	$=$	+ 1,20
1105	615 17	$=$	615 87	$=$	+ 0,69
1107	617 71	$=$	618 82	$=$	+ 1,09
1109	616 78	$=$	617 82	$=$	+ 1,02
1111	614 67	$=$	615 60	$=$	+ 0,91
	<u>1,018 617 84</u>	$V_{NSL} =$	<u>1,018 618 83</u>	V_{69-BI} d'où $V_{NSL} =$	<u>$V_{69-BI} + 0,98 \mu V$</u>
					($\epsilon = 0,071$)

N.R.C.

3217	1,018 595 14	$V_{NRC} =$	1,018 595 19	V_{69-BI} d'où $V_{NRC} =$	$V_{69-BI} + 0,05 \mu V$
65063	607 03	$=$	607 36	$=$	+ 0,32
66226	621 49	$=$	621 61	$=$	+ 0,12
	<u>1,018 607 89</u>	$V_{NRC} =$	<u>1,018 608 05</u>	V_{69-BI} d'où $V_{NRC} =$	<u>$V_{69-BI} + 0,16 \mu V$</u>
					($\epsilon = 0,081$)

N.B.S.

1177	1,018 661 48	$V_{NBS} =$	1,018 661 54	V_{69-BI} d'où $V_{NBS} =$	$V_{69-BI} + 0,06 \mu V$
1196	637 21	$=$	637 15	$=$	- 0,06
1197	632 13	$=$	632 08	$=$	- 0,05
1199	636 09	$=$	636 02	$=$	- 0,07
1200	633 80	$=$	633 63	$=$	- 0,17
	<u>1,018 640 14</u>	$V_{NBS} =$	<u>1,018 640 08</u>	V_{69-BI} d'où $V_{NBS} =$	<u>$V_{69-BI} - 0,06 \mu V$</u>
					($\epsilon = 0,037$)

TABLEAU II (fin)

L.C.I.E.

7353	1,018	635	63	$V_{LCIE} =$	1,018	636	69	V_{69-BI}	d'où	$V_{LCIE} =$	$V_{69-BI} +$	1,04 μV
7356		623	88	$=$		624	90			$=$	$+ 1,00$	
7357		626	17	$=$		627	72			$=$	$+ 1,52$	
7358		618	06	$=$		618	66			$=$	$+ 0,59$	
7359		624	70	$=$		625	61			$=$	$+ 0,89$	
<hr/>												
	1,018	625	69	$V_{LCIE} =$	1,018	626	72	V_{69-BI}	d'où	$V_{LCIE} =$	$V_{69-BI} +$	1,01 μV
($\epsilon = 0,150$)												

I.E.N.

1958	1,018	613	30	$V_{IEN} =$	1,018	614	36	V_{69-BI}	d'où	$V_{IEN} =$	$V_{69-BI} +$	1,04 μV
1959		611	99	$=$		613	09			$=$	$+ 1,08$	
1960		612	52	$=$		613	42			$=$	$+ 0,88$	
1961		611	30	$=$		612	40			$=$	$+ 1,08$	
1964		612	14	$=$		613	48			$=$	$+ 1,32$	
<hr/>												
	1,018	612	25	$V_{IEN} =$	1,018	613	35	V_{69-BI}	d'où	$V_{IEN} =$	$V_{69-BI} +$	1,08 μV
($\epsilon = 0,070$)												

E.T.L.

A.71	1,018	620	68	$V_{ETL} =$	1,018	622	56	V_{69-BI}	d'où	$V_{ETL} =$	$V_{69-BI} +$	1,85 μV
A.78		623	67	$=$		625	49			$=$	$+ 1,79$	
A.82		622	13	$=$		624	01			$=$	$1,85$	
1047		630	40	$=$		632	33			$=$	$+ 1,89$	
1054		634	65	$=$		636	23			$=$	$+ 1,56$	
1008		628	31	$=$		630	23			$=$	$+ 1,88$	
<hr/>												
	1,018	626	64	$V_{ETL} =$	1,018	628	47	V_{69-BI}	d'où	$V_{ETL} =$	$V_{69-BI} +$	1,80 μV
($\epsilon = 0,051$)												

N.P.L. (1)

2952	1,018	616	04	$V_{NPL} =$	1,018	617	01	V_{69-BI}	d'où	$V_{NPL} =$	$V_{69-BI} +$	0,95 μV
2953		616	42	$=$		617	51			$=$	$+ 1,07$	
2954		612	14	$=$		613	10			$=$	$+ 0,94$	
2960		618	33	$=$		619	51			$=$	$+ 1,16$	
3507		599	08	$=$		600	22			$=$	$+ 1,12$	
3514		597	42	$=$		598	72			$=$	$+ 1,28$	
5309		616	10	$=$		617	29			$=$	$+ 1,17$	
6203		656	22	$=$		657	18			$=$	$+ 0,94$	
<hr/>												
	1,018	616	47	$V_{NPL} =$	1,018	617	57	V_{69-BI}	d'où	$V_{NPL} =$	$V_{69-BI} +$	1,08 μV
($\epsilon = 0,045$)												

I.M.M.

5641	1,018	635	76	$V_{IMM} =$	1,018	640	04	V_{69-BI}	d'où	$V_{IMM} =$	$V_{69-BI} +$	4,20 μV
5648		636	72	$=$		640	72			$=$	$+ 3,93$	
5649		637	16	$=$		641	91			$=$	$+ 4,66$	
5651		635	38	$=$		639	69			$=$	$+ 4,23$	
5661		636	33	$=$		640	18			$=$	$+ 3,78$	
<hr/>												
	1,018	636	27	$V_{IMM} =$	1,018	640	51	V_{69-BI}	d'où	$V_{IMM} =$	$V_{69-BI} +$	4,16 μV
($\epsilon = 0,151$)												

(1) Le N.P.L. ayant fait parvenir 10 piles voyageuses, celles-ci ont été réparties en deux groupes (NPL 1 et NPL 2) qui ont été traités comme des groupes indépendants.

TABLEAU III

Valeur de chaque "unité nationale" en fonction de V_{69-BI} (Piles dans des enceintes thermorégulées)

Les piles qui ne figurent pas dans ce tableau ont été éliminées à la demande du laboratoire d'origine parce que leur valeur "retour" montrait qu'elles avaient subi des dommages en cours de transport.

N.P.R.L.

	(1)	(2)	(3)
1	31896	1,018 148 38	$V_{NPRL} = 1,018 149 89 V_{69-BI}$
2	31946	146 92	$d'ou V_{NPRL} = V_{69-BI} + 1,48 \mu V$
3	32039	146 28	$= 148 53$
4	32041	145 32	$= 147 85$
			$= 147 01$
			$= + 1,58$
			$= + 1,54$
			$= + 1,66$
	1,018 146 72	$V_{NPRL} = 1,018 148 32 V_{69-BI}$	$d'ou V_{NPRL} = V_{69-BI} + 1,57 \mu V$

Ecart-type de la moyenne ($\epsilon = 0,038$)P.T.B.

2	37731	1,018 141 33	$V_{PTB} = 1,018 142 68 V_{69-BI}$
3	37730	141 51	$d'ou V_{PTB} = V_{69-BI} + 1,33 \mu V$
4	38043	140 55	$= 142 88$
			$= 141 93$
			$= + 1,35$
			$= + 1,36$
	1,018 141 13	$V_{PTB} = 1,018 142 50 V_{69-BI}$	$d'ou V_{PTB} = V_{69-BI} + 1,35 \mu V$

($\epsilon = 0,009$)N.S.L.

2	1,018 155 56	$V_{NSL} = 1,018 157 60 V_{69-BI}$	$d'ou V_{NSL} = V_{69-BI} + 2,00 \mu V$
3	154 55	$= 156 56$	$= 1,97$
4	154 42	$= 155 94$	$= + 1,49$
	1,018 154 84	$V_{NSL} = 1,018 156 70 V_{69-BI}$	$d'ou V_{NSL} = V_{69-BI} + 1,82 \mu V$

($\epsilon = 0,165$)N.R.C.

1	1,018 126 96	$V_{NRC} = 1,018 126 78 V_{69-BI}$	$d'ou V_{NRC} = V_{69-BI} - 0,18 \mu V$
2	140 36	$= 140 20$	$= 0,16$
3	137 08	$= 136 86$	$= - 0,22$
4	128 61	$= 128 44$	$= - 0,17$
	1,018 133 25	$V_{NRC} = 1,018 133 07 V_{69-BI}$	$d'ou V_{NRC} = V_{69-BI} - 0,18 \mu V$

($\epsilon = 0,013$)N.B.S.

1	1,018 140 03	$V_{NBS} = 1,018 140 10 V_{69-BI}$	$d'ou V_{NBS} = V_{69-BI} + 0,07 \mu V$
2	140 03	$= 140 17$	$= 0,14$
3	139 78	$= 139 94$	$= + 0,16$
4	136 74	$= 136 85$	$= + 0,11$
	1,018 139 14 ₅	$V_{NBS} = 1,018 139 265 V_{69-BI}$	$d'ou V_{NBS} = V_{69-BI} + 0,12 \mu V$

($\epsilon = 0,019$)L.C.I.E.

1	35864	1,018 128 75	$V_{LCIE} = 1,018 131 32 V_{69-BI}$	$d'ou V_{LCIE} = V_{69-BI} + 2,52 \mu V$
2	35904	129 53	$= 132 15$	$= 2,57$
3	35909	130 25	$= 132 90$	$= + 2,60$
4	35912	128 23	$= 130 77$	$= + 2,49$
	1,018 129 19	$V_{LCIE} = 1,018 131 78 V_{69-BI}$	$d'ou V_{LCIE} = V_{69-BI} + 2,54 \mu V$	

($\epsilon = 0,025$)

TABLEAU III (fin)

<u>I.E.N.</u>												
1	37219	1,018	143	98	$V_{IEN} = 1,018$	145	22	V_{69-BI}	d'où $V_{IEN} = V_{69-BI} + 1,22 \mu V$			
2	37582		145	22	=	146	56	=	+ 1,32			
3	38326		147	66	=	148	77	=	+ 1,09			
4	38338		143	90	=	144	79	=	+ 0,87			
					$1,018$	145	19	$V_{IEN} = 1,018$	146	33_5	V_{69-BI}	d'où $V_{IEN} = V_{69-BI} + 1,12 \mu V$
($\epsilon = 0,097$)												

<u>E.T.L.</u>												
1	962	1,018	168	01	$V_{ETL} = 1,018$	169	38	V_{69-BI}	d'où $V_{ETL} = V_{69-BI} + 1,35 \mu V$			
2	959		168	49	=	169	18	=	+ 0,68			
3	956		168	65	=	169	63	=	+ 0,96			
4	A1997		144	75	=	146	27	=	+ 1,49			
5	A2019		148	30	=	149	79	=	+ 1,46			
					$1,018$	159	64	$V_{ETL} = 1,018$	160	85	V_{69-BI}	d'où $V_{ETL} = V_{69-BI} + 1,19 \mu V$
($\epsilon = 0,158$)												

<u>N.P.L.</u>												
1		1,018	125	90	$V_{NPL} = 1,018$	127	13	V_{69-BI}	d'où $V_{NPL} = V_{69-BI} + 1,21 \mu V$			
2			124	43	=	125	67	=	+ 1,22			
3			124	61	=	125	88	=	+ 1,25			
4			123	45	=	124	71	=	+ 1,24			
					$1,018$	124	60	$V_{NPL} = 1,018$	125	85	V_{69-BI}	d'où $V_{NPL} = V_{69-BI} + 1,23 \mu V$
($\epsilon = 0,009$)												

TABLEAU IV

Résumé des résultats fournis par les piles nues
et par les piles dans une enceinte

$$\Delta = V_{Lab.} - V_{69-BI}$$

	Piles nues (1)	Piles dans enceinte (2)	Différence (3)
N.P.R.L.	-	+ 1,57 μV	-
A.S.M.W.	+ 0,51 μV	-	-
P.T.B.	+ 1,38	+ 1,35	+ 0,03 μV
N.S.L.	+ 0,98	+ 1,82	- 0,84
N.R.C.	+ 0,16	- 0,18	+ 0,34
N.B.S.	- 0,06	+ 0,12	- 0,18
L.C.I.E.	+ 1,01	+ 2,54	- 1,53
I.E.N.	+ 1,08	+ 1,12	- 0,04
E.T.L.	+ 1,80	+ 1,19	+ 0,61
N.P.L.	+ 1,08	+ 1,23	- 0,15
I.M.M.	+ 4,16	-	-

toujours donné des résultats en accord à quelques 10^{-4} K près (avec des écarts systématiques, par rapport à leur moyenne, respectivement égaux à + 2, + 1 et - 3 x 10^{-4} K).

Les piles contenues dans les enceintes du N.P.R.L. (4 piles), du N.B.S. (4 piles), de l'E.T.L. (5 piles) et du B.I.P.M. (6 piles) ont été comparées aux 54 piles réparties dans les 10 groupes du B.I.P.M. conservés à 20 °C. Les comparaisons ont été effectuées aux époques suivantes :

	Mesures "aller"	Mesures "retour"
NPRL	6-20 novembre 1972	8-19 avril 1973
BIPM N° 3	12 janvier-11 février 1973	10 mars-7 avril 1973
NBS N° 2	1 ^{er} -22 février 1973	27 février-21 mars 1973
ETL N° 2	2-24 février 1973	26 février-21 mars 1973

On en a déduit la force électromotrice des piles conservées à 30 °C, exprimée en fonction de V_{69-BI} , avec un écart-type de 0,054 μ V.

3. Comparaison des piles conservées à 30 °C dans les enceintes

Les dix enceintes, dont celle du B.I.P.M., ont été comparées deux à deux dans toutes les combinaisons possibles. Les quarante-cinq séries "aller" ont été effectuées du 12 au 23 février 1973 et les quarante-cinq séries "retour" du 26 février au 9 mars. Les 387 équations de condition (moyenne des mesures "aller" et "retour") résultant de ces comparaisons ont été traitées par la méthode des moindres carrés ; connaissant les forces électromotrices déterminées ci-dessus pour les dix-neuf piles des enceintes N.P.R.L., B.I.P.M. N° 3, N.B.S. N° 2 et E.T.L. N° 2, on en déduit celles des autres piles. Les résultats obtenus figurent dans la colonne 2 du tableau III. Ils sont connus avec un écart-type de 0,030 μ V.

La colonne 3 du tableau III donne la relation entre $V_{Lab.}$ et V_{69-BI} fournie par chaque pile voyageuse, tandis que dans la colonne 2 du tableau IV figure la relation moyenne qui en résulte pour chaque laboratoire.

4. Comparaison des deux groupes voyageurs de chaque laboratoire

Ces comparaisons ont été effectuées pour étudier la stabilité relative des deux groupes et pour contrôler la cohérence de l'ensemble de nos comparaisons, mais leurs résultats ne sont pas intervenus dans les calculs finaux de la 13^e comparaison internationale.

Les deux groupes de chaque laboratoire ont été comparés entre eux cinq ou six fois, à des dates symétriquement placées par rapport au 25 février 1973. Les dérives relatives journalières (supposées linéaires) et les différences au 25 février 1973 sont données dans les colonnes 1 et 2 du tableau V. Dans la colonne 3 du tableau V figurent les différences déduites des valeurs attribuées aux groupes à la suite des comparaisons du paragraphe 1 et du paragraphe 3. Les nombres des colonnes 2 et 3 devraient être égaux ; les écarts calculés dans la colonne 4 donnent l'ordre de grandeur de l'erreur de fermeture de l'ensemble de nos mesures.

RÉSULTATS

Les résultats définitifs de la 13^e comparaison périodique des étalons nationaux de force électromotrice sont donnés dans la colonne 1 du tableau VI.

Pour les laboratoires qui ont envoyé au B.I.P.M. deux groupes de piles, le résultat retenu est celui qui a été indiqué par le laboratoire national.

La colonne 2 du tableau VI rappelle les résultats de la 12^e comparaison (1^{er} février 1970).

PRÉCISION

En ce qui concerne les mesures du B.I.P.M., les calculs conduisent aux estimations suivantes :

- écart-type sur la valeur moyenne, exprimée en V_{69-BI} , de chaque groupe de piles définies à 20 °C : $\sigma_1 = 0,016 \mu V$;
- écart-type sur la valeur moyenne, exprimée en V_{69-BI} , de chaque groupe de piles conservées dans une enceinte à 30 °C : $\sigma_2 = 0,028 \mu V$;
- écart-type sur la différence mesurée entre le groupe à 20 °C et le groupe à 30 °C de chaque laboratoire : $\sigma_3 = 0,025 \mu V$.

En composant ces trois écarts-types on obtient l'écart-type sur l'erreur de fermeture de l'ensemble des mesures effectuées au B.I.P.M. : $\sigma = 0,041 \mu V$. Si l'on compare cet écart-type aux écarts qui figurent dans la colonne 4 du tableau V, on constate pour trois des huit laboratoires un désaccord qui traduit probablement l'existence d'une petite erreur systématique en ce qui les concerne. A notre avis, cette erreur est due à une non-linéarité de la dérive des étalons durant leur séjour au B.I.P.M.

Mais le facteur principal qui limite la précision des résultats de cette comparaison triennale demeure, comme par le

TABEAU V

*Résultats
des comparaisons des groupes à 20 et à 30 °C
de chaque laboratoire*

Ces résultats ont été obtenus en tenant compte de toutes les piles envoyées au B.I.P.M. par les laboratoires. Certaines piles ayant été éliminées par la suite à la demande des laboratoires, les nombres de la colonne 3 peuvent différer de ceux que l'on déduit des valeurs données dans les colonnes 2 des tableaux II et III.

	Dérive relative journalière (1)	Différence mesurée (2)	Différence calculée (3)	[2] - [3] (4)
P.T.B.	+ 0,001 96 $\mu\text{V/d}$	466,218 μV	466,273 μV	- 0,055 μV
N.S.L.	+ 0,001 00	462,394	462,348	+ 0,046
N.R.C.	+ 0,001 35	471,579	471,554	+ 0,025
N.B.S.	- 0,001 94	504,507	504,620	- 0,113
L.C.I.E.	- 0,010 26	494,829	494,935	- 0,106
I.E.N.	+ 0,005 26	466,839	466,844	- 0,005
E.T.L.	+ 0,005 42	467,584	467,627	- 0,043
N.P.L.	- 0,002 84	491,372	491,509	- 0,137

Résultats de la 13^e comparaison
des étalons nationaux de force électromotrice
(février 1973)

Pour les laboratoires représentés dans la 13^e comparaison par deux groupes d'étalons voyageurs (piles nues et piles dans une enceinte), le résultat de la colonne (1) est celui qui a été retenu par le laboratoire national. Pour la P.T.B., le résultat est la moyenne des résultats fournis par les deux groupes d'étalons.

	13 ^e comparaison 25 février 1973 (1)	12 ^e comparaison 1 ^{er} février 1970 (2)	Variation depuis 1970 (3)
Afrique du Sud (N.P.R.L.)	..... V _{NPRL} = V _{69-BI} + 1,57 μV	-	-
Rép. Dém. Allemande (A.S.M.W.)	..... V _{ASMW}} =	+ 2,49	- 1,98
Rép. Féd. d'Allemagne (P.T.B.) ^(a)	.. V _{PTB}} =	- 0,26	+ 0,55
Australie (N.S.L.) ^(b)	..... V _{NSL}} =	0,00	+ 0,44
Canada (N.R.C.)	..... V _{NRC-69}} =	+ 0,10	- 0,28
Etats-Unis d'Amérique (N.B.S.) ^(c)	.. V _{NBS}} =	+ 0,17	- 0,05
France (L.C.I.E.)	..... V _{LCIE-69}} =	+ 0,23	+ 0,78
Italie (I.E.N.)	..... V _{IEN-69}} =	+ 0,04	+ 1,04
Japon (E.T.L.)	..... V _{ETL-69}} =	+ 0,51	+ 1,29
Royaume-Uni (N.P.L.)	..... V _{NPL-69}} =	+ 0,69	+ 0,54
U.R.S.S. (I.M.M.)	..... V _{IMM-70}} =	+ 2,16	+ 2,00

(a) par définition $V_{PTB} = \frac{h}{2e} \times 483\,594,0 \text{ GHz}$; pour calculer la variation depuis 1970 on a tenu compte du fait

$$\text{que } V_{PTB} = V_{PTB-69} + 1,08 \mu\text{V}.$$

(b) Depuis le 1^{er} janvier 1973, $V_{NSL} = \frac{h}{2e} \times 483\,594,0 \text{ GHz}$; pour calculer la variation depuis 1970 on a tenu

$$\text{compte du fait que } V_{NSL} = V_{NSL-69} + 0,54 \mu\text{V}.$$

(c) Depuis le 1^{er} juillet 1972, $V_{NBS} = \frac{h}{2e} \times 483\,593,420 \text{ GHz}$.

passé, les variations anormales des piles voyageuses causées par leurs déplacements. Ces variations entachent les valeurs des piles, exprimées en fonction de l'"unité" du laboratoire d'origine au 25 février 1973 (colonnes 2 des tableaux II et III), d'incertitudes difficiles à estimer. Pour essayer d'apprécier l'ordre de grandeur de la précision avec laquelle l'"unité" conservée par chaque laboratoire est rattachée à celle que conserve le B.I.P.M., nous avons calculé un écart-type sur la valeur moyenne de chaque groupe en tenant compte de la dispersion des résultats fournis par les diverses piles de ce groupe.

