

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

SESSION DE 1992
MEETING OF 1992



COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Rapport de la 19^e session
Report of the 19th Meeting

1992

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME
LIST OF ACRONYMS USED IN THE PRESENT VOLUME

1. Sigles des laboratoires, commissions et conférences
Acronyms for laboratories, committees and conferences

*ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Allemagne)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
CCE	Comité consultatif d'électricité
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CEN	Centre d'études nucléaires, Saclay (France)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CNET	Centre national d'études des télécommunications, Issy-les-Moulineaux (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
COOMET	Coopération métrologique des États de l'Europe centrale et orientale/Metrology Cooperation of the States of Central and Eastern Europe
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CSELT	Centro Studi Elettronica e Telecomunicazioni, Turin (Italie)
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, Madrid (Espagne)
CSIR/DPT	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology [DPT], Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO	(ex NML) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Tchéco-Slovaquie)

* Les laboratoires ou organisations marqués d'un astérisque soit n'existent plus, soit figurent sous un autre sigle.

* Organizations marked with an asterisk either no longer exist or operate under a different acronym.

DFM	Danish Institute for Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), <i>voir</i> MSL
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
FFV	Maintenance Division, National Industries Corporation, Arboga (Suède)
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt (Allemagne)
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences
IEC	<i>voir</i> CEI
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
IMM	<i>voir</i> VNIIM
INM	Institutul National de Metrologie, Bucarest (Roumanie)
IRT	Institut de recherches des télécommunications, Budapest (Hongrie)
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
JEMIC	Japan Electrical Meters Inspection Corporation, Tokyo (Japon)
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
LEP	Laboratoires d'électronique Philips, Limeil-Brevannes (France)
MSL	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), <i>voir</i> CSIRO
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud), <i>voir</i> CSIR

NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OFM	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
SESC	Service Electrical Standards Centre, Bromley (Royaume-Uni)
SIRI	Shaoxing Research Institute, Shaoxing (Rép. pop. de Chine)
SNIIM	Institut de recherche scientifique sibérien en métrologie, Moscou (Féd. de Russie)
SP	Statens Provningsanstalt, Borås (Suède)
SPTT	Direction générale des PTT, Centre technique recherches et développement/Swiss PTT General Directorate, Research and Development Technical Centre, Berne (Suisse)
TTL	Teleluttkimuslaitos, Helsinki (Finlande)
TUD	Technical University of Denmark, Lyngby (Danemark)
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques/All-Russian Research Institute for Physical Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie)
VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)

2. Sigles des termes scientifiques Acronyms for scientific terms

CCC	Comparateur cryogénique de courant/Cryogenic current comparator
MOSFET	Transistor à effet de champ métal-oxyde-semiconducteur/Metal-oxyde-semiconductor field-effect transistor
QHE	Effet Hall quantique/Quantum Hall effect
QHR	<i>voir</i> RHQ
RHQ/QHR	Résistance de Hall quantifiée/Quantum Hall resistance
SET	Effet tunnel monoélectronique/Single electron tunnelling

LE BIPM

ET LA CONVENTION DU MÈTRE

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

Le Bureau international a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 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*.

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

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

Le Bureau international fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité international des poids et mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM).

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

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

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

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau international ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937), des rayonnements ionisants (1960) et aux échelles de temps (1988). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

* Au 31 décembre 1991, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép. d'), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. pop. dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Russie (Féd. de), Suède, Suisse, Tchéco-Slovaquie, Thaïlande, Turquie, Uruguay, Venezuela.

Une quarantaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité international.

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 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 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, 31, 97). Chaque comité consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité international, est composé de délégués de chacun des grands laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité international, de membres individuels désignés également par le Comité international et d'un représentant du Bureau international. Ces comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de huit :

1. Le Comité consultatif d'électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et 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 (ce comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

Les travaux de la Conférence générale, du Comité international, des comités consultatifs et du Bureau international sont publiés par les soins de ce dernier dans les collections suivantes :

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* ;
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures* ;
- *Sessions des comités consultatifs* ;
- *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (ce recueil hors commerce rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicopiés).