CONCLUSIONS

Bien qu'au cours des trois années écoulées depuis 1970 les dérives naturelles des groupes primaires nationaux de référence aient légèrement accentué les divergences entre les représentations du volt conservées dans les différents laboratoires, la plupart de ces représentations coïncident encore à 1×10^{-6} près. Dans l'ensemble, elles ont augmenté par rapport à l'"unité" maintenue par le B.I.P.M.

Sauf pour le N.S.L., l'I.E.N. et l'E.T.L., la dispersion des résultats fournis par les piles conservées dans les enceintes (tableau III) est en général plus faible que celle des résultats obtenus avec les piles nues (tableau II). L'utilisation d'enceintes thermorégulées lors des prochaines comparaisons semble donc recommandable.

Les désaccords anormaux entre les résultats fournis par les deux groupes voyageurs du N.S.L., du L.C.I.E. et de l'E.T.L. (tableau IV) appellent les remarques suivantes :

- Les enceintes encombrantes et lourdes sont moins faciles à transporter que les piles nues : peu de compagnies aériennes les acceptent en "bagage à main" et lorsqu'elles voyagent en fret il faut impérativement les conserver en position verticale (puisque l'on ne peut profiter de l'avantage de la suspension à la Cardan). Les manipulations prennent donc une importance considérable ; nous sommes persuadés que plusieurs des enceintes qui ont participé à la comparaison ont été malmenées, entre autres celle du N.S.L. Ce laboratoire a en effet observé un comportement anormal de ses piles après leur retour et elles n'ont retrouvé une valeur stable (mais quelle valeur ?) qu'au bout de plusieurs mois.
- On admet qu'à tout moment la température des piles est celle qu'indique le dispositif thermométrique (pont à thermistances ou

thermomètre à mercure) dont l'enceinte est équipée. Il est nécessaire de s'assurer qu'il en est bien ainsi, que les variations de température que l'on note correspondent à des variations réelles de la température des piles et que les conditions d'ambiance n'introduisent pas de décalage systématique.

Trois laboratoires ont utilisé l'effet Josephson pour attribuer des valeurs à leurs piles : le N.B.S. en posant par définition

$$V_{\text{NBS}} = \frac{h}{2e} \times 483\,593,420 \text{ GHz,}$$

la P.T.B. et le N.S.L. en posant

$$V_{\text{PTB}} = V_{\text{NSL}} = \frac{h}{2e} \times 483\,594,0 \text{ GHz.}$$

Par ailleurs, les mesures faites au N.P.L. ont montré qu'entre janvier et juin 1973 on avait :

$$V_{\text{NPL}} = \frac{h}{2e} \times 483\,594,016 \text{ GHz.}$$

Si l'on modifie les résultats du N.B.S. et du N.P.L. donnés dans le tableau VI pour tenir compte des différences de définition et les rendre ainsi comparables aux résultats de la P.T.B. et du N.S.L., on obtient :

$$V_{\text{PTB}} = V_{69\text{-BI}} + 1,37 \text{ } \mu\text{V}$$

$$V_{\text{NSL}} = V_{69\text{-BI}} + 0,98$$

$$V_{\text{NBS}} = V_{69\text{-BI}} + 1,32$$

$$V_{\text{NPL}} = V_{69\text{-BI}} + 1,20$$

On constate alors que les "unités" de la P.T.B. et du N.B.S. coïncident à 5×10^{-8} près entre elles et à quelques 10^{-7} près avec celles du N.S.L. et du N.P.L. Il est donc probable que d'ici à quelques années la généralisation de la mise en oeuvre de l'effet Josephson pour conserver le volt permettra d'obtenir à 1×10^{-7} près la concordance entre les "unités" de force électromotrice utilisées dans les divers laboratoires.

Notons enfin que l'étude des dispositifs thermométriques

jointes aux étalons voyageurs de plusieurs laboratoires n'a fait apparaître, entre les échelles de température employées par ces laboratoires et le B.I.P.M., aucun désaccord de nature à justifier des erreurs systématiques dans la comparaison internationale.

(Février 1974)

A P P E N D I C E

Au moment de la 13^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice, le Van Swinden Laboratorium (V.S.L.) des Pays-Bas a fait parvenir au B.I.P.M. un groupe de six piles nues définies à 20 °C et un groupe de quatre piles conservées à 30 °C dans une enceinte thermorégulée.

Depuis 1971 ces piles sont comparées tous les ans à celles du B.I.P.M.; elles sont de premier ordre et transportées dans les meilleures conditions : en automobile, dans des emballages spéciaux et à température constante (y compris celles qui sont définies à 20 °C).

Entre le 25 avril et le 7 juin 1973, chacun des deux groupes a été comparé aux dix groupes de référence du B.I.P.M. ; les deux groupes ont aussi été comparés plusieurs fois entre eux. En traitant par la méthode des moindres carrés les 338 équations de condition qui ont résulté de ces comparaisons, on a obtenu la valeur des piles du V.S.L., exprimée en fonction de V_{69-BI} .

A.- PILES NUES DÉFINIES A 20 °C

1. Valeurs des piles du V.S.L., exprimées en fonction de V_{69-BI}

Résultats des mesures du B.I.P.M. à la date moyenne du 15 mai 1973 :

N° 66 087	1,018 610 91	V_{69-BI}
66 091	611 84	
66 124	628 30	
66 132	627 86	
67 045	625 27	
67 049	627 36	

2. Valeurs des piles du V.S.L., exprimées en fonction de V_{VSL} (unité de force électromotrice conservée par le V.S.L.)

Valeurs calculées par interpolation linéaire entre les forces électromotrices attribuées aux piles par le V.S.L. avant et après les mesures du B.I.P.M. :

	10 décembre 1972	15 octobre 1973	Valeur admise au 15 mai 1973
N° 66 087	1,018 610 02	1,018 610 06	1,018 610 04 V_{VSL}
66 091	610 95	610 92	610 93
66 124	627 37	627 25	627 31
66 132	626 87	626 88	626 88
67 045	624 38	624 10	624 24
67 049	626 31	626 14	626 22

3. Valeur de V_{VSL} en fonction de V_{69-BI}

N° 66 087	1,018 610 04	$V_{VSL} = 1,018 610 91 V_{69-BI}$	d'où	$V_{VSL} = V_{69-BI} + 0,85 \mu V$
66 091	610 93	= 611 84	=	+ 0,89
66 124	627 31	= 628 30	=	+ 0,97
66 132	626 88	= 627 86	=	+ 0,96
67 045	624 24	= 625 27	=	+ 1,01
67 049	626 22	= 627 36	=	+ 1,12

$$1,018 620 94 V_{VSL} = 1,018 621 92 V_{69-BI} \text{ d'où } V_{VSL} = V_{69-BI} + 0,97 \mu V$$

En moyenne : $V_{VSL} = V_{69-BI} + 0,97 \mu V$ (d'après les piles nues).

B.- PILES A 30 °C DANS UNE ENCEINTE THERMORÉGULÉE

1. Valeurs des piles du V.S.L., exprimées en fonction de V_{69-BI}

Résultats des mesures du B.I.P.M. au 15 mai 1973 :

Borne N°	Pile N°	V_{69-BI}
1	35 403	1,018 155 35
2	35 405	150 92
3	35 633	153 96
4	35 668	154 38

2. Valeurs des piles du V.S.L., exprimées en fonction de V_{VSL}

10 décembre 1972		20 octobre 1973	Valeur admise au 15 mai 1973
N° 35 403	1,018 153 65	1,018 153 22	1,018 153 44 V_{VSL}
35 405	150 88	147 67	149 29
35 633	152 39	151 80	152 10
35 668	152 79	152 18	152 49

3. Valeur de V_{VSL} en fonction de V_{69-BI}

N° 35 403	1,018 153 44	$V_{VSL} = 1,018 155 35 V_{69-BI}$	d'où	$V_{VSL} = V_{69-BI} + 1,88 \mu V$
35 405	149 29	= 150 92	=	+ 1,60
35 633	152 10	= 153 96	=	+ 1,83
35 668	152 49	= 154 38	=	+ 1,86

$$1,018 151 83 V_{VSL} = 1,018 153 65 V_{69-BI} \text{ d'où } V_{VSL} = V_{69-BI} + 1,79 \mu V$$

En moyenne : $V_{VSL} = V_{69-BI} + 1,79 \mu V$ (d'après les piles conservées dans une enceinte thermorégulée).

Conclusion

La relation entre V_{VSL} et V_{69-BI} officiellement retenue est celle qui a été obtenue avec les piles nues définies à 20 °C, soit $V_{VSL} = V_{69-BI} + 0,97 \mu V$. Comme pour tous les autres laboratoires, à l'exception du N.B.S., la représentation du volt conservée par le Van Swinden Laboratorium est plus grande que celle que conserve le B.I.P.M.

La différence entre les résultats fournis par les deux groupes de piles (groupe à 20 °C et groupe à 30 °C) est anormalement élevée (0,82 μV). Bien que les deux groupes aient été transportés ensemble, dans d'excellentes conditions, on constate que les piles nues semblent avoir mieux supporté le déplacement que les piles conservées à 30 °C dans une enceinte thermorégulée; entre décembre 1972 et octobre 1973, les valeurs des piles nues, exprimées en fonction de V_{VSL} , ont en effet moins varié et de façon plus uniforme que celles des piles contenues dans l'enceinte.

(Juin 1975)

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

par G. LECLERC

Bureau International des Poids et Mesures

(Document CCE/75-29)

En 1972, au cours de la 13^e session du C.C.E., plusieurs laboratoires nationaux ayant exprimé le désir de recevoir une seconde fois les trois condensateurs voyageurs de 10 pF objet de la comparaison circulaire qui s'achevait, trois nouveaux cycles de comparaisons ont été organisés. Les résultats des deux premiers sont donnés dans le tableau I. Le troisième cycle est en cours actuellement.

Pour des raisons d'uniformité le N.B.S. continue d'exprimer les résultats de ses mesures en terme de $F_{\text{NBS-60}}$, c'est-à-dire en fonction du farad qu'il a déterminé en 1960 et qu'il "conserve" au moyen d'un groupe de condensateurs. Ces résultats sont ceux qui figurent dans les colonnes (a) du tableau I. Cependant, en 1973, le N.B.S. a effectué une nouvelle détermination absolue du farad en utilisant un nouveau condensateur calculable et cette détermination a montré qu'en novembre 1973 on avait : $F_{\text{NBS-60}} = F_{\text{absolu}} + 1,778 \times 10^{-6}$. Pour rendre les résultats du N.B.S. directement comparables à ceux des autres laboratoires, nous avons donc appliqué une correction de $+ 1,78 \times 10^{-6}$ aux valeurs contenues dans les colonnes (a) pour obtenir celles qui figurent dans les colonnes (b). (Si $F_{\text{NBS-60}}$ dérive dans le temps, l'application de la correction déterminée en novembre 1973 introduit une petite incertitude sur les valeurs calculées au 1^{er} juin 1974 et au 1^{er} mai 1975).

TABLEAU I

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

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

1) Valeur de Δ , à 25 °C :	N.B.S.(1)	N.M.L.	E.T.L.	N.B.S.(1)	N.P.L.	N.R.C.	N.B.S.(1)
Etalon N°	1er août 1973	12 nov. 73	1er mars 74	1er juin 1974	Été 1974	Nov. 74 Fév. 75	1er mai 1975
	(100 V, 1592 Hz)	(100 V, 1592 Hz)	(15 V, 1592 Hz)	(100 V, 1592 Hz)	(60 V, 1000 Hz)	(10 V, 1592 Hz)	(100 V, 1592 Hz)
	(a)	(b)		(a)	(b)		(a)
156775(108).....	- 16,09 - 14,31	- 14,28	- 14,29	- 16,04 - 14,26	- 14,28	- 14,66	- 16,00 - 14,22
159852(119).....	- 3,09 - 1,31	- 1,29	- 1,35	- 3,06 - 1,28	- 1,45	- 1,66	- 3,04 - 1,26
159853(120).....	- 2,50 - 0,72	- 0,645	- 0,72	- 2,41 - 0,63	- 0,73	- 1,07	- 2,30 - 0,52
Moyenne	- 7,23 - 5,45	- 5,40 ₅	- 5,45	- 7,17 - 5,39	- 5,49	- 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)					
156775(108).....	- 68,47 - 66,69	- 66,565	- 66,64				
159853(120).....	- 53,31 - 51,53	- 51,41	- 51,49				
	- 60,89 - 59,11	- 58,99	- 59,06 ₅				

(1) Pour le N.B.S., nous avons reproduit dans la colonne (a) les résultats des mesures exprimés en fonction de $F_{\text{NBS-60}}$ 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) 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.

NOTE. 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.

TABLEAU II **

Résultats des deux premiers cycles de la
comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF

$C = 10 (1 + \Delta \times 10^{-6})$ pF
Valeur de Δ à 25 °C, à la fréquence de 1 592 Hz

Étalon N°	N.B.S.		N.P.L.		N.B.S.		N.S.L.		E.T.L. (1)		N.B.S.	
	1 ^{er} sept. 66 (100 V)	23/30 sept. 66 (10 V)	oct.-déc. 66	1 ^{er} janv. 67 (100 V)	1 ^{er} avril 67	19 déc. 67 (10 V)	1 ^{er} fév. 68 (100 V)					
159 775 (108)	- 16,5 ₄	- 15,0*	- 22	- 16,4 ₀	- 15,1 ₀	- 14,1 ₀	- 16,3 ₇					
159 852 (119)	- 3,6 ₅	- 0,8*	- 9	- 3,5 ₀	- 2,2 ₀	+ 0,1 ₀	- 3,3 ₆					
159 853 (120)	- 3,3 ₂	- 1,6*	- 9	- 3,3 ₀	- 2,0 ₀	- 0,6 ₀	- 3,0 ₀					
Moyenne	- 7,8 ₄	- 5,8*	- 13,3	- 7,7 ₀	- 6,5 ₁	- 4,8 ₇	- 7,6 ₀					

(1) Le N.R.C. et l'E.T.L. ont déterminé les valeurs des étalons de capacité à 20 °C; les valeurs à 25 °C données dans ce tableau ont été calculées en tenant compte des écarts mesurés entre 20 et 25 °C par le N.B.S.

(*) Ces résultats tiennent compte d'une correction de $-4,0 \times 10^{-6}$ appliquée par le N.R.C. aux valeurs qu'il avait communiquées en 1966; cette correction résulte d'améliorations apportées au condensateur primaire et à la technique de mesure (lettre du N.R.C. du 14 juillet 1969).

** Ce tableau est extrait de *Comité Consultatif d'Electricité*, 12^e session, 1968, p. E 47.

En dehors du résultat du N.R.C., qui n'est d'ailleurs connu qu'à 9×10^{-7} près (2,5 σ), les laboratoires sont en accord à 1×10^{-7} , ce qui est très satisfaisant. Si l'on compare ces résultats à ceux des deux premiers cycles de comparaisons effectués entre 1966 et 1968 - résultats rappelés dans le tableau II - on peut apprécier les progrès accomplis depuis cette époque.

La bonne homogénéité des résultats prouve que les laboratoires ont pratiquement terminé la mise au point de leur condensateur à variation de capacité calculable. Comme les instruments réalisés sont de type différent, la méthode paraît en outre exempte d'erreur systématique.

Les étalons de capacité voyageurs construits par le N.B.S. confirment leur excellente qualité. Si tous les laboratoires qui ont réalisé un condensateur calculable possédaient de tels étalons de transfert, il serait possible d'organiser au B.I.P.M. des comparaisons périodiques d'étalons nationaux de capacité identiques aux comparaisons des étalons nationaux de résistance, mais plus précises (1×10^{-7} ou mieux).

Par ailleurs, le farad devient l'unité électrique que l'on sait représenter avec la meilleure exactitude ; il constitue maintenant de ce fait l'une des deux unités pratiques de base dans tous les grands laboratoires de métrologie électrique. A notre avis, il serait utile que le B.I.P.M. dispose le plus rapidement possible d'un groupe de condensateurs de haute qualité pour conserver le farad comme il conserve l'ohm. Le B.I.P.M. pourrait alors satisfaire les demandes d'étalonnage de condensateurs qui lui parviennent de plus en plus souvent.

(14 mai 1975)

Note du B.I.P.M. - Dans le tableau I, p. E 46, de l'Annexe E 4 "Etat d'avancement de la comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF" (*Comité Consultatif d'Electricité*, 13^e session, 1972), on a omis d'indiquer la tension efficace et la fréquence utilisées à l'I.E.N. lors de la mesure des condensateurs, en juin-juillet 1972. La tension était de 100 V et la fréquence de 1592 Hz.

Prise de position du directeur du B.I.P.M.

(Lettre du 12 mai 1975 adressée aux membres du C.C.E.)

(Document CCE/75-28)

1. La référence d'étalonnage V_{69-BI}

La référence V_{69-BI} est encore représentée par un groupe d'éléments voltaïques au B.I.P.M. L'appareillage Josephson du B.I.P.M. est bien éprouvé ; son transport et sa remise en marche à la P.T.B. ont prouvé sa robustesse et la bonne concordance de ses résultats avec ceux de la P.T.B. En conséquence, nous avons l'intention de *remplacer au 1^{er} janvier 1976 V_{69-BI} par le potentiel Josephson correspondant à la fréquence 483 594 GHz* ; à ce moment la nouvelle référence V_{76-BI} sera plus grande que V_{69-BI} d'environ 2,5 μV .

2. Les références nationales d'étalonnage en volt

Plusieurs laboratoires nationaux ont déjà commencé à réaliser le volt par l'effet Josephson. Le B.I.P.M. propose que le Comité Consultatif d'Electricité recommande ce mode de réalisation du volt, avec la fréquence déjà mentionnée par le C.C.E. en 1972, c'est-à-dire 483 594 GHz.

3. Unification internationale des mesures de potentiel

Si le volt est réalisé selon la recommandation ci-dessus, les mesures de potentiel des laboratoires concernés deviendront concordantes ; de plus, on sera débarrassé des incertitudes provenant des variations capricieuses des éléments voltaïques qui servaient à conserver et à transporter la grandeur 1 volt. En conséquence, le B.I.P.M. estime qu'il n'y a plus d'utilité suffisante à entreprendre une 14^e comparaison internationale d'éléments voltaïques en 1976.

Cependant, deux besoins subsistent, et justifient deux recommandations :

- que l'on construise des appareillages Josephson *transportables*, afin de contrôler l'accord de leurs résultats, comme l'a fait pour la première fois le B.I.P.M. en allant à la P.T.B., sans passer par l'intermédiaire d'éléments voltaïques ;

- que l'on construise des enceintes thermorégulées miniaturisées et améliorées pour le transport des éléments voltaïques, en particulier pour les laboratoires qui n'ont pas d'appareillage Josephson et qui demandent au B.I.P.M. de certifier leurs étalons de potentiel.

4. La référence d'étalonnage Ω_{69-BI}

Le groupe d'étalons de l'ohm du B.I.P.M. semble présenter une stabilité assez bonne, mais ses petites variations dans le temps peuvent être contrôlées et corrigées par des comparaisons avec les étalons des laboratoires qui utilisent le condensateur à variation calculable de Lampard-Thompson.

En conséquence, le B.I.P.M. suggère que l'on organise spécialement des comparaisons internationales d'étalons de l'ohm, avec le plus grand soin et aux dates les plus favorables, par le transport au B.I.P.M. des étalons de l'ohm dont la valeur à 20 °C provient des étalons de capacité Lampard-Thompson dont la haute précision est confirmée. Ainsi, la qualité de la référence Ω_{69-BI} sera grandement améliorée.

En complément, mais d'une façon indépendante, on devra organiser le rattachement des étalons des autres laboratoires à Ω_{69-BI} .

J. TERRIEN

Commentaires sur l'emploi d'enceintes thermorégulées dans les comparaisons internationales

par F. MELCHERT

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

(Document CCE/75-5)

1) *Remarques générales*

D'après nos expériences, les enceintes thermorégulées de type commercial ont en principe les qualités requises pour les comparaisons de force électromotrice. Cependant, pour obtenir une très haute précision, certaines conditions que nous allons discuter doivent être satisfaites.

Lors de la dernière comparaison internationale, en 1973, pour la P.T.B., le résultat obtenu avec les piles nues (à 20 °C) n'a différencié que de 3×10^{-8} V du résultat obtenu avec les piles conservées dans l'enceinte thermorégulée (à 30 °C) ; on peut donc en conclure qu'aucune erreur systématique ne résulte de l'emploi d'enceintes thermorégulées. Les différences plus grandes constatées pour quelques-uns des autres participants sont probablement imputables aux perturbations causées par le transport, particulièrement dans le cas des piles nues.

2) *Délai nécessaire de stabilisation après un transport*

Les piles n'ont une force électromotrice constante que lorsqu'elles sont en équilibre thermique. Ainsi, un délai de stabilisation est nécessaire même lorsqu'on utilise des enceintes thermorégulées.

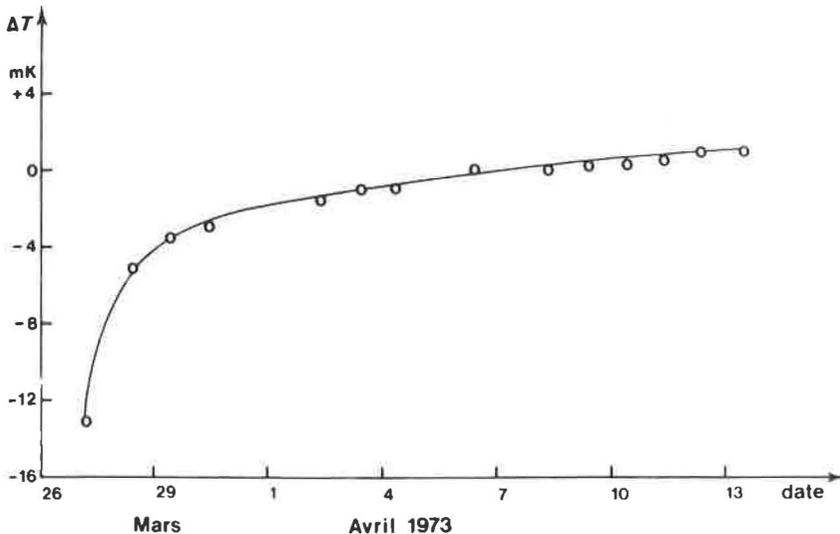


Fig. 1.- Evolution de la température de l'enceinte thermorégulée de la P.T.B. conservée à température ambiante après son transport en train de Paris à Braunschweig.

Δt : écart par rapport à la valeur nominale (30 °C) donné par l'indicateur de température.

La figure 1 représente l'évolution de la température à l'intérieur de l'enceinte thermorégulée* de la P.T.B. après son transport par train (accompagnée) de Paris à Braunschweig. La courbe montre que cette évolution a duré environ 2 semaines au bout desquelles la température - qui s'était abaissée durant le voyage d'environ 15 mK - a atteint une valeur finale stable. Les valeurs des forces électromotrices des piles, mesurées chaque jour, ont aussi varié et n'ont été stables, à $\pm 0,05 \mu V$ près, qu'après quinze jours. Il paraît donc utile, après un transport, de surveiller les indications du contrôleur de température et d'attendre au moins quinze jours avant d'entreprendre des mesures de précision.

3) Influence de la température ambiante

Pour déterminer l'influence de la température ambiante, la même enceinte thermorégulée a été étudiée successivement à des

* Modèle Guildline 9152 T4

températures ambiantes de 19 °C et de 23 °C. Dans les premiers jours qui ont suivi le changement d'ambiance (de 19 à 23 °C) on a observé des variations importantes de la température de l'enceinte thermorégulée et de la force électromotrice des piles. Cependant, après 6 jours, la température de l'enceinte et la force électromotrice des piles ont repris les valeurs qu'elles avaient initialement (c'est-à-dire pour une température ambiante de 19 °C). La variation de la température ambiante n'a donc eu aucune influence rémanente (mais cette conclusion n'est peut être pas valable pour des enceintes thermorégulées de type ancien, voir 4c.).

4) *Construction des enceintes thermorégulées*

a. La précision de lecture de l'indicateur de température des enceintes thermorégulées de type commercial (échelle divisée en 5 mK) est insuffisante pour les comparaisons internationales. Pour y remédier, nous avons muni les instruments de la P.T.B. d'une échelle divisée en mK ; il serait souhaitable qu'une telle amélioration soit apportée aux enceintes par les fabricants eux-mêmes.

b. De même, il serait souhaitable que, par construction, on ait la possibilité de contrôler la stabilité à long terme de la température au moyen d'un thermomètre à résistance de platine. Actuellement il n'est pas possible de savoir, lorsqu'on observe de lentes variations de la force électromotrice, si ces variations correspondent à des évolutions des piles ou à des dérives des éléments de contrôle de la température.

c. On a constaté sur des enceintes thermorégulées de type ancien - envoyées à la P.T.B. pour étalonnage et ouvertes pour corriger un défaut - que la sonde de l'indicateur de température était placée sur la paroi arrière de la boîte en aluminium dans laquelle se trouvent les piles isolées thermiquement. Avec ce montage, s'il y a des variations de température, la sonde indique la température de la paroi et non celle des piles. Dans les types récents, ce défaut est évité puisque la sonde est placée entre les piles.

5) *Alimentation en courant*

Dans les enceintes thermorégulées de type commercial, l'intensité du courant de chauffage fourni par le réseau (valeur efficace du courant redressé) n'est pas exactement égale à l'intensité du courant continu fourni par les accumulateurs.

Suivant que l'alimentation permanente est effectuée à partir du réseau ou à partir d'accumulateurs, il en résulte des températures de fonctionnement qui diffèrent de quelques mK. Même une courte commutation (par exemple du réseau à l'accumulateur pendant les mesures de force électromotrice) déränge l'équilibre thermique et peut conduire à des erreurs, car la température que l'on note ne correspond pas à la température réelle des piles.

La P.T.B. a obtenu de bons résultats en utilisant un "circuit tampon" constitué par un accumulateur connecté en permanence aux bornes d'une alimentation stabilisée. Après une interruption, il est important que l'alimentation de réseau redémarre automatiquement afin que l'accumulateur ne soit jamais complètement déchargé.

**Enceinte à air thermorégulée et transportable
pour piles étalons utilisées
dans les comparaisons internationales**

par H. HIRAYAMA et K. SHIMAZAKI

Electrotechnical Laboratory (Japon)

(Document CCE/75-17)

Pour la comparaison de 1973, l'E.T.L. a envoyé au B.I.P.M. des piles étalons nues et une enceinte thermorégulée contenant des piles de fabrication récente. Ces deux types d'étalons de transfert ont conduit à des résultats en désaccord de $0,61 \mu\text{V}$ pour la différence $V_{\text{ETL}} - V_{69\text{-BI}}$. Cet écart est essentiellement imputable à l'enceinte. Comme le système assurant la régulation de la température a évolué, il a été impossible de faire une interpolation complète de la force électromotrice. Finalement on a admis, comme résultat de la comparaison celui obtenu avec les piles nues. Pour l'enceinte il est nécessaire d'avoir une bonne stabilité du système de thermorégulation ainsi que de la force électromotrice des piles qu'elle contient. Comparée aux piles nues, l'enceinte présente des avantages quant à l'hystérésis de la force électromotrice des piles après transport. Toutefois, l'expérience faite à l'occasion de la comparaison internationale montre que de nombreux problèmes sont à résoudre ou à étudier.

1) Il faut évidemment s'attendre à une évolution du système de thermorégulation. Un vieillissement préalable de l'élément de contrôle ou du pont est donc nécessaire. Dans notre cas il n'était pas suffisant.

2) Des thermomètres à résistance de platine ou à mercure sont utilisés pour contrôler la température intérieure. Selon

leur position, ils peuvent indiquer une température différente de la température réelle des piles (figure 1) ; leur résolution

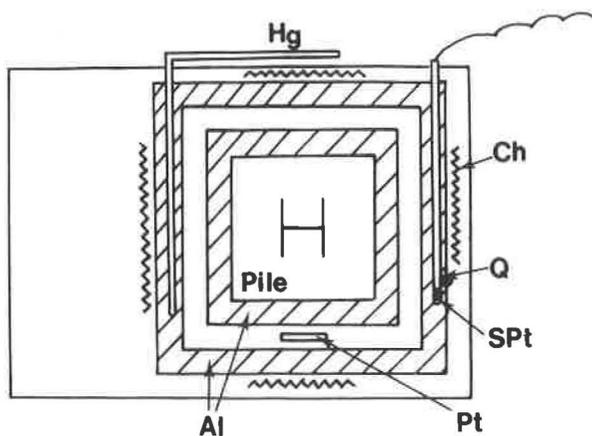
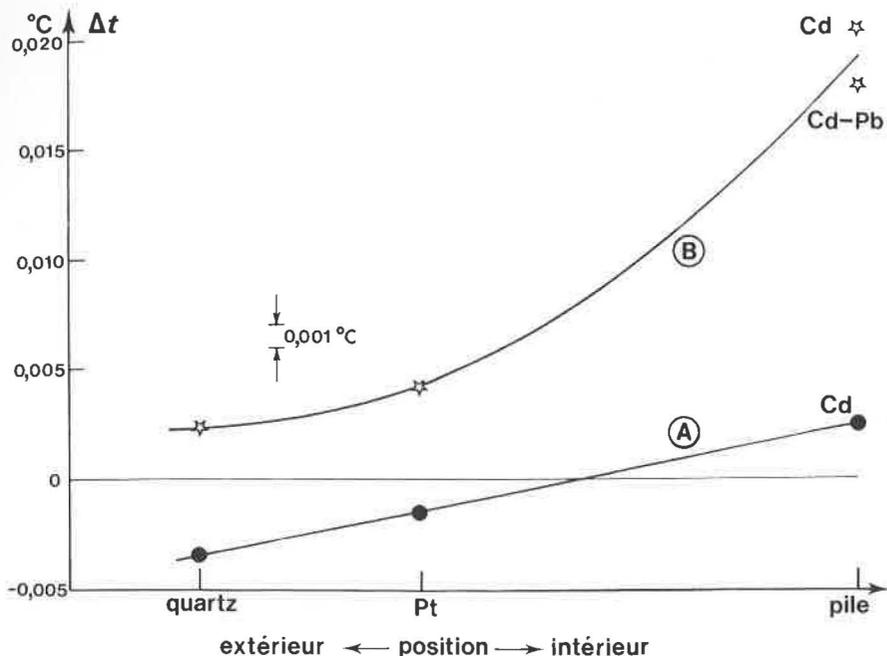


Fig. 1.- Variation Δt de la température en différents points d'une enceinte, en fonction de la variation de la température ambiante (21,6 à 25,4 °C), pour deux enceintes thermorégulées à 30 °C : A, enceinte utilisée lors des comparaisons internationales ; B, enceinte contenant quatre piles normales à amalgame de cadmium et une pile à amalgame cadmium-plomb. Un thermomètre à quartz Q a été placé au voisinage de la sonde thermométrique de régulation SPT (résistance de platine).

Pt, thermomètre à résistance de platine ; Hg, thermomètre à mercure ; Ch, chauffage ; Al, paroi en aluminium épais.

et leur stabilité sont essentielles. Par conséquent, la correction apportée à la force électromotrice en tenant compte des indications des thermomètres peut être erronée. On doit les utiliser pour vérifier les variations de la thermorégulation. L'effet d'auto-échauffement du capteur thermométrique en platine est également important.

3) On peut connaître les variations de température des piles par l'intermédiaire des variations de leur force électromotrice. En utilisant des piles étalons normales et des piles à amalgame composite Cd-Pb^[1] dans la même enceinte, on pourrait déceler facilement toute variation de température sans autre référence.

4) L'effet de la température ambiante sur la force électromotrice des piles est assez important. Les figures 2 et 3 montrent cet effet pour deux enceintes. Après avoir déterminé les caractéristiques de l'enceinte il convient d'appliquer une correction pour tenir compte de la température ambiante. Un changement important de la température ambiante perturbe la force électromotrice et il faut environ une semaine pour stabiliser celle-ci.

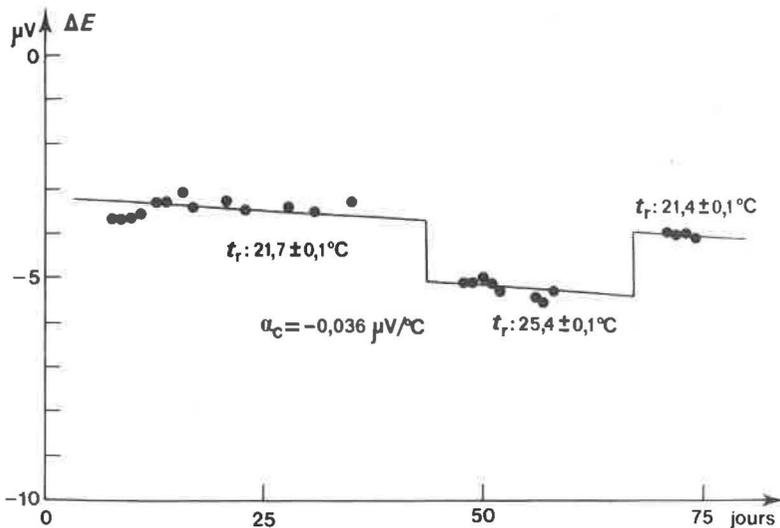


Fig. 2.- Variation ΔE de la force électromotrice des piles de l'enceinte A provoquée par une variation de la température ambiante t_r .

α_c : coefficient de température relatif à la température ambiante.

5) Si l'on compare les piles contenues dans l'enceinte à celles du groupe primaire conservées à 20 °C, il faut maintenir avec exactitude la température du groupe à 20 °C.

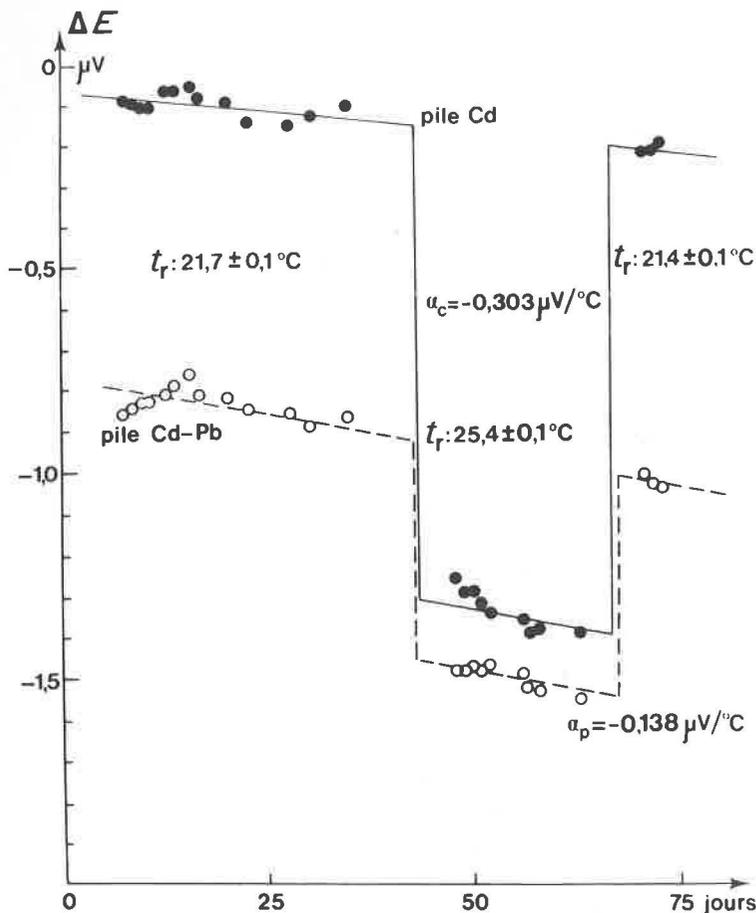


Fig. 3.- Variation ΔE de la force électromotrice des piles de l'enceinte B provoquée par une variation de la température ambiante t_r .

α_p : coefficient de température relatif à la température ambiante pour la pile à amalgame cadmium-plomb.

6) Il faut également que la force électromotrice des piles soit stable. La figure 4 donne la variation de la force électromotrice moyenne des piles utilisées lors de la comparaison internationale. Il est difficile de distinguer avec certitude la dérive due au changement de la température de celle due à l'évolution des piles. L'utilisation, dans une enceinte, de piles à électrodes en amalgame Cd-Pb présente des avantages quant au coefficient de température (par exemple, à 30 °C, il est de - 29,50 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ au lieu de - 56,70 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pour les piles au Cd), mais la force électromotrice de ces piles est supérieure d'environ 1000 μV à celle des piles au Cd. L'utilisation simultanée des deux types de piles permet de détecter les erreurs systématiques.

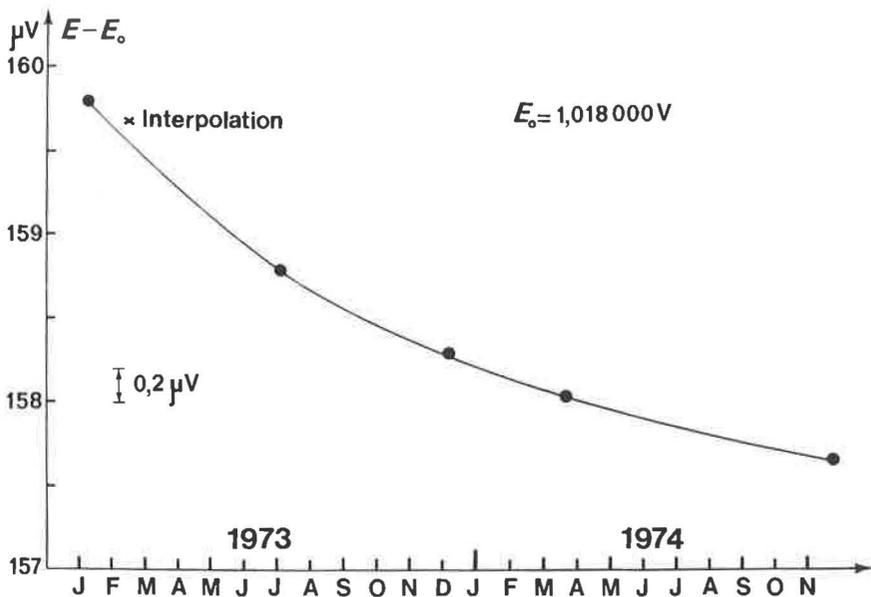


Fig. 4.- Evolution de la force électromotrice moyenne des piles contenues dans l'enceinte A.

7) Le bruit additionnel de force électromotrice induit par le circuit de contrôle constitue un facteur de limitation de la précision. Il faut étudier le système de contrôle afin de minimiser ce bruit.

8) Une alimentation par batterie d'accumulateurs est nécessaire en cours de transport et pour remédier à d'éventuelles coupures de courant du réseau. Dans notre cas l'enceinte est équipée avec des accumulateurs (Ni-Cd), rechargeables, qui assurent une autonomie d'environ 15 heures. Pour le vol Tokyo-Paris on avait ajouté une batterie d'accumulateurs Ni-Cd supplémentaire assurant une autonomie totale de 45 heures. A cause des deux accumulateurs, on arrivait à une masse totale de 70 kg.

9) Il faudrait prendre des dispositions pour protéger l'enceinte contre les vibrations et les chocs en cours de transport. Toutefois, compte tenu du volume et du poids importants, il est assez difficile de faire la comparaison avec les piles nues pour lesquelles il est facile d'utiliser une suspension à la cardan et des matériaux absorbant les chocs.

10) Nous avons maintenant trois types d'enceintes thermostatées à trois températures différentes : 25, 30 et 35 °C.

Avec l'enceinte à 30 °C la température ambiante minimale de fonctionnement est d'environ 13 °C. Lors de la comparaison de 1973 la température ambiante minimale au cours du transport a été de 9 °C. Il faudrait donc choisir la température de contrôle appropriée suivant la saison.

BIBLIOGRAPHIE

1. HIRAYAMA (H.) and SHIMAZAKI (K.), Standards Cells with Cd-Pb amalgam electrode, *IEEE Trans. on Instr. & Meas.*, IM-21, No. 4, 1972, p. 319.
-

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

par V. KOSE et F. MELCHERT

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

(Document CCE/75-6)

L'unité de force électromotrice était autrefois conservée à la P.T.B. en supposant constante la valeur d'un groupe de 39 piles étalons Weston maintenues à une température invariable. En admettant, conformément à la déclaration E-72 du C.C.E. qu'un volt correspond à une fréquence Josephson de 483 594,0 GHz, on a déterminé la force électromotrice moyenne à 20,000 °C de ce groupe. La figure 1 montre les résultats obtenus durant 2 années. Chaque point est, en général, la moyenne d'une série de 10 mesures individuelles. La tension de référence U_0 est la force électromotrice moyenne du groupe au 25 février 1973, date centrale de la 13^e comparaison internationale.

On constate une dérive pratiquement linéaire de la moyenne des forces électromotrices des piles de $- 1,3 \times 10^{-7}$ volt par an. Cette variation est si petite que l'intervalle entre les comparaisons à la tension Josephson de référence peut-être de quelques mois. L'appareil utilisé pour faire ces comparaisons a déjà été décrit [1,2].