Le Bureau international publie aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers et, sous le titre « *Le Système international d'unités (SI)* », une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

La collection des *Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée en 1966 par décision du Comité international.

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

Comité international des poids et mesures

Secrétaire
J. KOVALEVSKY

Président
D. KIND

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Président

D. KIND, président du Comité international des poids et mesures,
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Membres

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA [NRC], Ottawa.
CSIR, DIVISION OF PRODUCTION TECHNOLOGY [DPT], Pretoria.
CSIRO, DIVISION OF APPLIED PHYSICS [CSIRO], Lindfield.
ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.
INSTITUT DE MÉTROLOGIE D.I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Saint-Pétersbourg.
INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.
INSTITUTUL NATIONAL DE METROLOGIE [INM], Bucarest.
ISTITUTO ELETTROTECNICO GALILEO FERRARIS [IEN], Turin.
LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES [LCIE], Fontenay-aux-Roses.
NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

OFFICE FÉDÉRAL DE MÉTROLOGIE [OFM], Wabern.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

VAN SWINDEN LABORATORIUM [VSL], Delft.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM],
Sèvres.

ORDRE DU JOUR

de la 19^e session

1. Constantes fondamentales

- A. Progrès dans la réalisation des unités électriques du SI et possibilités éventuelles d'amélioration de la connaissance de K_J et de R_K .
- B. Discussion sur les possibilités éventuelles de contrôle de l'évolution du prototype international du kilogramme au moyen de mesures électriques.

2. Nouvelles représentations du volt et de l'ohm

- A. Discussion sur les difficultés rencontrées lors de la mise en pratique des Recommandations 1 (CI-1988) et 2 (CI-1988) relatives aux nouvelles représentations du volt et de l'ohm.
- B. Informations techniques nouvelles susceptibles de rendre nécessaire l'adjonction d'un addendum au document *Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance*.
- C. Situation actuelle et activités futures liées à la fourniture d'échantillons de résistance de Hall quantifiée et de réseaux de jonctions de Josephson.

3. Comparaisons internationales

- A. Rapport sur la comparaison internationale de résistance faite au BIPM en 1990.
- B. Comparaisons internationales d'étalons de tension fondés sur des réseaux de jonctions de Josephson.
- C. Rapport sur la comparaison internationale d'étalons de transfert courant alternatif/courant continu (laboratoire pilote : VSL).
- D. Rapport sur la comparaison internationale d'inductance (laboratoire pilote : PTB).
- E. Comparaisons internationales futures ayant pour objet d'assurer la compatibilité entre les étalons électriques nationaux.
- F. Amélioration des étalons voyageurs pour les grandeurs électriques.

4. Phénomènes nouveaux intéressant la métrologie électrique : supraconductivité à haute température et effet tunnel monoélectronique.
 5. Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.
 6. Travaux actuels et futurs de la section d'électricité du BIPM.
 7. Coopération et collaboration entre le CCE et des groupes régionaux de laboratoires nationaux de métrologie comme EUROMET, COOMET etc.
 8. Activités futures du CCE.
 9. Questions diverses.
-

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ
(19^e session — 1992)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par B. M. WOOD, rapporteur

Le Comité consultatif d'électricité (CCE) s'est réuni pour sa dix-neuvième session le 15 et le 16 juin 1992 au Bureau international des poids et mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents :

D. KIND, président du CCE.

Les délégués des laboratoires membres :

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa
(B. M. WOOD, E. SO, J. VANIER).

CSIR, Division of Production Technology [DPT], Pretoria
(W. M. P. MARAIS).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield
(G. W. SMALL).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (T. ENDO).

Institut national de métrologie [NIM], Beijing (R. LIU).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin
(F. CABIATI, G. MARULLO REEDTZ).

Laboratoire central des industries électriques [LCIE], Fontenay-
aux-Roses (L. ÉRARD, G. GENEVÈS).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithers-
burg (B. N. TAYLOR).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (B. KIBBLE).

Office fédéral de métrologie [OFM], Wabern (U. FELLER).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(H. BACHMAIR, E. BRAUN).