Les possibilités de cet appareil sont limitées essentiellement par la dérive de la tension thermoélectrique créée dans le circuit de mesure de la tension Josephson (de l'ordre du mV) par les différences de température (entre 4,2 K et la température ambiante). Cette dérive ne permet pas d'utiliser directement l'appareil comme référence de tension courante (1 volt) ; des

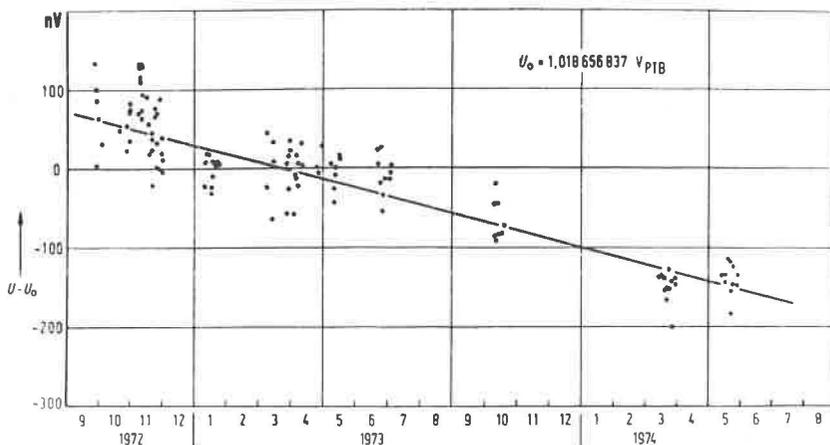


Fig. 1.- Evolution de la moyenne U des forces électromotrices des 39 éléments Weston qui composent le groupe de référence de la P.T.B.

piles étalons sont nécessaires comme références auxiliaires. L'influence de la dérive de la tension thermoélectrique est considérablement réduite si, en plus de la jonction Josephson, on met aussi dans l'hélium liquide le détecteur de zéro et le diviseur à résistances ; dans ce cas, en effet, c'est dans le circuit de mesure de la pile étalon (f.é.m. mesurée de l'ordre du volt) que la tension thermoélectrique se manifeste^[2]. Le détecteur de zéro est du type SQUID. Les caractéristiques à basse température de différents alliages résistants ont été étudiées à la P.T.B.^[3] ; entre-temps, on a trouvé un alliage dont le coefficient de température relatif est seulement de $2 \times 10^{-7}/K$ entre 2 et 4 K. L'emploi de cet alliage rend inutile le réglage de la température du bain d'hélium.

Le diviseur de tension se compose de 2 résistances (de 32 et de 0,1 Ω) au lieu de 10 dans l'appareil précédent. Cette simplification a été rendue possible par les améliorations apportées au comparateur de tensions inductif décrit en^[4] qui permet de déterminer directement le rapport 320/1 des résistances.

BIBLIOGRAPHIE

1. KOSE (V.), MELCHERT (F.), FACK (H.) et HETZEL (W.), Référence de tension électrique par l'effet Josephson, *Comité Consultatif d'Electricité*, 13^e session, 1972, pp. E 61-65.

2. KOSE (V.) *et al.*, Maintaining the unit of voltage at PTB via Josephson effect, *IEEE Trans. on Instr. & Meas.*, IM-23, 1974, pp. 271-275.
 3. WARNECKE (P.) et KOSE (V.), Resistance alloy for low temperatures, *Rev. Sci. Instr.*, 46, No. 8, 1975, pp. 1108-1109.
 4. FUHRMANN (B.), Resistance measurements at frequencies below 10 Hz, *IEEE Trans. on Instr. & Meas.*, IM-23, 1974, pp. 352-355.
-

**Étalon cryogénique de force électromotrice
à effet Josephson
utilisant un transformateur à supraconduction
pour courant continu**

par I. K. HARVEY

National Measurement Laboratory (Australie)

(Document CCE/75-9)

Le contrôle de la conservation des étalons de force électromotrice à l'aide de l'effet Josephson est maintenant un procédé de routine dans un certain nombre de laboratoires. Au National Measurement Laboratory des mesures sont effectuées régulièrement depuis mai 1970 avec une précision de 1×10^{-7} , en se servant d'appareils déjà décrits^[1], dans lesquels les mesures en courant continu sont faites à température ambiante.

L'amélioration de la précision des étalons de force électromotrice fondés sur l'effet Josephson exige que l'appareil de mesure en courant continu (comparateur de tensions) fonctionne à basse température, comme la jonction Josephson. Ceci offre plusieurs avantages : le bruit thermique des éléments résistants du circuit est réduit et, quand ces éléments sont utilisés dans un bain d'hélium superfluide, les conditions thermiques sont presque idéales. L'application de la supraconduction à la métrologie électrique a conduit à la mise au point de nouveaux appareils d'une précision et d'une sensibilité meilleures.

On a mis au point un transformateur à supraconduction^[2,3] et on s'en sert dans l'étalon de force électromotrice à effet Josephson entièrement cryogénique. Dans ce transformateur, on obtient l'égalité de couplage entre chacun des enroulements actifs du transformateur et l'enroulement détecteur en utilisant,

pour constituer les différents enroulements, les différents brins d'un même câble enrobés dans une gaine supraconductrice commune. Le courant dans un enroulement particulier produit, sur la surface externe de la gaine, un courant indépendant de la position de l'enroulement dans la gaine.

On pense que les erreurs mesurées précédemment^[3] étaient dues à un flux magnétique capturé. Aucune erreur n'est maintenant observée dans le transformateur à supraconduction pour courant continu. L'exactitude mesurée du rapport est meilleure que 1×10^{-9} , limite imposée par la sensibilité dont on dispose.

On peut voir sur la figure 1 la configuration particulière du transformateur pour courant continu utilisé dans l'étalon cryogénique de force électromotrice ; il comprend un enroulement toroïdal avec gaine, sans noyau perméable, placé dans un écran supraconducteur qui sert aussi d'enroulement secondaire

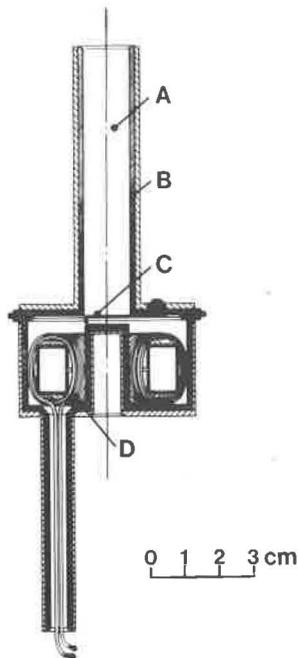


Fig. 1.- Schéma du transformateur à supraconduction pour courant continu.

A, tube pour introduire le SQUID ; B, écran supraconducteur en plomb ; C, boucle supraconductrice ; D, câble à enrobage supraconducteur dont les différents brins constituent les enroulements actifs.

à tour unique. Le déséquilibre du transformateur produit un courant dans la boucle supraconductrice et peut être détecté à l'aide d'un SQUID^[4].

On peut voir sur la figure 2 l'application du transformateur à supraconduction pour courant continu dans un étalon de force électromotrice Josephson cryogénique. On réalise un rapport de courants de 10/1 en connectant de manière appropriée les enroulements du transformateur, puis on étalonne successivement les rapports d'une série de 4 résistances cryogéniques Si-Cu^[5] de valeurs nominales 100, 10, 1 et 0,1 Ω ^[6]. On choisit les couples de résistances à l'aide d'un interrupteur supraconducteur S_1 . On détermine les écarts au rapport 10 en comparant le courant I_R et le courant I_B que l'on doit faire circuler dans un enroulement auxiliaire pour obtenir l'équilibre ; l'écart relatif de la résistance traversée par I_R est donné par

$$\delta = I_B / I_R.$$

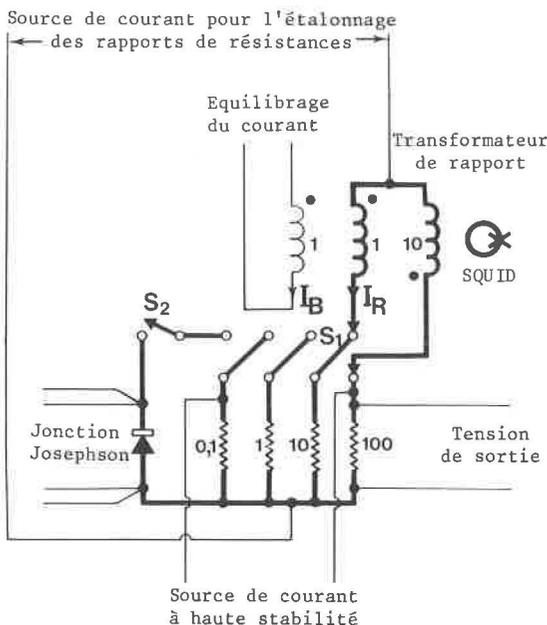


Fig. 2.- Schéma simplifié de l'étalon cryogénique de force électromotrice à effet Josephson utilisant un transformateur à supraconduction pour courant continu.

Les rapports des résistances sont étalonnés avec une précision meilleure que 1×10^{-8} en appliquant des corrections appropriées pour tenir compte du coefficient de charge. On a constaté que ces résistances se comportent de façon satisfaisante quand

elles sont soumises à des cycles thermiques répétés [6].

On dispose finalement d'un diviseur à résistances étaloné de rapport 1000/1, comprenant les résistances de 100 Ω et de 0,1 Ω , que l'on utilise ensuite pour comparer la force électromotrice d'une jonction Josephson à pointe à celle d'une pile étalon.

Un courant de haute stabilité, contrôlé par la pile étalon en cours de mesure, traverse le diviseur. La chute de potentiel à travers la résistance de 0,1 Ω , à peu près 1 mV, est comparée à la force électromotrice de la jonction Josephson, en se servant comme détecteur du transformateur dont tous les enroulements sont montés en série [1]. Un interrupteur supraconducteur S_2 relie le détecteur au circuit et on obtient l'équilibre en ajustant la force électromotrice de la jonction par variation de la fréquence des micro-ondes incidentes conformément à la relation

$$V = (h/2e)nf_m$$

dans laquelle h est la constante de Planck, e est la charge de l'électron, f_m la fréquence de la radiation micro-onde et n un nombre entier.

La tension aux bornes de la résistance de 100 Ω , environ 1 V, est recueillie hors du cryostat afin d'être comparée à la force électromotrice d'une pile étalon. A ce niveau, l'effet de l'instabilité des forces électromotrices thermiques produites dans les conducteurs sortant du cryostat, qui a sévèrement limité la précision des expériences précédentes, n'est plus un problème. On élimine les forces électromotrices thermiques en inversant périodiquement la polarité des tensions.

L'étalon de force électromotrice entièrement cryogénique est maintenant en fonctionnement et continue à être contrôlé. Les résultats qu'il fournit actuellement sont en accord à $0,1 \times 10^{-6}$ près avec ceux donnés par le dispositif Josephson original, dans lequel on utilise un comparateur de tensions continues classique fonctionnant à la température ambiante.

BIBLIOGRAPHIE

1. HARVEY (I.K.), MACFARLANE (J.C.) et FRENKEL (R.B.), *Metrologia*, 8, 1972, pp. 114-124.
2. HARVEY (I.K.), *Rev. Sc. Instr.*, 43, 1972, p. 1626.
3. HARVEY (I.K.), *J. Phys. E*, 6, 1973, p. 812.

4. ZIMMERMAN (J.E.), THIENE (P.) et HARDING (J.T.), *J. Appl. Phys.*, 41, 1970, p. 1572.
 5. SULLIVAN (D.B.), *Rev. Sc. Instr.*, 42, 1971, p. 612.
 6. HARVEY (I.K.) et COLLINS (H.C.), *Rev. Sc. Instr.*, 44, 1973, p. 1700.
-

Contrôle à long terme de l'étalon australien de force électromotrice au moyen de l'effet Josephson

par I. K. HARVEY et J. C. MACFARLANE

National Measurement Laboratory (Australie)

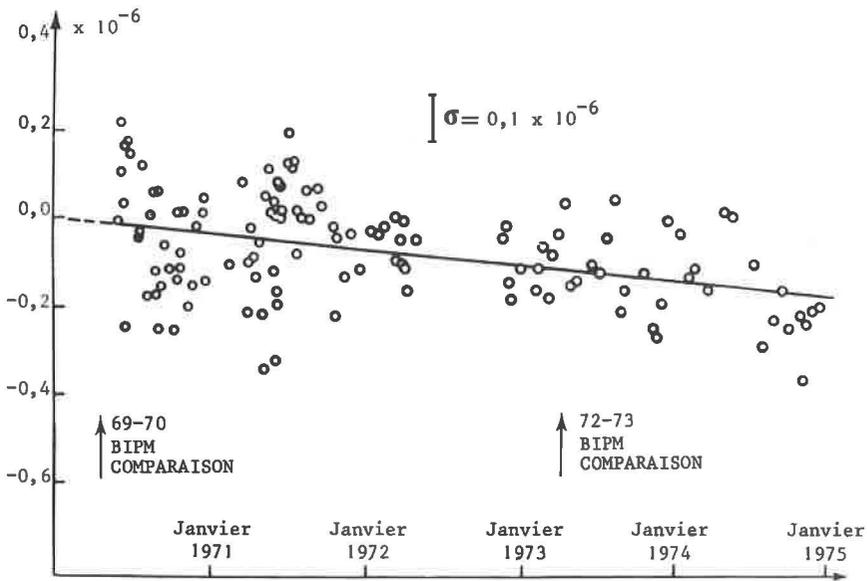
(Document CCE/75-10)

Depuis le 29 mai 1970 le groupe de 7 piles étalons Weston, qui constituait auparavant l'étalon australien de force électromotrice, a été contrôlé avec une précision de 1×10^{-7} en se servant de l'effet Josephson.

Depuis janvier 1973, l'étalon de force électromotrice est conservé à l'aide de l'effet Josephson et le groupe des 7 piles étalons a été relégué au rang d'étalon secondaire. Les piles étalons sont toujours conservées exactement de la façon déjà décrite [1] et l'appareil à effet Josephson qui constitue maintenant l'étalon de force électromotrice n'a pas subi de modifications significatives. L'incorporation d'une jonction Josephson à pointe préajustée a permis des opérations successives sans réglage de la jonction et a simplifié le mode opératoire. Des améliorations ont aussi été apportées aux techniques d'inter-comparaison des piles étalons.

La figure donne les résultats du contrôle du groupe des 7 piles étalons pendant plus de quatre ans. Ces résultats montrent l'excellente stabilité du groupe sur une longue période puisque le groupe n'a dérivé que de $1,5 \times 10^{-7}$ en quatre ans.

1. HARVEY (I.K.), MACFARLANE (J.C.) et FRANKEL (R.B.), *Metrologia*, 8, 1972, pp. 114-124.



Résultats des mesures de la force électromotrice moyenne des piles du groupe de référence du N.M.L. au moyen de l'effet Josephson alternatif.

**Détermination de $2 e/h$
au moyen de l'effet Josephson à l'E.T.L.**

par T. ENDO, M. KOYANAGI,
S. KOGA, G. YONEZAKI et A. NAKAMURA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

(Traduction du Document CCE/75-23)

Pour la détermination de $2 e/h$ au moyen de l'effet Josephson on a utilisé des jonctions plomb-oxyde de plomb-plomb. On a obtenu des paliers stables à un niveau voisin de 1 mV en irradiant les jonctions à 10 GHz. Dans le domaine des tensions assez faibles, comme 1 mV, la stabilité du palier dépend du comportement du courant d'effet tunnel des quasi-particules en présence du champ hyperfréquence.

Pour comparer la tension Josephson à la force électromotrice d'une pile étalon, on utilise un diviseur de tension de rapport 900/1. Ce diviseur de tension comporte deux séries de résistances du type Hamon. L'une comprend trois résistances de 300 Ω et l'autre dix résistances de 10 Ω . Le diviseur est placé dans un bain d'huile à 23 °C dont la stabilité de température est meilleure que 0,005 °C. L'incertitude sur la valeur du rapport du diviseur est de $0,14 \times 10^{-6}$. Une force électromotrice thermoélectrique d'environ 70 nV prend naissance dans les conducteurs qui relient la jonction, maintenue à la température de l'hélium liquide, au circuit de comparaison, maintenu à la température ambiante. Cette force électromotrice est essentiellement compensée par une tension produite dans une résistance de 200 m Ω placée entre la jonction et le galvanomètre. La dérive de la force électromotrice en fonction du temps est

réduite à 2 nV/h grâce à une protection thermique soignée du condensateur dans le cryostat.

On a obtenu comme résultat :

$$2 e/h = 483\,594,31 \pm 0,13 (0,27 \times 10^{-6}) \text{ GHz/V}_{\text{ETL-74}}.$$

L'incertitude la plus importante provient de la comparaison des piles étalons utilisées dans l'expérience avec l'étalon national de tension. Plusieurs nouvelles études sont actuellement en cours. Il sera également rendu compte des résultats de ces études à la Cinquième Conférence sur les masses atomiques et les constantes fondamentales (AMCO 5).

**Détermination de $2e/h$
au moyen de l'effet Josephson alternatif à l'I.M.M.**

par K. KRASNOV, V. MASOUROV et E. FRANTSOUZ

Institut de Métrologie D. I. Mendéléév (U.R.S.S.)

(Document CCE/75-14)

Résumé. - Les mesures de $h/2e$ ont été effectuées à l'I.M.M. en 1974, en utilisant les échelons de potentiel induits sur la caractéristique courant-tension de la jonction Josephson (J.J.). On a employé des jonctions à couches minces du type $Pb-Pb_xO_y-Pb$. La puissance de sortie du générateur de rayonnement hyperfréquence était de l'ordre de 500 mW, la fréquence pouvant être choisie dans la bande 8,78-8,85 GHz avec une instabilité relative inférieure à 1×10^{-8} par minute.

La tension aux bornes de la jonction était comprise entre 4 et 10 mV ; elle était comparée à la force électromotrice d'une pile étalon à l'aide d'un comparateur à cascade ("cascade interchanged") à résistances imprimées. L'erreur d'étalonnage du comparateur était inférieure à 1×10^{-7} .

Compte tenu d'une incertitude de 4×10^{-7} sur la valeur des piles utilisées dans les expériences, valeur exprimée en fonction de l'unité de force électromotrice conservée à l'I.M.M., on a obtenu :

$$h/2e = 2,067\ 850\ 3 \times 10^{-15} \text{ V}_{\text{IMM}}/\text{Hz.}$$

En 1974, on a déterminé à l'I.M.M. la valeur du rapport $h/2e$ en utilisant les échelons de potentiel qui apparaissent sur la caractéristique courant-tension d'une jonction Josephson placée dans un champ électromagnétique de très haute fréquence [1, 2, 3].

La valeur $h/2e$ a été déterminée en fonction de la valeur moyenne de la force électromotrice de deux piles étalons en utilisant des jonctions Josephson à couches de $Pb-Pb_xO_y-Pb$, obtenues par pulvérisation dans le vide. Quatre jonctions étaient

préparées simultanément sur une plaquette de verre selon le schéma de la figure 1. Ce schéma permet de mettre en série deux jonctions choisies arbitrairement. L'influence parasite d'une oxydation des bords de la couche inférieure est éliminée grâce à une couche diélectrique intermédiaire. La valeur du courant critique pour les jonctions utilisées était de l'ordre de 2 mA ; elle était souvent la même à $\pm 10\%$ près pour les jonctions préparées sur une même plaquette.

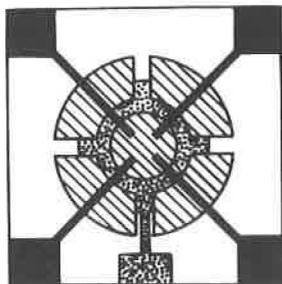


Fig. 1.- Jonctions Josephson.

- couche inférieure
- couche GeO
- couche supérieure

Pour obtenir les échelons de potentiel souhaités sur la caractéristique courant-tension, on plaçait les jonctions de deux plaquettes refroidies jusqu'à une température inférieure à 3,4 K dans un champ électromagnétique de fréquence comprise entre 8 780 et 8 850 MHz. Le champ était fourni par un klystron dont la puissance de sortie était de l'ordre de 500 mW et dont la fréquence était stabilisée en l'asservissant à celle d'un oscillateur à quartz par contrôle de phase automatique. Les mesures de fréquence étaient effectuées avec une erreur de l'ordre de 1×10^{-8} par rapport à l'étalon atomique de fréquence. Les tensions Josephson obtenues avec une seule jonction étaient comprises entre 4 et 10 mV, la hauteur des marches de courant pour une tension de 4 à 5 mV étant de 300 μ A.

Un comparateur de tensions à cascade auto-contrôlable était utilisé pour effectuer la comparaison de la tension Josephson à la force électromotrice d'une pile étalon^[3]. Ce comparateur permet d'obtenir une série de rapports : depuis 1/1 jusqu'à 1/1024, avec une incertitude de 2×10^{-7} pour le rapport 1/1000 et de 5×10^{-8} ou moins pour les rapports égaux ou supérieurs à 1/250. La partie essentielle du comparateur

comporte deux circuits réalisés sous forme de deux plaques identiques et constitués de résistances imprimées de valeur nominale 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 Ω ; ces résistances sont placées dans un thermostat dont la température est constante à mieux que 0,03 K. La valeur de la résistance de base a été choisie égale à 1 Ω en tenant compte des conditions de fonctionnement du diviseur et des caractéristiques de l'amplificateur galvanométrique (sensibilité 4×10^{-10} V, résistance du cadre 10 Ω).

Les contrôles que nous avons effectués ont montré que les coefficients de température des résistances étaient compris entre 3 et $6 \times 10^{-6}/K$; les coefficients de température des rapports qui en résultaient ne dépassaient pas $3 \times 10^{-7}/K$.

Les circuits du diviseur étaient alimentés par des piles au mercure (aussi bien lors de l'étalonnage que lors des mesures). L'amplificateur galvanométrique était utilisé dans le circuit de la pile étalon comme indicateur de zéro, une division de l'échelle correspondant à 2×10^{-8} V pour la plus grande sensibilité.

Deux piles étalons placées dans un thermostat à air dont la température était stabilisée et uniforme à 1 mK près, étaient utilisées pour effectuer les mesures. Ces piles étaient comparées avec l'"étalon de travail" du volt avant et après les mesures par l'intermédiaire d'un câble coaxial d'une longueur d'environ 60 m. La force électromotrice thermique du câble ne dépassait pas 0,05 μ V, sa dérive aléatoire étant au maximum de 0,04 μ V par heure ; la résistance d'isolement du câble n'était jamais inférieure à 10^{12} Ω .

L'installation de mesure des tensions continues et le cryostat contenant les jonctions Josephson étaient placés dans une cabine blindée pour les protéger des champs électromagnétiques parasites aux radiofréquences. Le cryostat était entouré d'un blindage à plusieurs couches (de "mumétal"). Un blindage supraconducteur, constitué d'un cylindre de plomb, entourait l'extrémité du guide d'ondes contenant les jonctions Josephson.

Les mesures de $h/2e$ ont été effectuées avec des jonctions Josephson dont la fréquence de résonance était dans la bande de fréquences du générateur d'hyperfréquences. Le domaine de variation admissible du courant de polarisation des jonctions, pour des tensions de 3 à 4 mV, était compris entre 100 et 200 μ A. On obtenait d'abord la caractéristique courant-tension désirée par ajustage de la fréquence et de la puissance du générateur hyperfréquence ; puis après avoir choisi le point de

fonctionnement sur cette caractéristique et le rapport convenable du diviseur de tension, on attendait un certain temps avant d'entreprendre les mesures pour que les gradients de température dans le cryostat soient constants. La différence de potentiel fournie par le diviseur de tension et opposée à la force électromotrice de la pile étalon était ajustée en agissant sur le courant d'alimentation du diviseur. On compensait la force électromotrice thermique des conducteurs qui relient la jonction au diviseur et à l'indicateur d'équilibre quand la tension aux bornes de la jonction était nulle. L'équilibrage du circuit à faible tension était effectué en modifiant la fréquence du générateur pour ajuster la tension Josephson. Après équilibrage et enregistrement de la fréquence on inversait le sens du courant dans la jonction et dans le diviseur ainsi que la polarité de la pile étalon, puis on réalisait un nouvel équilibrage. Le résultat final représente la valeur moyenne de plusieurs paires d'équilibrages.

Le calcul de l'incertitude finale des comparaisons de la force électromotrice des piles étalons à la tension Josephson est donné dans le tableau suivant.

<i>Causes d'erreur</i>	<i>Importance de l'erreur</i>
1. Limite de sensibilité de l'indicateur de zéro dans le circuit de la jonction Josephson	7×10^{-8}
2. Limite de sensibilité de l'indicateur de zéro dans le circuit de la pile étalon	2×10^{-8}
3. Erreur d'étalonnage du comparateur de tension	7×10^{-8}
4. Instabilité de la force électromotrice thermique dans le circuit de la jonction Josephson	2×10^{-8}
5. Instabilité de la fréquence du rayonnement électromagnétique	1×10^{-8}
6. Erreur de mesure de la fréquence	1×10^{-8}
Incertitude totale	$\approx 1 \times 10^{-7}$

Si l'on tient compte de l'erreur d'étalonnage des piles utilisées dans les expériences, erreur évaluée à 4×10^{-7} , on obtient finalement :

$$h/2e = 2,067\ 850\ 3 \times 10^{-15} \text{ V}_{\text{I.M.M.}} / \text{Hz.}$$

Lorsque la force électromotrice des piles utilisées dans les comparaisons sera connue en fonction du volt réalisé à l'I.M.M. avec une incertitude plus petite et quand nous aurons

amélioré notre installation expérimentale, nous pensons pouvoir définir $h/2e$ avec une précision comprise entre 5 et 7×10^{-8} .

BIBLIOGRAPHIE

1. FINNEGAN (T.F.), DENENSTEIN (A.) and LANGENBERG (D.N.), AC-Josephson-effect determination of e/h with sub-part-per-million accuracy, *Phys. Rev. Letters*, 24, 13, 1970, p. 738.
 2. HARVEY (I.K.), MACFARLANE (J.C.) and FRENKEL (R.B.), Determination of $2e/h$ based on the AC-Josephson effect, *Ibid.*, 25, 13, 1970, p. 853.
 3. FIELD (B.F.), FINNEGAN (T.F.) and TOOTS (J.), Volt maintenance at NBS via $2e/h$: a new definition of the NBS volt Institute for Basic Standards, National Bureau of Standards, *Metrologia*, 9, 1973, pp. 155-166.
-

**Note sur l'état des mesures
de l'effet Josephson au B.I.P.M.**

par T. J. WITT

Bureau International des Poids et Mesures

(Document CCE/75-32)

Depuis février 1974, on effectue des mesures au moyen de l'effet Josephson pour contrôler l'évolution des étalons de force électromotrice qui conservent le volt au B.I.P.M.

On utilise à cet effet un générateur de rayonnement hyperfréquence à 10 GHz, des jonctions "tunnel" plomb-oxyde de plomb-plomb et un comparateur de tensions de rapport 100/1 constitué par deux dispositifs (type série-parallèle) disposés en série.

Sur la figure 1 nous avons porté les valeurs moyennes de 28 séries de déterminations de $2 e/h$ en fonction de V_{69-BI} (unité de force électromotrice conservée par le B.I.P.M. et susceptible de dériver en fonction du temps).

Pour toutes les mesures faites après le 4 octobre 1974, on vérifie, immédiatement avant et immédiatement après chaque série de déterminations, la force électromotrice de l'étalon de travail (pile contenue dans une enceinte thermorégulée commerciale) utilisé dans la mesure de l'effet Josephson ; la force électromotrice de cette pile est comparée à celle d'un groupe auxiliaire de piles conservées dans une seconde enceinte, identique à la première, mais conservée à température ambiante constante. Les piles de cette seconde enceinte sont comparées, tous les deux ou trois mois, aux 42 piles qui "conservent" V_{69-BI} (on a fait en tout 4 déterminations de ce type). Pour les quatre

premiers points de la figure 1, on ne disposait pas encore du groupe auxiliaire et les incertitudes sont assez élevées (environ 3×10^{-7}).

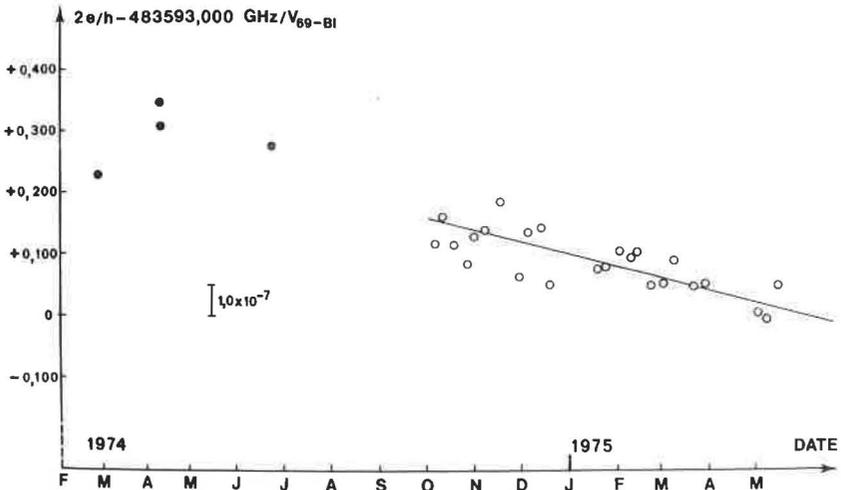


Fig. 1.- Résultats des mesures de $2 e/h$ effectuées au B.I.P.M. depuis février 1974. Chaque point représente la moyenne de 4 à 8 mesures faites le même jour. Pour les résultats les plus récents l'écart-type de la moyenne d'une série est $< 3 \times 10^{-8}$.

La droite a été calculée par la méthode des moindres carrés en utilisant les résultats représentés par les cercles blancs. Sa pente correspond à la dérive de V_{69-BI} . Les quatre cercles noirs sont relatifs aux mesures préliminaires qui étaient entachées d'incertitudes beaucoup plus élevées.

La droite représentée sur la figure a été ajustée par la méthode des moindres carrés, en utilisant seulement les résultats des mesures faites entre octobre 1974 et mai 1975. On constate que V_{69-BI} dérive d'environ $-0,48 \mu V$ par an. La valeur moyenne de $2 e/h$ au 1^{er} janvier 1975 était $483\,593,100 \text{ GHz}/V_{69-BI}$.

L'incertitude totale (1σ) sur cette valeur est environ 7×10^{-8} ; elle est essentiellement due aux incertitudes sur les valeurs des piles étalons.

Si l'on tient compte des résultats de la 13^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice effectuée en 1973 (Annexe E 3), notre résultat est en accord avec ceux publiés par d'autres laboratoires; mais cet accord peut être fortuit: nous devons extrapoler notre résultat sur une période de deux années en utilisant la valeur obtenue pour la dérive du groupe

de référence du B.I.P.M., valeur qui n'est déterminée qu'à 30 % près.

Dans le but de comparer nos résultats et les principaux appareils qui constituent notre installation à ceux de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, nous avons transporté en voiture à Braunschweig le comparateur de tensions, le cryostat, les jonctions et les galvanomètres. Les résultats des trois semaines de mesure font apparaître une différence inférieure à 5×10^{-8} entre les valeurs de $2 e/h$ respectivement déterminées avec l'appareil de la P.T.B. et avec celui du B.I.P.M., bien que la fréquence, le type de jonction, la température et le type de comparateur de tensions utilisés dans les deux laboratoires soient très différents. Comme les incertitudes dues au rattachement de l'étalon de travail au groupe de référence qui conserve l'unité de f.é.m. n'interviennent plus dans cette comparaison, on estime que l'incertitude de la comparaison est d'environ $4,3 \times 10^{-8}$ (1σ), soit 3×10^{-8} pour chaque appareil. Ceci représente une amélioration d'un facteur 5 ou plus par rapport à l'exactitude des comparaisons effectuées au moyen de piles étalons transportées d'un laboratoire à l'autre.

(Mai 1975 ;
révisé en juillet 1975)

Détermination absolue de l'ohm au L.C.I.E.

par N. ELNÉKAVÉ

Laboratoire Central des Industries Électriques (France)

(Document CCE/75-12)

Une détermination absolue de l'ohm à partir de l'étalon cylindrique de capacité à cinq électrodes^[1,2] et de la fréquence a été effectuée au L.C.I.E. en février et mars 1975.

Les étapes de la détermination étaient les suivantes :

- Passage de l'étalon cylindrique de capacité (0,25 x 2 pF) aux capacités (5000 pF) du pont fréquencemétrique (pont d'Ogawa) à l'aide d'une chaîne d'étalons secondaires de 0,5 pF, 10 pF, 100 pF, 1000 pF et de bras de proportions à transformateurs.

- Transfert capacité-résistance au pont d'Ogawa, la fréquence étant un des termes d'équilibre du pont. Les résistances utilisées dans le pont avaient une valeur nominale de 40 000 Ω et la fréquence demeurait très voisine de 795 Hz.

- La base nationale de résistance était comparée aux résistances déterminées au pont d'Ogawa à l'aide de deux passages successifs : 1 Ω /100 Ω et 100 Ω /10 000 Ω effectués avec des éléments de proportion série-parallèle de type Hamon.

L'accroissement entre 0 et 795 Hz des résistances de 40 000 Ω (Vishay type HA) a été estimé à $+ 0,5 \times 10^{-6}$. Cette valeur, encore assez mal déterminée, doit faire l'objet de nouvelles mesures.

Le résultat de la détermination de l'ohm s'exprime de la manière suivante:

$$1 \Omega_{\text{LCIE-69}} = (1 - 0,33 \times 10^{-6}) \Omega.$$

Lors des comparaisons de 1973, le B.I.P.M. avait indiqué que

$$1 \Omega_{\text{LCIE-69}} = 1 \Omega_{69\text{-BI}} + 0,63 \mu\Omega.$$

Si l'on ne tient pas compte d'une éventuelle dérive des étalons de conservation, on déduit:

$$1 \Omega_{69\text{-BI}} = (1 - 0,96 \times 10^{-6}) \Omega.$$

Les erreurs probables des différentes étapes de la détermination sont estimées à :

- Étalon absolu de capacité	1 x 10 ⁻⁶
- Transfert 0,5 pF/5000 pF	0,5 x 10 ⁻⁶
- Pont d'Ogawa	0,5 x 10 ⁻⁶
- Transfert 1 Ω/40 000 Ω	0,7 x 10 ⁻⁶
- Variation des résistances avec la fréquence	0,5 x 10 ⁻⁶

(19 mars 1975 ;
révisé le 22 mai 1975)

BIBLIOGRAPHIE

1. ELNÉKAVÉ (N.), Étalons calculés de capacité électrique, *Comité Consultatif d'Electricité*, 13^e session, 1972, pp. E 57-60.
 2. ELNÉKAVÉ (N.), Deux étalons calculés de capacité électrique, *Bull. d'Information du Bureau National de Métrologie* (France), 4, N° 13, pp. 3-9.
-

Réalisation de l'unité de capacité électrique à l'I.M.M.

par I. KROTKOV, V. VIKTOROV et T. FROUDKO

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (U.R.S.S.)

(Document CCE/75-13)

Résumé. - Ce document contient une brève description de l'ensemble des appareils qui permettent de réaliser l'étalon primaire national du farad en U.R.S.S. Cet ensemble comprend : un condensateur calculable dont on modifie la capacité de façon originale, un interféromètre et un pont de mesure électrique. La méthode de réalisation et de conservation du farad et la précision obtenue sont aussi données.

Le rapport de l'I.M.M. présenté au Comité Consultatif d'Electricité en 1957^[1] donnait des renseignements sur l'étalon primaire de capacité électrique qui représentait alors l'unité avec une incertitude de l'ordre de 1×10^{-5} . L'étalon primaire d'inductance^[2] composé d'un groupe de bobines à inductance calculable était utilisé à cette époque pour rattacher le farad aux unités SI de base.

Durant les dernières années, un nouveau dispositif de mesure a été construit à l'I.M.M. dans le but d'améliorer la précision de la réalisation et de la conservation de l'unité de capacité électrique. Ce nouveau dispositif comprend :

- un condensateur à armatures en croix (type Thompson-Lampard) dont on peut faire varier la capacité de quantités calculables ; ce condensateur est utilisé pour rattacher le farad aux unités de base ;
- un interféromètre avec lequel on mesure la longueur effective des armatures du condensateur calculable ;

- un pont de mesure électrique utilisé pour comparer les capacités entre armatures opposées du condensateur calculable aux capacités des condensateurs étalons secondaires.

Condensateur à variation de capacité calculable

Le condensateur comprend quatre armatures cylindriques en acier disposées verticalement. La section transversale de ces armatures (1,2,3,4) est représentée sur la figure 1. Ce condensateur diffère de ceux de même type par ses armatures 1 et 2 (portées à un faible potentiel) qui sont divisées en quatre parties isolées l'une de l'autre par des interstices spéciaux. Les deux parties extrêmes servent de garde tandis que les deux autres, de longueur différente ("grande" b_g et "petite" b_p), constituent les armatures actives et sont munies de bornes électriques indépendantes.

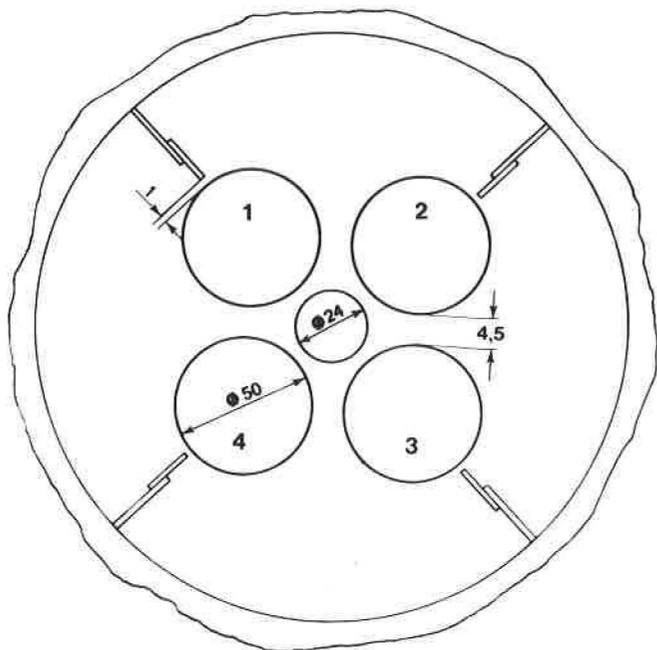


Fig. 1.- Condensateur à variation de capacité calculable.

Coupe transversale schématique ; dimensions en millimètres.

La variation de la capacité du condensateur calculable est obtenue [3] en mettant en circuit des parties différentes des armatures, ce qui équivaut à modifier leurs longueurs effectives. Nous appelons ce procédé "méthode de commutation élec-

trique des armatures" (CE). Les armatures 3, 4 (*fig. 1*) qui sont portées tour à tour au potentiel "élevé" sont massives. Un tube écran mobile et un tube écran fixe sont disposés dans l'espace entre les armatures. Les quatre armatures sont liées mécaniquement par deux plaques spéciales qui permettent d'ajuster leurs positions ; elles sont placées, ainsi qu'une partie de l'interféromètre, dans un thermostat vide d'air.

Quand les opérations nécessaires pour réaliser le farad sont terminées, le bloc des électrodes est gardé dans le thermostat vide d'air et sert à conserver l'unité (méthode CE).

Interféromètre

L'interféromètre diffère des interféromètres utilisés ordinairement avec les condensateurs calculables. Conformément à la proposition de A.I. Kartachev, il est constitué de deux interféromètres placés en série et dont le rapport des longueurs est rendu égal à un nombre entier ; on utilise pour cela les franges de superposition en lumière blanche. Le premier interféromètre est un Fabry-Pérot tubulaire de longueur h_{FP} . Le second est aussi un Fabry-Pérot mais la distance entre ses miroirs, qui sont fixés aux extrémités (diamètre 24 mm) des tubes écrans, est variable (*fig. 1*) ; il est placé dans le thermostat vide d'air. Le tube écran mobile est muni de mécanismes de déplacement "grossier" et "fin" ; il faut en effet pouvoir régler avec précision la distance entre les miroirs pour l'ajuster sur un multiple de h_{FP} . Au déplacement de l'écran correspond une variation connue de la longueur effective des armatures, c'est-à-dire de la capacité du condensateur calculable. Cette méthode bien connue sera désignée plus loin sous le nom de "déplacement mécanique" des armatures (DM).

Installation de mesure électrique

L'installation de mesure comprend : un pont capacitif à transformateur, une source d'alimentation de fréquence 1000 Hz et un indicateur d'équilibre d'une sensibilité d'environ 1×10^{-8} . L'un des bras de comparaison du pont est constitué par le condensateur calculable monté "en parallèle" avec un condensateur de capacité variable C_v relié à la borne 0,1 du

diviseur de tension; l'autre bras est constitué par des condensateurs de capacité fixe. Les bras de proportion sont constitués par un diviseur de tension à transformateur. Le transformateur le plus récent diffère des transformateurs ordinairement utilisés par la construction de son circuit magnétique formé d'anneaux en ferrite qui entourent l'enroulement d'aimantation.