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

Le directeur du BIPM (T. J. QUINN).

Invités :

DSIR, Physical Sciences [DSIR], Lower Hutt (K. JONES).

Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejon
(NAK SAM CHUNG).

Statens Provningsanstalt [SP], Borås (H. NILSSON).

Assistaient aussi à la session : H. PRESTON-THOMAS (membre du CIPM); T. J. WITT, F. DELAHAYE, D. REYMANN, R. S. DAVIS (BIPM).

Absents :

Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg.

Institutul National de Metrologie [INM], Bucarest.

Le président du CCE et le directeur du BIPM accueillent les participants. Le président fait remarquer que la composition actuelle du CCE a été décidée par le CIPM en 1988 et que, lors de sa prochaine session en septembre 1992, le CIPM doit en réexaminer et en renouveler la composition. Mr Wood est désigné comme rapporteur. Au total, 68 documents sont présentés au CCE ; la liste en est donnée à l'Annexe I (p. E 24). L'ordre du jour provisoire est accepté sans modification.

Le CCE adresse un message à son précédent président, E. Ambler, pour lui rendre hommage de son action à la tête du CCE.

1. Constantes fondamentales

Le président demande aux délégués de présenter un rapport sur l'état actuel des travaux sur les constantes fondamentales dans les laboratoires nationaux. La discussion se centre sur K_J , R_K et sur les possibilités éventuelles de suivre l'évolution du prototype international du kilogramme (\mathcal{K}) au moyen de méthodes électriques.

De nombreux commentaires sont faits sur les constantes fondamentales et sur l'universalité et la cohérence de K_J et R_K . Il est ensuite discuté de l'exactitude nécessaire pour suivre l'évolution du kilogramme au moyen de mesures électriques et des conséquences que cela aurait sur les étalons de masse. Comme la session du CCE fait immédiatement suite à la CPEM'92 de nombreux commentaires font référence aux travaux présentés lors de cette conférence.

1.1. Résistance de Hall quantifiée

M. Kibble expose que M. Hartland, au NPL, a constaté l'équivalence des résultats de mesures obtenus pour la résistance de Hall quantifiée (RHQ) avec des échantillons de Si-MOSFET et avec des échantillons de GaAs. Si, comme le suggère ce travail, la résistance de Hall quantifiée

est effectivement indépendante de l'échantillon à 3×10^{-10} près, il est d'autant plus vraisemblable que $R_K = h/e^2 = \mu_0 c / 2\alpha$, c'est-à-dire que R_K est directement reliée aux constantes fondamentales. Il est nécessaire de poursuivre les recherches à ce niveau d'exactitude.

En opposition aux résultats de M. Hartland, M. Braun souligne les écarts observés par l'ETL et le NIST dans leurs mesures sur des échantillons de Si-MOSFET et de GaAs. M. Kibble ajoute qu'au NRC les résultats présentent aussi des anomalies dans la cohérence des valeurs de R_H pour différents nombres quantiques.

Au sujet de déficiences possibles de la résistance de Hall quantifiée comme étalon de résistance, M. Wood observe que les écarts constatés, aussi bien par le NRC que par l'ETL ou le NIST, concernent des échantillons pour lesquels on n'a pas rigoureusement respecté les *Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance*. Dans chaque cas, au moins un des contrôles de cohérence recommandés par ces *Guidelines* n'a pas été effectué avant de réchauffer l'échantillon. Il est avéré qu'une perturbation, même transitoire, peut altérer les caractéristiques électriques de certains échantillons. Dans ces cas-là, tous les contrôles relatifs, entre autres, au renversement du champ magnétique, à la régularité du plateau, à la dépendance vis-à-vis du courant ou de la température, à R_{xx} , à la dépendance et à la cohérence des valeurs de R_H pour différents nombres quantiques doivent être effectués pendant que l'échantillon est maintenu froid. Pour des raisons de temps, aucun des laboratoires n'a réussi à effectuer tous ces contrôles sur les échantillons pour lesquels on a constaté des écarts.