Méthode de reproduction du farad

Suivant la manière dont on fait varier la longueur effective des armatures, la variation ΔC de la capacité s'exprime par l'une ou l'autre des expressions suivantes :

$$\Delta C(\text{CE}) = \epsilon_r K \left\{ 0,5 \left[(b_g(13) + b_g(24)) - (b_p(13) + b_p(24)) \right] + \delta b(\text{CE}) \right\} \quad (1)$$

$$\Delta C(\text{DM}) = \epsilon_r K \left\{ b_{\text{FP}} + \delta b(\text{DM}) \right\}$$

$$\Delta C(\text{CE}) = \Delta C(\text{DM}) + F(\Delta C_v)$$

$$\text{où } K \text{ (constante de Thompson-Lampard)} = \frac{\ln 2}{\mu_0 c^2 \pi} ;$$

ϵ_r est la permittivité relative ($\epsilon_r = 1$ dans le vide) ;

μ_0 est la perméabilité du vide ($\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$ H/m) ;

c est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide ;

δb est une correction due à l'asymétrie longitudinale et transversale du condensateur ;

$F(\Delta C_v)$ est une fonction connue des lectures de l'échelle du condensateur à capacité variable C_v , utilisé pour étalonner les étalons de capacité secondaires suivant la méthode combinée (CE-DM) proposée par I. Krotkov et V. Viktorov.

*Résultats de la réalisation du farad
et du transfert de la valeur de l'unité*

La longueur du Fabry-Pérot de référence a été déterminée par Y. Efrémov et K. Latycheva au moyen de l'installation interférentielle principale de l'I.M.M., avec une incertitude de 6×10^{-8} .

Les résultats des séries de mesures électriques effectuées au cours des trois dernières années par les auteurs de ce rapport et par V. Gourianov, I. Etsine, L. Maler, O. Chvédov, Y. Sémionov, O. Bordilovskaia ont été traités par la formule (1); on en a tiré les conclusions suivantes :

- l'écart quadratique moyen de la valeur de l'unité de capacité électrique conservée à l'aide du condensateur calculable, par la méthode (CE), durant les trois dernières années, reste compris entre 2×10^{-7} et 5×10^{-7} ;

- l'écart quadratique moyen de la valeur de l'unité de capacité électrique transférée sur l'étalon secondaire par la méthode (CE-DM) est de 7×10^{-7} .

Les recherches sur la stabilité de la valeur moyenne du groupe-étalon utilisé pour les comparaisons internationales ont été effectuées par T. Goustchina et L. Maler. Grâce à la stabilité de la valeur fournie par le condensateur calculable on a obtenu le résultat suivant, en utilisant la méthode (CE) :

- l'instabilité de la valeur moyenne de l'unité de capacité conservée par l'étalon secondaire durant une année ne dépasse pas 1×10^{-6} .

CONCLUSION

Les perfectionnements en cours de l'ensemble des dispositifs de mesure qui constituent actuellement l'étalon national primaire du farad en U.R.S.S. ont pour but d'améliorer la précision. L'erreur de réalisation du farad doit être réduite à 1×10^{-7} ou 2×10^{-7} .

L'étalon primaire de capacité joue un rôle important dans l'amélioration du système des étalons électriques^[4]. Il permet d'augmenter, indirectement, la précision de réalisation d'autres unités électriques et magnétiques, telles que l'ohm, le henry, le weber et le tesla. L'erreur de réalisation de ces unités à l'aide du nouveau système d'étalons doit être 2 à 3 fois plus petite qu'avec les méthodes utilisées auparavant.

BIBLIOGRAPHIE

1. KROTKOV (I.), Etalon primaire de l'unité de capacité de l'U.R.S.S., *Comité Consultatif d'Electricité*, 8^e session, 1957, p. E 72-74.

2. KROTKOV (I.), Etalon primaire de l'unité d'inductance de l'U.R.S.S.,
Comité Consultatif d'Electricité, 8^e session, 1957, pp. E 69-71.
 3. KROTKOV (I.N.) et VIKTOROV (V.V.), Nouveau mode de variation de la
capacité d'un condensateur en croix cylindrique, *Ibid.*, 12^e session,
1968, pp. E 56-59.
 4. AROUTUNOV (V.O.), Bases de la perfection du système des étalons des
unités électriques, *Izmeritel. Tekh.*, N° 10, 1974.
-

Note sur la mesure absolue du volt

par T. YAMAZAKI, M. KOBAYASHI et K. SHIDA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

(Traduction du Document CCE/75-19)

On a construit un prototype du dispositif de mesure absolue de la tension fondé sur la méthode de variation d'énergie électrostatique^[1] et on en a étudié les parties fondamentales. Le dispositif comprend un condensateur à armatures planes, parallèles et horizontales, une balance à suspension à ruban, un interféromètre, un pont de capacité, une source de courant continu à haute tension stabilisée et un diviseur de tension. L'armature du condensateur qui est portée au potentiel élevé constant est fixée sur un chariot mobile le long d'un axe vertical, tandis que l'armature à bas potentiel est suspendue au fléau de la balance et reliée à la terre. La différence de potentiel engendre une force électrostatique entre les armatures du condensateur ; cette force est comparée au poids d'une masse étalonnée, par la méthode de substitution, en utilisant la balance. Pour ces mesures, contrairement à l'habitude en matière de pesées, on utilise la balance dans un état stationnaire. On déplace l'armature au potentiel élevé le long de l'axe vertical et on enregistre les variations de la force électrostatique en fonction du déplacement. La longueur du déplacement est étalonnée à l'aide de l'interféromètre. En utilisant ces données on calcule le travail mécanique ΔW nécessaire pour déplacer l'armature au potentiel élevé. Par ailleurs, on mesure

la variation de capacité ΔC du condensateur correspondant au déplacement, par substitution, en fonction de la capacité d'un condensateur de référence, lui-même étalonné au moyen d'un condensateur calculable. La valeur de la tension continue appliquée sur les armatures s'obtient alors en prenant la racine carrée de $2 \Delta W / \Delta C$. Une force électrostatique de 10 mN se manifeste entre les armatures quand la tension continue appliquée est de 4 kV. ΔW égale 50 μJ et ΔC égale 5 pF, pour un déplacement de 5 mm. Pour que la balance ait une grande sensibilité, le centre de gravité du fléau est, par construction, placé aussi près que possible de l'axe de rotation. En conséquence, la résolution et la fidélité de la balance sont étroitement liées aux caractéristiques du ruban de suspension. Si l'on se sert soigneusement de la balance, on peut avoir une résolution meilleure que 1×10^{-6} et une reproductibilité de quelques 10^{-6} . Les nouvelles armatures du condensateur ont été construites en béryllium doré afin de diminuer l'influence des différences de potentiel de contact et de la différence entre la capacité en courant alternatif et la capacité en courant continu. Au cours des mesures préliminaires, la variation de la force électrostatique était inférieure à 9×10^{-6} lors de l'inversion de la polarité de la tension appliquée (inversion du sens du courant) et, dans des conditions ambiantes stables, les fluctuations autour de cette valeur étaient très faibles. On a constaté que la différence de potentiel de contact qui existe entre les armatures est de 10 mV et qu'elle est stable ; par conséquent, on peut tenir compte de son influence en appliquant une correction déterminée préalablement.

La relation entre la force et le déplacement de l'armature au potentiel élevé a été déterminée en utilisant un détecteur photoélectrique monté dans un dispositif à contre-réaction pour asservir la position du fléau de la balance. La force varie de 4 nN pour un déplacement de 5 mm ; cela ne représente qu'une petite fraction de sa valeur initiale. Comme l'électrode se déplace à la vitesse très lente de 0,06 mm par seconde, la relation entre le déplacement et la force peut être enregistrée de façon continue. Cette méthode n'augmente pas l'incertitude sur la valeur calculée de ΔW .

On mesure le déplacement vertical de l'armature au potentiel élevé au moyen d'un interféromètre monté le long de l'axe de symétrie de l'armature. Le nombre de franges est compté avec un compteur réversible et l'excédent fractionnaire est déterminé au moyen d'un oscilloscope. Le déplacement est mesuré avec

une résolution de $0,8 \times 10^{-6}$ et une exactitude supérieure à 1×10^{-6} , si l'on ne tient pas compte des quelques rares erreurs du compteur. Cet interféromètre qui fonctionne avec une lampe au cadmium comme source lumineuse sera remplacé vers la fin de cette année par un interféromètre à laser pour améliorer le rapport signal sur bruit à l'entrée du compteur de franges. Peut-être sera-t-il alors possible d'éliminer les erreurs de comptage dues à des vitesses de déplacement accidentellement élevées, car la bande passante du circuit d'entrée du compteur pourra être sensiblement élargie par rapport à ce qu'elle est actuellement.

L'écart-type des valeurs mesurées de ΔC est de quelques 10^{-6} pour 5 pF. Dans les premiers essais on a observé un désaccord entre les valeurs mesurées de ΔC et de la force. Contrairement à la mesure de ΔW , la mesure de ΔC s'effectue en appliquant au condensateur une tension peu élevée (quelques volts seulement), mais on estime que la différence des capacités qui en résulte est négligeable. Il semble que le désaccord est dû à la construction imparfaite du condensateur, en particulier du dispositif de garde. Dans le courant de l'année on reconstruira le condensateur avec une nouvelle électrode de garde et on le vérifiera de nouveau.

Le générateur de haute tension continue stabilisée comprend : un générateur de tension continue de référence réglable, une source de tension continue asservie et un circuit de compensation. La tension de sortie de la source asservie est comparée à la tension de référence et ses fluctuations sont compensées par le circuit de compensation. Nous pouvons ainsi obtenir une tension réglable, élevée, dont la stabilité est supérieure à 1×10^{-6} . On règle la tension pour produire entre les armatures du condensateur une force électrostatique comparable au poids de la masse étalon de référence de 1 g. La tension obtenue de cette façon est comparée à la force électromotrice d'une pile étalon avec une exactitude supérieure à 1×10^{-6} au moyen d'un diviseur de tension de grande exactitude^[2].

BIBLIOGRAPHIE

1. YAMAZAKI (T.) *et al.*, Absolute measurement of voltage by an electrostatic energy-changing method, *IEEE Trans. on Instr. & Meas.*, IM-21, 1972, p. 372.
2. HIRAYAMA (H.) *et al.*, 10 kV high-accuracy dc voltage divider, *IEEE Trans. on Instr. & Meas.*, IM-23, 1974, p. 314.

**Expérience avec un solénoïde calculable
isolé magnétiquement pour la détermination de γ'_p**

par H. NAKAMURA et A. NAKAMURA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

(Traduction du Document CCE/75-24)

On a obtenu des résultats expérimentaux avec un nouveau système de solénoïde. Un solénoïde à simple couche, d'une longueur de 480 mm et d'un diamètre de 60 mm, est placé dans un parallélépipède en alliage à haute perméabilité, dont les dimensions intérieures sont : 480 mm, 250 mm et 150 mm, et l'épaisseur des parois : 20 mm. Le solénoïde est placé bien dans l'axe du parallélépipède. Dans cette position, les parois perpendiculaires à l'axe du solénoïde jouent le rôle de miroirs pour le champ magnétique produit par le solénoïde. Si la perméabilité du matériau de la paroi est infiniment grande, le système produit le même champ magnétique qu'un solénoïde de longueur infinie. En conséquence, ce système produit un champ magnétique calculable à partir du courant qui circule dans le solénoïde et ce champ est bien protégé contre les perturbations. On appelle ce système : solénoïde calculable magnétiquement isolé (MICS) ^[1]. Le montage expérimental comporte un écran magnétique extérieur supplémentaire d'une longueur de 640 mm. Deux solénoïdes courts (60 mm), de même axe que le solénoïde principal, sont montés entre les écrans intérieur et extérieur ; ces solénoïdes compensent, dans une certaine mesure, l'effet de la perméabilité magnétique finie ($10\ 000 \mu_0$) de la paroi.

L'expérience a été effectuée dans le laboratoire normal sans aucun solénoïde complémentaire pour compenser les perturbations extérieures. Un échantillon d'eau contenu dans une sphère de 20 mm de diamètre fournit un rapport signal/bruit convenable pour le pont à transformateur. La fréquence de résonance est approximativement de 52 kHz, et le courant dans le solénoïde de 1 A. La fréquence de résonance est connue avec une résolution meilleure que 1×10^{-6} , bien que la raie soit élargie (20×10^{-6}) par l'inhomogénéité du champ magnétique. La valeur provisoire de γ'_p dans cette expérience est

$$\gamma'_p = (2,675\ 090 \pm 23 \times 10^{-6}) \times 10^8 \text{ rad s}^{-1} T_{\text{ETL}}^{-1},$$

ce qui est en accord à mieux que 11×10^{-6} près avec la précédente valeur obtenue à l'E.T.L. [2].

BIBLIOGRAPHIE

1. HARA (K.) and NAKAMURA (H.), Atomic Masses and Fundamental Constants 4, ed. by Sanders (J.H.) and Wapstra (A.H.), Plenum Press, N.Y., 1972, p. 462.
2. Comité Consultatif d'Electricité, 13^e session, 1968, pp. E 23-24.

**Le coefficient gyromagnétique du proton
dans un champ magnétique fort**

(Rapport sur les travaux au N.P.L.)

par B. P. KIBBLE

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

(Traduction du Document GCE/75-26)

Nous avons presque achevé une série de mesures du coefficient gyromagnétique du proton par la méthode du champ fort, γ'_p (fort), dans laquelle l'incertitude est d'environ 1×10^{-6} . Dans cette méthode on suspend à l'une des extrémités du fléau d'une balance un enroulement de forme rectangulaire précise, dont la partie inférieure est placée dans un champ magnétique uniforme fort B . On mesure B en compensant par des surcharges la variation de la force verticale subie par l'enroulement quand on inverse le sens du courant qui le parcourt. Ce courant est connu avec exactitude en fonction des étalons du volt et de l'ohm conservés au National Physical Laboratory. La fréquence de précession des protons d'un échantillon d'eau pure placé dans le champ est obtenue simultanément par une technique de résonance magnétique nucléaire ; γ'_p (fort) est le rapport de cette fréquence à B .

Les améliorations principales par rapport aux déterminations antérieures (Thomas, Driscoll et Hipple, 1950, Capptuller, 1961, Yagola, Zingerman et Sepetyi, 1962 et 1966, Kibble et Hunt, 1971) portent sur :

a) L'emploi d'un gros aimant permanent, avec des pôles de 460 mm de diamètre, au lieu d'un électro-aimant. Ainsi l'inhomogénéité résiduelle du champ magnétique est très stable, et l'on évite les courants d'air perturbateurs produits par l'échauffe-

ment des enroulements de l'électro-aimant, courants d'air qui peuvent influencer sur les pesées.

b) L'alignement de l'enroulement, pour éliminer la torsion et le déplacement angulaire de l'élément de liaison entre l'enroulement et la balance, ce qui nous assure que les petits couples ou forces résiduels agissant sur l'enroulement ne sont pas transmis à la balance.

On veille à éliminer les erreurs systématiques en modifiant dans la mesure du possible les paramètres critiques. En particulier, pour rechercher les effets non linéaires, on emploie différents nombres d'ampères-tours ; on examine les résultats obtenus en utilisant individuellement ou en combinaisons les différentes spires de chacun des deux enroulements dont on dispose, pour mettre en évidence d'éventuelles différences entre le trajet moyen du courant et l'axe géométrique des conducteurs.

Les mesures sont en cours et on ne dispose pas encore de l'analyse finale des résultats; on peut cependant admettre comme résultat provisoire : $\gamma_p = 42,576\ 651\ \text{MHz/T}$ en tenant compte des remarques suivantes :

1) Pour l'instant une estimation prudente de l'erreur est de $\pm 2 \times 10^{-6}$, que l'on peut considérer comme un écart-type.

2) Les unités électriques que nous avons utilisées sont le volt et l'ohm conservés au National Physical Laboratory en juin 1974.

3) Le résultat est donné pour le coefficient gyromagnétique apparent du proton dans un échantillon sphérique d'eau pure.

Ce résultat, si on le rapproche des valeurs actuellement rapportées pour les mesures du coefficient gyromagnétique du proton en champ faible (Cohen et Taylor, 1973), implique que le rapport de l'ampère conservé par le B.I.P.M. à l'ampère du SI est environ 6×10^{-6} inférieur à l'unité.

(Février 1975)

BIBLIOGRAPHIE

- CAPPTULLER (H.), Bestimmung des gyromagnetischen Verhältnisses des Protons, *Z. Instrumentenk.*, 69, 7, 1961, pp. 191-198.
- COHEN (E.R.) and TAYLOR (B.N.), The 1973 least-square adjustment of fundamental constants, *J. Phys. Chem. Reference Data*, 2, 4, 1973, pp. 663-734.

KIBBLE (B.P.) and HUNT (G.J.), Results obtained with a prototype apparatus for determining the gyromagnetic ratio of the proton in a high magnetic field, *NPL Quantum Metrology Report*, No. 15, 1971.

THOMAS (H.A.), DRISCOLL (R.L.) and HIPPLE (J.A.), Measurement of the proton moment in absolute units, *Phys. Rev.*, 78, 6, 1950, pp. 787-790.

YAGOLA (G.K.), ZINGERMAN (V.I.) and SEPETYI (V.N.), *Izmer. Tekh.*, 5, 1962, pp. 24-29 (translation : Determination of the gyromagnetic ratio of protons, *Meas. Tech.*, 1962, pp. 387-393).

YAGOLA (G.K.), ZINGERMAN (V.I.) and SEPETYI (V.N.), *Ibid.*, 7, 1966, pp. 44-47 (translation : Determination of the precise value of the proton gyromagnetic ratio in strong magnetic fields, *Meas. Tech.*, 1966, pp. 914-917).

**Rapport sur la comparaison internationale
d'étalons de tension à 1 GHz
en ligne de transmission coaxiale**

par F. X. RIES

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

(Traduction du Document GT-RF/75-1)

L'organisation de la comparaison internationale de tension à la fréquence de 1 GHz a été décidée par le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences à sa session de septembre 1968. Le National Bureau of Standards (N.B.S.), États-Unis, fut désigné comme laboratoire pilote ; les autres laboratoires participants étaient (dans l'ordre de circulation) : le Conseil National de Recherches (N.R.C.), Canada, l'Office National des Mesures (O.M.H.), Hongrie, le National Physical Laboratory (N.P.L.), Royaume-Uni et l'Electrical Quality Assurance Directorate (EQD), Royaume-Uni.

La comparaison a porté sur deux étalons : un micropotentiomètre pour radiofréquences [1] (Pot), fourni par le N.R.C., pour les mesures à 0,2 V (*fig. 1*), et un convertisseur thermique de tension (TVC) fourni par le N.B.S. pour les mesures à 0,8 V (*fig. 2*). Chacun de ces instruments mesure la tension produite aux bornes d'une charge de 50 ohms soit par un courant de radiofréquence (RF), soit par un courant continu (CC), et permet d'évaluer la différence (RF-CC) ; le plan de référence dans lequel on mesure la tension est défini par un connecteur du type GR-900. Contrairement au schéma de circulation suivi au cours de la plupart des comparaisons antérieures, les étalons voyageurs ont été retournés au laboratoire pilote après chaque détermination par l'un des autres labora-

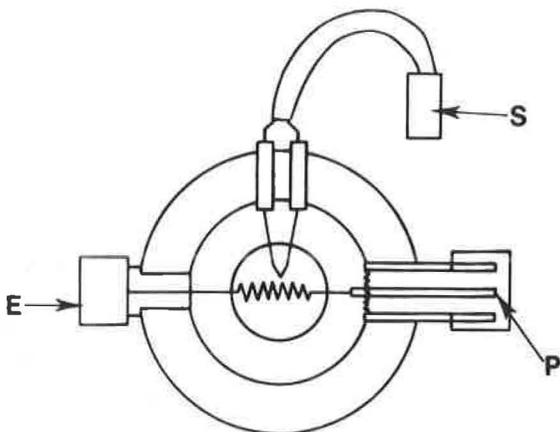


Fig. 1.- Micropotentiomètre pour radiofréquences.

E, Entrée (type N) ; P, Plan de référence pour la tension (connecteur de précision de 14 mm, GR-900) ; S, Sortie du thermocouple (Cannon A3F).

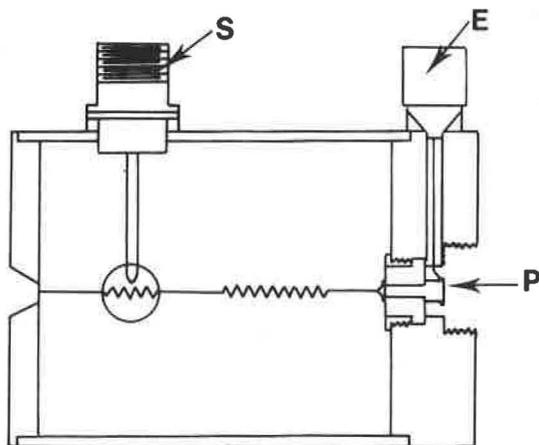


Fig. 2.- Convertisseur thermique de tension avec connecteur d'entrée en T.

E, Entrée (type N mâle) ; P, Plan de référence de tension (connecteur de précision de 14 mm, GR-900) ; S, Sortie du thermocouple (Amphénol MS3102A10SL).

toires participants, pour permettre un meilleur contrôle des résultats et des procédés de mesure.

Les étalons voyageurs avaient les caractéristiques suivantes :

	Pot	TVC
Domaine de tension (V)	0,07 - 0,2	0,03 - 0,85
Fréquence (GHz)	1	1
Plan de référence pour la tension	GR-900, 14 mm	GR-900, 14 mm
Schéma	Fig. 1	Fig. 2

Pour chaque étalon le résultat d'une mesure, c'est-à-dire la différence (RF-CC) [2], est exprimé en centièmes et calculé au moyen de l'expression suivante :

$$\text{différence (RF-CC)} = \frac{V_{RF} - V_{CC}}{V_{CC}} \times 100$$

dans laquelle V_{RF} est la tension de sortie en radiofréquence dans le plan du connecteur GR-900, pour une indication donnée du thermocouple, quand un signal radiofréquence est appliqué à l'entrée.

V_{CC} est la tension continue de sortie dans le plan du connecteur GR-900 pour la même indication du thermocouple, quand une tension continue est appliquée à l'entrée.

Cette méthode est utilisée pour réduire les erreurs de transfert. Le TVC présente une particularité : un connecteur est placé en T à l'entrée de l'instrument (voir fig. 2), dans le but de réduire les erreurs liées à la définition du plan de référence ; l'appareil a été réglé pour obtenir une différence (RF-CC) minimale à 1 GHz.

Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau ci-dessous dans l'ordre chronologique.

Etalon	Différence (RF-CC) en centièmes								Moyenne
	Laboratoire								
	NBS ₁	NRC	NBS ₂	OMH	NBS ₃	NPL	EQD	NBS ₄	
TVC	-0,48	-0,40	-0,48	+0,3	-0,22	+0,21	+0,39	-0,28	+0,03
Pot	+2,37	+2,52	+2,40	+1,9	+2,28	+2,46	+2,22	+2,60	+2,3

Les différences entre les résultats des mesures effectuées par le N.B.S. sont dans les limites normales des erreurs aléatoires estimées par le N.B.S. pour son procédé de mesure. La valeur moyenne donnée dans la dernière colonne du tableau a été calculée en donnant le poids 1 à chacun des résultats du

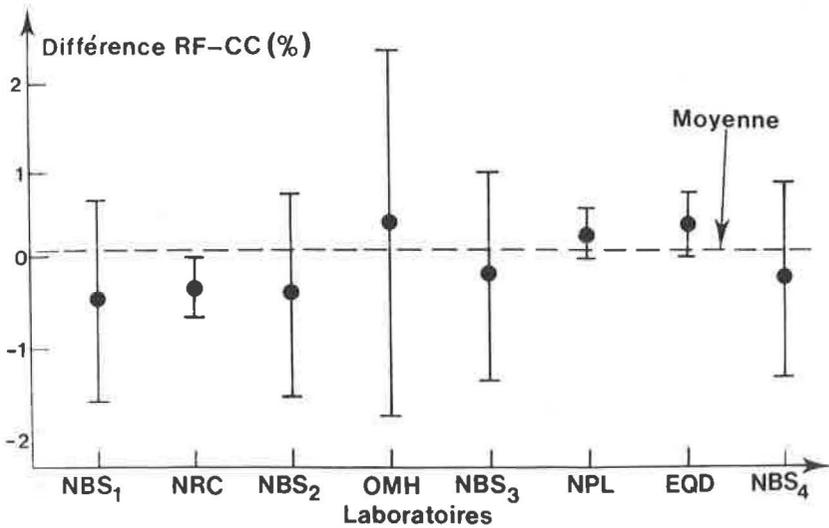


Fig. 3.- Diagramme des mesures relatives au convertisseur thermique de tension (TVC).

Différences (RF-CC), en centièmes, mesurées par les laboratoires participants, dans l'ordre chronologique ; ----- : Moyenne.

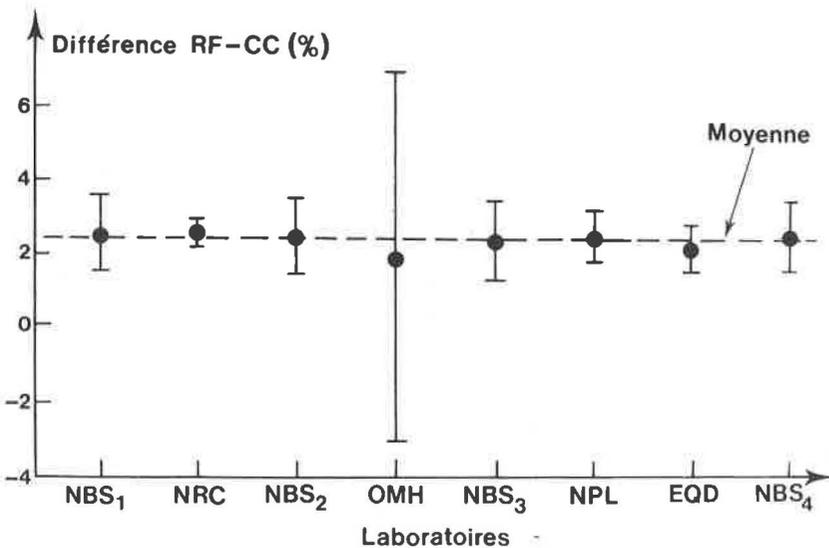


Fig. 4.- Diagramme des mesures relatives au micropotentiomètre (Pot).

Différences (RF-CC), en centièmes, mesurées par les laboratoires participants, dans l'ordre chronologique ; ----- : Moyenne.

N.B.S. et le poids 4 à chacun des résultats fournis par les quatre autres laboratoires.

Les différences entre les valeurs obtenues par les différents laboratoires sont dans les limites d'incertitude totale données par ces laboratoires, limites représentées sur les figures 3 et 4. On voit aussi que l'importance estimée des incertitudes varie largement d'un laboratoire à l'autre, certains laboratoires étant plus prudents que d'autres, si l'on se rapporte à la valeur moyenne. Les résultats reproduits sur les figures 3 et 4 sont disposés dans l'ordre chronologique. D'après les résultats relatifs au TVC (*fig. 3*), une variation des valeurs mesurées en fonction du temps serait possible ; cependant cette variation n'apparaît pas si l'on considère seulement les valeurs du N.B.S.

BIBLIOGRAPHIE

1. SELBY (M.C.), Accurate radio frequency microvoltages, *Trans. AIEE*, Pt. I, Communication and Electronics, 72, 1953, pp. 158-164.
 2. HERMACH (F.L.), Thermal converters as AC-DC transfer standards for current and voltage measurements at audio frequencies, *J. of Research N.B.S.*, 48, 1952, pp. 121-138.
-

**Rapport sur la comparaison internationale
d'étalons de puissance à 10 GHz
sur guides d'ondes CEI R 100**

par J. BLOUET et L. ERARD

Laboratoire Central des Industries Electriques (France)

(Document GT-RF/75-6)

La présente comparaison était pratiquement terminée lors de la réunion de 1972 du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences; toutefois, la totalité des résultats n'étant pas parvenue à cette époque, il n'avait été présenté qu'un compte rendu partiel.

Le présent rapport comprend la totalité des résultats.

La comparaison internationale d'étalons de puissance qui s'est achevée récemment intéressait les laboratoires suivants : pour l'Allemagne, la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (P.T.B.) ; pour le Canada, le Conseil National de Recherches (N.R.C.) ; pour la Hongrie, l'Orszagos Meresüggyi Hivatal (O.M.H.), et pour la France, le Laboratoire Central des Industries Electriques (L.C.I.E.). Pour cette comparaison qui avait débuté en septembre 1971, le L.C.I.E. a joué le rôle de laboratoire pilote.

On a procédé à la comparaison en faisant tourner par permutation circulaire chacun des deux étalons de transfert appartenant à chaque laboratoire conformément au schéma suivant :

$$\begin{array}{ccc} \text{LCIE} & \rightarrow & \text{PTB} \\ \uparrow & & \downarrow \\ \text{OMH} & + & \text{NRC} \end{array}$$

Les étalons de transfert sont constitués par des montures bolométriques sur guide équipées soit d'une thermistance pour

le N.R.C., soit d'un bolomètre à fil pour les trois autres jeux de montures. L'efficacité des montures est mesurée de deux manières différentes : la première utilise un microcalorimètre plongé dans un bain à température constante (cal.) tandis que la seconde s'effectue par comparaison à une monture étalon servant de référence dans chaque laboratoire (comp.).

En raison de la forme géométrique différente des diverses montures, ainsi que de leur bolomètre, quelques problèmes se sont posés aux laboratoires participant à la comparaison. L'O.M.H. a dû construire un adaptateur pour connecter les brides des montures du L.C.I.E. sur son propre calorimètre, tandis que la P.T.B. et le L.C.I.E. ont constaté une instabilité des bolomètres utilisés dans les montures de l'O.M.H.

Les résultats des mesures, centralisés par le laboratoire pilote, sont présentés dans le tableau I dans lequel les laboratoires sont inscrits dans l'ordre de leur participation. Les valeurs reportées sont celles des efficacités réelles η (en centièmes) des montures bolométriques. Dans le but d'uniformiser la présentation des résultats, les valeurs du tableau ont été arrondies au millième. L'évaluation statistique a été effectuée pour toutes les montures.

Chaque colonne du tableau commence par les résultats obtenus par chaque laboratoire sur ses propres montures, au début de la comparaison ; elle se termine par les résultats obtenus lors du retour des montures après le cycle de comparaison. On constate que les valeurs "avant" et les valeurs "après" comparaison sont pratiquement identiques ; la stabilité des étalons de transfert a donc été satisfaisante.

Les moyennes des résultats obtenus sont données dans la première ligne au bas du tableau I ; ces moyennes représentent la meilleure estimation de l'efficacité des différentes montures si on donne aux résultats individuels un poids identique. L'avant-dernière ligne indique l'écart maximal entre la valeur moyenne et les valeurs mesurées. La dernière ligne donne la valeur de l'écart-type sur les valeurs obtenues pour chaque étalon de transfert.

L'analyse des résultats fait apparaître une bonne concordance entre les résultats de la P.T.B., du N.R.C. et du L.C.I.E., alors que les résultats de l'O.M.H. sont sensiblement décalés par rapport aux autres. Ce fait a été mis en évidence en traçant les diagrammes de Youden pour les mesures de chaque laboratoire sur chacune des paires d'étalons de même origine (fig. 1 à 4).

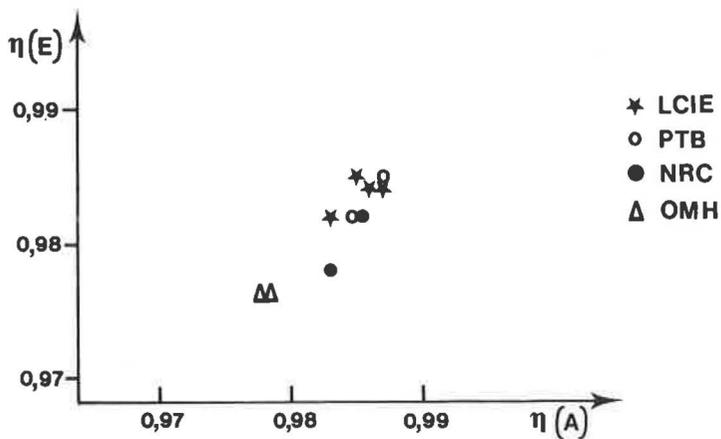


Fig. 1.- Diagramme de Youden pour les montures LCIE A et E.

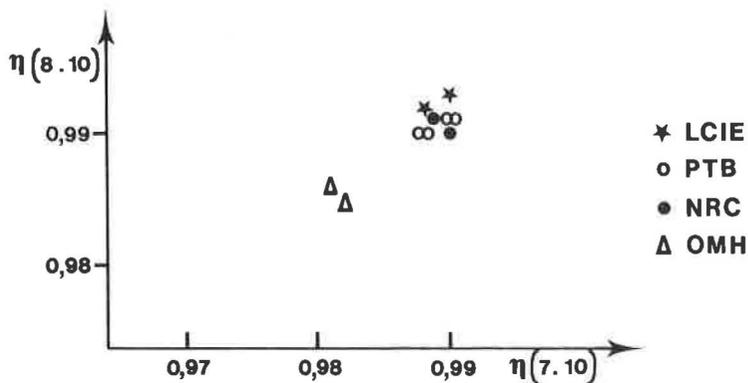


Fig. 2.- Diagramme de Youden pour les montures PTB 7.10 et 8.10.

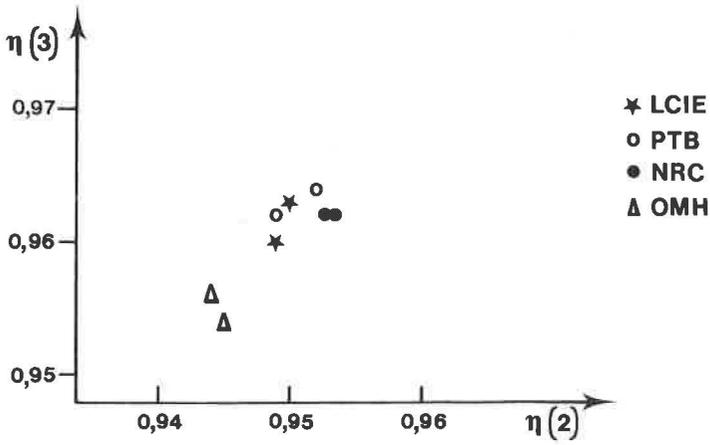


Fig. 3.- Diagramme de Youden pour les montures NRC 2 et 3.

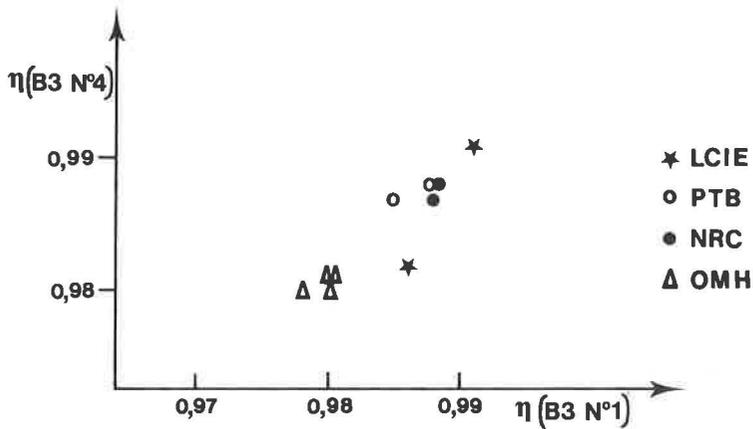


Fig. 4.- Diagramme de Youden pour les montures OMH B3 N°1 et B3 N°4.

TABLEAU I

Efficacité η des montures bolométriques

Valeurs mesurées, en centièmes, par la méthode calorimétrique (cal.) ou par comparaison à un étalon de référence (comp.). Les nombres ont été arrondis au millième le plus proche.

Laboratoire	Monture	LCIE		PTB		NRC		OMH	
		A	E	7.10	8.10	2	3	B3 N°1	B3 N°4
LCIE	cal.	98,3	98,2						
	comp.	98,5	98,5						
PTB	cal.	98,7	98,5	98,8	99,0				
	comp.	98,5	98,2	99,0	99,1				
NRC	cal.	98,3	97,8	98,9	99,1	95,3	96,2		
	comp.	98,5	98,2	99,0	99,0	95,3	96,2		
OMH	cal.	97,8	97,6	98,2	98,5	94,5	95,4	98,0	98,1
	comp.	97,8	97,6	98,1	98,6	94,4	95,6	98,0	98,0
LCIE	cal.	98,6	98,4	98,8	99,2	94,9	96,0	98,6	98,2
	comp.	98,7	98,4	99,0	99,3	95,0	96,3	99,1	99,1
PTB	cal.			98,8	99,0	94,9	96,2	98,5	98,7
	comp.			99,0	99,1	95,2	96,4	98,8	98,8
NRC	cal.					94,9	96,1	98,8	98,8
	comp.					95,0	96,2	98,8	98,7
OMH	cal.							97,8	98,0
	comp.							98,0	98,1
Valeur moyenne		98,4	98,1	98,8	99,0	94,9	96,1	98,4	98,5
Ecart maximal		0,6	0,5	0,7	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6
Ecart-type		0,35	0,39	0,28	0,27	0,28	0,33	0,42	0,36

L'écart systématique constaté sur les résultats de l'O.M.H. tient au fait que ce laboratoire n'a pas eu le temps, avant le début de la comparaison, de déterminer la valeur d'un facteur correctif, voisin de l'unité, qui intervient dans ses mesures. L'O.M.H. a dû fournir des résultats bruts en sachant que ceux-ci étaient affectés d'une erreur systématique.

On peut utiliser les résultats de la comparaison pour déterminer ce facteur correctif en opérant de la façon suivante :

- Par convention, on considère comme valeur exacte pour chaque monture, la moyenne des mesures effectuées dans le calorimètre

par le L.C.I.E., la P.T.B. et le N.R.C.

- On fait alors pour chaque monture le rapport de la valeur mesurée à l'O.M.H. à la valeur considérée comme exacte, puis on fait la moyenne des rapports obtenus ; dans le cas présent ce rapport moyen est égal à 1/1,006 4.

En multipliant toutes les mesures de l'O.M.H. par l'inverse de ce rapport, on obtient le tableau II.

TABLEAU II

Résultats de la comparaison après correction des valeurs de l'OMH

Efficacité η des montures, en centièmes, mesurées par la méthode calorimétrique. Les nombres ont été arrondis au millième le plus proche.

Laboratoire	Monture		PTB		NRC		OMH	
	A	E	7.10	8.10	2	3	B3 N°1	B3 N°4
LCIE	98,3 98,6	98,2 98,4	98,8	99,2	94,9	96,0	98,6	98,2
PTB	98,7	98,5	98,8 98,8	99,0 99,0	94,9	96,2	98,5	98,7
NRC	98,3	97,8	98,9	99,1	95,3 94,9	96,2 96,1	98,8	98,8
OMH	98,4	98,2	98,8	99,1	95,1	96,0	98,6 98,4	98,7 98,6
Moyenne.....	98,5	98,2	98,8	99,1	95,0	96,1	98,6	98,6
Ecart-type....	0,2	0,3	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2

Les diagrammes de Youden établis en utilisant les valeurs corrigées pour l'O.M.H. ne font plus apparaître d'erreur systématique ; on a donné, à titre d'exemple, le diagramme des valeurs mesurées par la méthode calorimétrique pour les montures PTB 7.10 et 8.10, avant (*fig. 5*) et après correction des valeurs de l'O.M.H. (*fig. 6*).

Les conclusions qu'on peut tirer de cette comparaison se déduisent de l'analyse du tableau II :

- Après correction du résultat de l'O.M.H., la concordance des mesures effectuées par les différents laboratoires est très satisfaisante ; compte tenu des dispersions observées, on ne décèle pratiquement pas d'écart systématique entre les laboratoires.

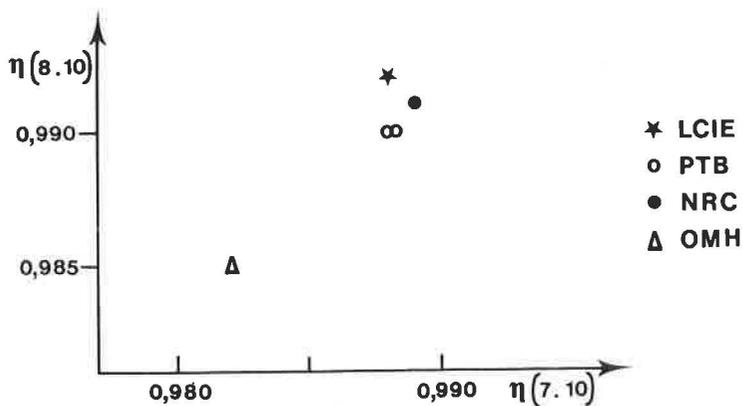


Fig. 5.- Diagramme de Youden pour les montures PTB 7.10 et 8.10.
Mesures calorimétriques ; résultats bruts.

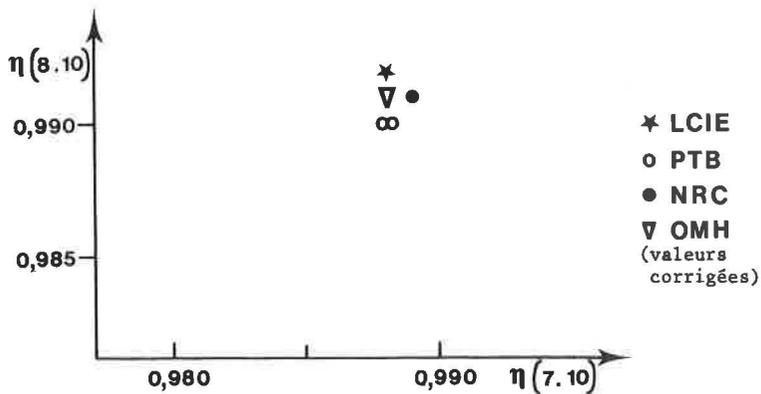


Fig. 6.- Diagramme de Youden pour les montures PTB 7.10 et 8.10
après correction des valeurs de l'OMH.