M. Endo rend compte des mesures de résistance de Hall quantifiée faites à l'ETL (document CCE/92-16). Bien que des échantillons de Si-MOSFET fabriqués par Sony présentent parfois des écarts, il n'est pas facile de tirer des conclusions des résultats de mesure parce que l'on a découvert à l'ETL une erreur systématique, due à la baisse de gain d'un amplificateur critique, dans le circuit du comparateur cryogénique de courant (CCC) qui est utilisé pour passer au niveau de 1 ohm. Cette erreur a peut-être été la cause de l'écart que présentent les résultats de l'ETL pour les étalons de 1 ohm dans la comparaison de résistance effectuée en 1990 à l'instigation du CCE. Le président demande à l'ETL de bien vouloir informer les spécialistes de la question dans le cas où une erreur serait définitivement mise en évidence dans des mesures qui paraissent impliquer une incohérence dans les valeurs de R_H pour différents plateaux ou différents échantillons.

M. Vanier mentionne qu'il n'existe pas encore de théorie rendant compte de la résistance de Hall quantifiée au niveau microscopique et qu'il faudrait inciter les laboratoires à stimuler toute recherche théorique dans ce domaine.

M. Énard indique que le LCIE envisage d'effectuer en 1993 une détermination améliorée de R_K au moyen de son condensateur calculable. Il espère pouvoir atteindre une exactitude relative de quelques 10^{-7} .

M. Taylor rappelle au comité qu'il est très important que l'équation $R_K = h/e^2 = \mu_0 c / 2\alpha$ soit vérifiée car la valeur de α est connue à 7×10^{-9} près d'après les calculs de M. Kinoshita. Non seulement α est l'une des constantes fondamentales les mieux connues, mais encore on peut s'attendre, dans un avenir prévisible, à une amélioration de l'exactitude avec laquelle elle est déterminée.

M. Bachmair parle de la détermination de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif, faite à la PTB en utilisant un pont diviseur à quatre paires de bornes, à 1 592 Hz (document CCE/92-34). Les premières mesures ont une reproductibilité de $1,4 \times 10^{-7}$ en valeur relative. On envisage des améliorations, comprenant en particulier l'emploi d'un pont de quadrature.

M. Kibble fait remarquer qu'il est difficile de mesurer le coefficient de fréquence d'un condensateur étalon et que les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif peuvent apporter une aide. En utilisant un pont de quadrature ($\omega RC = 1$) et en choisissant différents plateaux (en supposant qu'il a déjà été établi pour l'échantillon que $iR_H(i)$ est constant pour toutes les valeurs de i), puis en mesurant différents plateaux par rapport à un même condensateur à différentes fréquences, il serait possible de déduire le coefficient de fréquence du condensateur. Les résistances des conducteurs ne devraient poser qu'un problème mineur. En conclusion, M. Kibble souhaite instamment que davantage de laboratoires entreprennent des mesures avec un pont de quadrature.

1.2. Contrôle de l'évolution du prototype international du kilogramme au moyen de mesures électriques

M. Kibble fait remarquer qu'il y a trop peu de mesures absolues de K_J et R_K de très grande exactitude. Toutefois, il ajoute que cela rend d'autant plus nécessaire d'avoir leur confirmation, même à exactitude moindre, ne serait-ce que pour limiter les risques d'une forte erreur systématique dans des résultats se prévalant d'une exactitude plus grande. Il fait part des progrès obtenus au NPL dans la réalisation du watt et il indique que l'on pourrait atteindre une exactitude relative de 1×10^{-8} dans les deux prochaines années.

M. Taylor mentionne qu'il est peut-être plus important de déterminer la valeur de K_J que celle de R_K , car on peut obtenir la seconde à partir de α alors que l'on a besoin de la valeur de K_J pour établir la cohérence des différentes constantes fondamentales. M. Taylor indique aussi que, dans l'expérience de la balance à bobine mobile, en cours au NIST, on espère que l'incertitude diminuera jusqu'à atteindre 1×10^{-7} en valeur relative d'ici à la fin de 1992. Il rappelle que les mesures faites en liaison avec le kilogramme portent sur le produit mg et pas seulement sur m . Il souligne qu'il est important de connaître la valeur de l'accélération due à la pesanteur g au point de mesure.