- La dispersion du résultat est très faible pour les montures 7.10, 8.10, 3 et B3 N° 1 et notablement plus importante pour la monture E. Cette dispersion est liée à la qualité des liaisons entre monture et tronçon de guide d'ondes : les brides très planes et très rigides assurent une bonne reproductibilité des résultats, tandis que les brides présentant des défauts de planéité donnent lieu à des dispersions sensibles.

(Avril 1975)

Rapport sur la comparaison internationale d'affaiblissement sur guides d'ondes à 10 GHz

par G. NILSSON

Research Institute of National Defense (Suède)

(Traduction du Document GT-RF/75-13)

Lors de sa réunion à Sèvres en septembre 1968, le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du C.C.E. avait décidé une comparaison internationale des affaiblisseurs sur guides d'ondes (Recommandation GT-RF 4). Le rôle de laboratoire pilote fut confié au Research Institute of National Defense (R.I.N.D.), Suède. A cette époque, les laboratoires suivants avaient exprimé le désir de participer à cette comparaison : National Physical Laboratory (N.P.L.), Royaume-Uni, Electrotechnical Laboratory (E.T.L.), Japon, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (I.E.N.), Italie, Laboratoire Central des Industries Electriques (L.C.I.E.), France, National Measurement Laboratory (N.M.L.)*, Australie et Physikalisch-Technische Bundesanstalt (P.T.B.), République Fédérale d'Allemagne. Par la suite, le Conseil National de Recherches (N.R.C.), Canada et l'Office National des Mesures (O.M.H.), Hongrie, sont venus s'y adjoindre, ce qui porta à neuf le nombre total des laboratoires participants.

Chacun de ces laboratoires a fourni des étalons de transfert selon le tableau I. Ceux-ci étaient d'abord mesurés dans leur laboratoire d'origine puis envoyés au laboratoire suivant et ainsi de suite conformément au schéma ci-après.

* Anciennement National Standards Laboratory (N.S.L.).

RIND → PTB → OMH → IEN → LCIE

×
ETL ← NML ← NRC ← NPL ×

Lorsque tous les laboratoires avaient effectué leurs mesures avec un étalon de transfert donné, celui-ci revenait à son laboratoire d'origine où il était mesuré de nouveau. Tous les résultats ont été envoyés au B.I.P.M. et à tous les autres laboratoires participants.

TABLEAU I

Laboratoire	Etalons de transfert fournis
P.T.B., Allemagne (Rép. Féd. d')	2, fixes, 3 dB et 20 dB
O.M.H., Hongrie	Variable. Mesuré à 3, 10, 20, 40 dB
I.E.N., Italie	2, fixes, 3 dB et 10 dB
L.C.I.E., France	1, fixe, 10 dB
N.P.L., Royaume-Uni	2, fixes, 3 dB et 20 dB
N.R.C., Canada	1, fixe, 20 dB
N.M.L., Australie	2, fixes, 60 dB chacun
E.T.L., Japon	2, fixes, 80 dB chacun
R.I.N.D., Suède	2, fixes, 40 dB chacun

Alors que la comparaison était presque achevée le National Bureau of Standards (N.B.S.), Etats-Unis d'Amérique, exprima le désir d'effectuer des mesures sur quelques-uns des étalons de transfert qui avaient circulé. Plus les participants sont nombreux, mieux cela vaut, aussi le N.B.S. fut-il admis à prendre part à la comparaison, avec l'accord des laboratoires propriétaires des étalons de transfert. Le N.B.S. effectua des mesures sur cinq étalons (la comparaison a porté sur quinze étalons de transfert au total).

Bien entendu, toutes ces mesures ont fourni une quantité considérable de résultats qui peuvent être traités de bien des façons. L'une des plus simples est d'en faire un grand tableau, ce qui a été fait. Il n'y a peut-être pas lieu de discuter de toutes ces valeurs ; toutefois, pour ceux que cela intéresse on les a reproduites au tableau II. Dans ce tableau on donne deux valeurs pour certains étalons de transfert. La raison en a été mentionnée précédemment : chaque étalon de transfert a été mesuré au départ, au début de la comparaison, puis de nouveau au retour, dans son laboratoire d'origine. La valeur mesurée au retour est donnée en-dessous de celle mesurée au départ.

TABLEAU II

Résultats des mesures d'affaiblissement en guide d'ondes à 10 GHz

Etalon de transfert		PTB	OMH	IEN	LCIE	(RRE) NPL	NRC	(NSL) NML	ETL	RIND	NBS
RIND	M 39789	40,865	40,807	40,835	40,855	40,866	40,859 6	40,856	40,853	40,89 40,92	
	M 39790	40,966	40,873	40,957	40,99	40,956	cassé	-	-	41,01	
PTB	PTB-1	3,398 1 3,401 5	3,397	3,395	3,403	3,405	3,403 8	3,403 1	3,404	3,410	
	PTB-2	20,328 5 20,331 0	20,316	20,316	20,314	20,334	20,332 0	20,336	20,333	20,32	
IEN	CNR 55539	2,598 8	2,605	2,604 2,607	2,598	2,603	2,599 5	-	2,599	2,594	2,602 6
	HP X372C, N° 432	10,467 0	10,492	10,474 10,464	10,464	10,479	10,464 2	10,466	10,466	10,477	10,477 3
LCIE	RNA/J/A2325	9,995	9,997	9,986	9,97 9,987	9,991	9,990	9,974	9,987	10,00	
NPL	UK 70/1	3,586 4	3,585	3,575	3,589	3,584 7 3,588 0	3,587 1	3,585 3	3,587	3,593	3,589 3
	UK 70/2	20,483 1	20,492	20,477	20,465	20,489 5 20,488 1	20,481 2	20,483	20,480	20,50	20,487 0
NRC	NRC-3	20,567	20,564	20,548	20,57	20,572	20,564 9 20,565 4	20,567	20,568	20,55	20,573
NML	S 58982	58,897	58,79	58,859	58,85	58,865	58,876 9	58,872	58,873	58,80	
	S 58983	59,579	59,43	59,553	59,53	59,564	59,576 6	59,573	59,574	59,53	
ETL	ETL 10 - 1A	75,28	75,16	75,68	75,24	75,643	cassé	-	75,545	75,56	
	ETL 10 - 2A	78,67	78,55	78,62	78,60	78,645	78,619 2	78,625	78,616 78,632	78,89	
OMH	UNIPAN X130										
	"3" dB	3,012 9	3,016	3,013	3,015 9	3,018	3,012 1	3,009	3,014	3,03	
	"10" dB	10,016 9	10,020	10,019	10,019	10,029	10,016 4	10,011	10,019	10,02	
	"20" dB	20,014	20,025	20,025	20,021	20,038	20,016 0	20,009	20,025	20,01	
	"40" dB	40,010	40,037	40,039	40,054	40,094	40,036	40,018	40,070	40,05	

Un diagramme très intéressant et révélateur est ce qu'on appelle le diagramme de Youden. Il comporte les mesures faites sur deux affaiblisseurs d'affaiblissements à peu près identiques, avec un point sur le diagramme pour chaque laboratoire. Un seul des diagrammes que nous pouvons établir comporte des mesures provenant de chacun des dix laboratoires participants ; c'est celui qui porte sur les étalons de transfert UK 70/2 et NRC-3 (*fig. 1*). La position du R.I.N.D. sur ce diagramme - dans l'angle inférieur droit - révèle la présence d'erreurs accidentelles dans ses mesures. Le second diagramme de Youden (*fig. 2*) le confirme. Cette fois le point du R.I.N.D. se trouve dans l'angle supérieur gauche au lieu de l'angle inférieur droit, mais cela résulte du choix des axes pour l'affaiblisseur en question. La conclusion est la même : une erreur accidentelle existe également pour ces instruments appartenant au R.I.N.D.

Pour une raison inconnue, le N.M.L. (Australie) n'a pas effectué de mesure sur l'étalon de transfert CNR 55539, c'est pourquoi il n'y a que neuf points sur ce diagramme. Toutefois, le N.M.L. a fait des mesures sur l'étalon UK 70/1, qui est représenté sur le diagramme par la ligne pointillée horizontale. On peut supposer qu'une mesure par le NML aurait donné une valeur d'environ 2600 dB.

La figure 3 donne un autre exemple de diagramme que l'on peut établir à partir de ces résultats. Cette figure donne les résultats des mesures des neuf laboratoires sur l'un des étalons de transfert suédois. Les traits pleins de part et d'autres de chaque point représentent ± 3 fois l'écart-type de la moyenne, les traits pointillés représentent l'estimation de l'incertitude systématique. Si nous prenons les valeurs des cinq laboratoires dont les erreurs systématiques estimées sont les plus petites et si nous en tirons une valeur moyenne, nous obtenons 40 860 dB. Si nous supposons que c'est la valeur vraie de l'affaiblissement, il est extrêmement important que les traits pointillés encadrent cette valeur, comme c'est le cas pour tous les laboratoires participants.

On a pris ces deux types de diagramme à titre d'exemple. C'est aussi pour montrer comment on peut extraire des informations de la masse des résultats de cette comparaison.

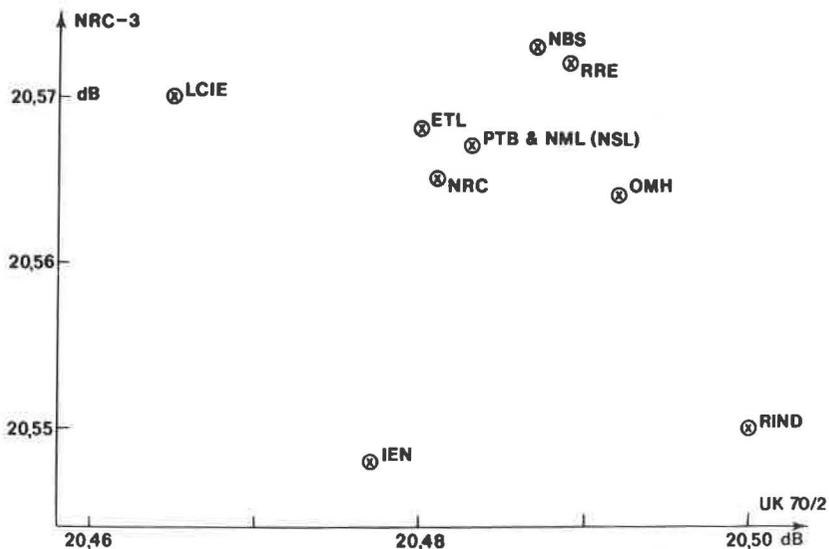


Fig. 1.- Diagramme de Youden pour les étalons de transfert UK 70/2 et NRC-3.

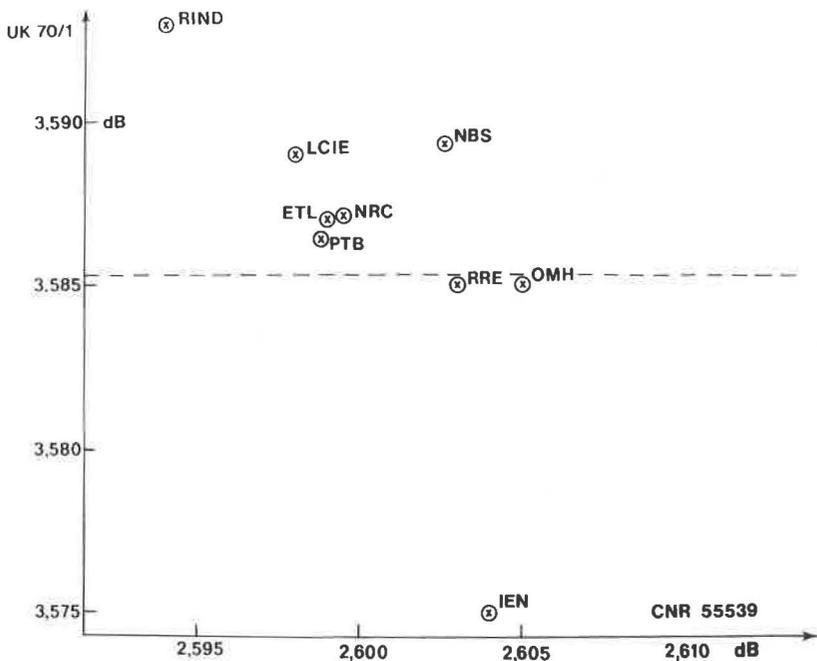


Fig. 2.- Diagramme de Youden pour les étalons de transfert CNR 55539 et UK 70/1.

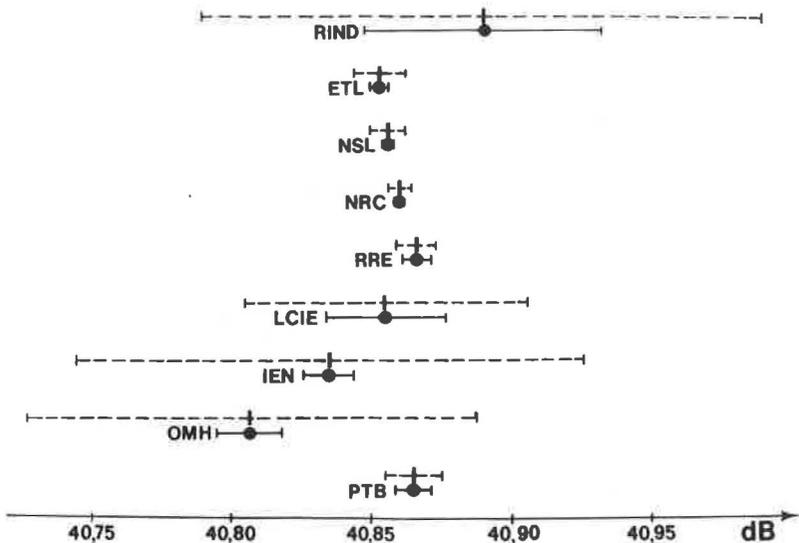


Fig. 3.- Résultats des mesures sur l'étalon de transfert M 39789 du R.I.N.D.

Les traits pleins représentent trois fois l'écart-type de la moyenne, les traits en tireté représentent l'incertitude systématique estimée.

Il existe certainement d'autres façons, peut-être meilleures, d'extraire ces informations. Il sera aussi utile de tirer un enseignement pour l'avenir en discutant de l'organisation de cette comparaison : il serait intéressant de savoir s'il y avait dans cette organisation des détails particulièrement bons ou particulièrement mauvais.

(Mai 1975)

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ 14^e Session (1975)

	Pages
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
Résultats de la 13 ^e comparaison (1973) des étalons nationaux de résistance (Dispositions à prendre en vue d'améliorer la précision des comparaisons; écart systématique entre les résultats obtenus pour les étalons de 1 Ω et ceux de 10 ⁴ Ω)	2
Comparaison circulaire des étalons de capacité de 10 pF (Cette comparaison se poursuit dans des conditions favorables (quelques 10 ⁻⁸ près). Adoption de la Recommandation E 1 relative à l'ajustement des étalons de 1 Ω du BIPM par comparaison aux étalons des laboratoires nationaux dont la valeur est déterminée au moyen du condensateur à variation calculable du type Lampard-Thompson)	3
Résultats de la 13 ^e comparaison (1973) des étalons nationaux de force élec- tromotrice (Commentaires sur les résultats obtenus avec les piles nues et les piles conservées dans des enceintes thermorégulées)	3
Contrôle de la permanence des étalons de force électromotrice (Travaux des laboratoires pour la mise en œuvre de l'effet Josephson. Mesures à la PTB avec le « dispositif Josephson » du BIPM. Adoption de la Recommanda- tion E 2)	4
Déterminations absolues (Présentation des travaux effectués dans les labo- ratoires nationaux. Adoption de la Recommandation E 3 relative à la poursuite des mesures absolues du volt et de l'ampère, soit par les méthodes actuelles améliorées, soit par des méthodes nouvelles).....	4
Comparaison internationale d'instruments de passage courant continu- courant alternatif (Situation de la comparaison en cours entre quatre labo- ratoires)	4
Présentation du rapport du « Groupe de travail pour les grandeurs aux radio- fréquences » et approbation de son programme de comparaisons. Décla- ration du CCE reconnaissant la nécessité d'une coordination des mesures dans le domaine des ultrasons; mission d'information confiée au NBS	4
Questions diverses (Piles étalons)	5
Recommandations présentées au Comité International des Poids et Mesures: <i>Recommandation E 1 (1975) (Liaison des étalons de l'ohm du BIPM au farad)</i>	<i>6</i>
<i>Recommandation E 2 (1975) (Sur l'emploi de l'effet Josephson et la pour- suite des recherches pour améliorer les étalons du volt)</i>	<i>6</i>
<i>Recommandation E 3 (1975) (Sur la poursuite des déterminations absolues du volt et de l'ampère)</i>	<i>7</i>

Rapport du « Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences » (État des comparaisons internationales : comparaisons achevées depuis 1972, en cours, à entreprendre et projetées. Proposition du NBS pour l'exécution d'une comparaison de mesure de puissance d'un faisceau ultra- sonore)	8
--	---

Annexes

E 1. Documents de travail présentés à la 14 ^e session du C.C.E.	14
E 2. B.I.P.M. — Rapport sur la 13 ^e comparaison des étalons nationaux de résistance électrique (janvier-avril 1973), par G. Leclerc	22
E 3. B.I.P.M. — Rapport sur la 13 ^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (janvier-avril 1973), par G. Leclerc	41
E 4. B.I.P.M. — Comparaison internationale circulaire des étalons de capa- cité en silice de 10 pF, par G. Leclerc	64
E 5. Prise de position du directeur du B.I.P.M.	68
E 6. P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne). — Commentaires sur l'emploi d'enceintes thermorégulées dans les comparaisons internationales, par F. Melchert ..	70
E 7. E.T.L. (Japon). — Enceinte à air thermorégulée et transportable pour piles étalons utilisées dans les comparaisons internationales, par H. Hirayama et K. Shimazaki	74
E 8. P.T.B. (Rép. Féd. d'Allemagne). — Réalisation de l'unité de force élec- tromotrice au moyen de l'effet Josephson, par V. Kose et F. Melchert ...	80
E 9. N.M.L. (Australie). — Étalon cryogénique de force électromotrice à effet Josephson utilisant un transformateur à supraconduction pour courant continu, par I. K. Harvey	83
E 10. N.M.L. (Australie). — Contrôle à long terme de l'étalon australien de force électromotrice au moyen de l'effet Josephson, par I. K. Harvey et J. C. Macfarlane	88
E 11. E.T.L. (Japon). — Détermination de $2e|h$ au moyen de l'effet Josephson à l'E.T.L., par T. Endo, M. Koyanagi, S. Koga, G. Yonezaki et A. Nakamura	90
E 12. I.M.M. (U.R.S.S.). — Détermination de $2e|h$ au moyen de l'effet Josephson alternatif à l'I.M.M., par K. Krasnov, V. Masourov et E. Frantsouz ..	92
E 13. B.I.P.M. — Note sur l'état des mesures de l'effet Josephson au B.I.P.M., par T. J. Witt	97
E 14. L.C.I.E. (France). — Détermination absolue de l'ohm au L.C.I.E., par N. Elnékavé	100
E 15. I.M.M. (U.R.S.S.). — Réalisation de l'unité de capacité électrique à l'I.M.M., par I. Krotkov, V. Viktorov et T. Froudko	102
E 16. E.T.L. (Japon). — Note sur la mesure absolue du volt, par T. Yamazaki, M. Kobayashi et K. Shida	108
E 17. E.T.L. (Japon). — Expérience avec un solénoïde calculable isolé magnéti- quement pour la détermination de γ'_p , par H. Nakamura et A. Naka- mura	111
E 18. N.P.L. (Royaume-Uni). — Le coefficient gyromagnétique du proton dans un champ magnétique fort (Rapport sur les travaux au N.P.L.), par B. P. Kibble	113
E 19. N.B.S. (États-Unis d'Amérique). — Rapport sur la comparaison interna- tionale d'étalons de tension à 1 GHz en ligne de transmission coaxiale, par F. X. Ries	116
E 20. L.C.I.E. (France). — Rapport sur la comparaison internationale d'étalons de puissance à 10 GHz sur guides d'ondes CEI R 100, par J. Blouet et L. Erard	121
E 21. R.I.N.D. (Suède). — Rapport sur la comparaison internationale d'affai- blissement sur guides d'ondes à 10 GHz, par G. Nilsson	129