MM. Quinn et Davis, du BIPM, ouvrent une discussion sur les problèmes et l'exactitude des mesures de masse afin de cerner les conditions d'exactitude requises pour les mesures électriques dans la perspective du contrôle de l'évolution du kilogramme. M. Davis fait remarquer qu'on n'a pas besoin de connaître g avec exactitude pour faire des mesures courantes de masse car seul le gradient de g est important pour les balances ; les balances comparent des masses et non des forces. M. Quinn indique que les comparaisons faites au BIPM présentent un accord entre gravimètres d'environ 1 à 2×10^{-8} en valeur relative. Pour obtenir un tel résultat il faut connaître avec exactitude les corrections de marée terrestre. Pour atteindre une exactitude encore supérieure on a besoin de corrections pour les effets dus à la pression atmosphérique et au niveau des eaux souterraines.

M. Kibble estime que ce dont il a besoin avant tout c'est de la reproductibilité des mesures de g . Il souhaite remettre à plus tard l'étalonnage absolu. Il fait aussi remarquer que les progrès récents faits dans les expériences de fontaines d'atomes, dont il a été question lors de la CPEM'92, pourraient fournir une évaluation indépendante de g .

M. Kibble fait remarquer que la recherche de M. Bego sur sa balance est comparable à ce qui est fait dans les expériences de bobine mobile en ce sens que dans les deux cas on fait appel au concept de travail virtuel, mais dans le détail ces recherches diffèrent de façon notable. Un accord entre les deux conforterait les évaluations d'incertitude de l'expérience de la bobine mobile. Il note aussi que la nouvelle méthode de M. Bego pour mesurer le courant, dans son expérience, pendant que les électrodes à haute tension se déplacent à une vitesse constante, élimine la nécessité de mesurer avec exactitude une capacitance [BEGO *et al.*, CPEM'92 Digest, 18-19]. M. Bachmair signale que la PTB va étalonner les étalons électriques de M. Bego.

M. Taylor remarque que l'on a encore besoin de comparaisons de condensateurs calculables. Peut-être serait-il nécessaire de faire une comparaison internationale au niveau de 10 pF.

M. Endo décrit l'état d'avancement de l'expérience de lévitation d'un supraconducteur faite au NRLM. Celle-ci n'en est qu'à un stade préliminaire. Pour la masse de 25 g, actuellement utilisée, l'exactitude visée est de 1×10^{-6} en valeur relative. Dans la phase suivante on utilisera une masse de 1 kg. Deux problèmes majeurs se posent : calculer les conséquences d'un effet Meissner incomplet dans la masse en lévitation et déterminer avec exactitude le centre de masse du corps en lévitation. M. Endo poursuit en décrivant la détermination de la constante d'Avogadro par mesure d'une sphère en silicium. Cette expérience est effectuée en collaboration avec l'IMGC (Italie). Elle fait appel à des mesures de masse, de volume, de constante réticulaire et de concentration isotopique. Ce sont les mesures de concentration isotopique qui limitent actuellement l'exactitude.

M. Bachmair mentionne les essais faits par la PTB pour obtenir du silicium de grande pureté isotopique pour leur mesure de la constante d'Avogadro. Il mentionne aussi le projet d'une étude de la surface utilisant un microscope à balayage à effet tunnel.

M. Kibble demande quelles sont les améliorations de la reproductibilité des mesures du kilogramme au BIPM. Il fait remarquer que, bien que la reproductibilité des mesures électriques en liaison avec le kilogramme ne puisse égaler la reproductibilité ($\sim 1 \times 10^{-9}$ en valeur relative) des comparaisons de masses de 1 kilogramme, les mesures électriques fournissent un moyen de vérifier la stabilité absolue du kilogramme.

M. Quinn décrit les expériences faites au BIPM pour étudier le comportement de surface des étalons de masse. La méthode comporte des comparaisons d'un étalon en Pt-Ir de 1 kg et de quatre disques en Pt-Ir dont la masse totale est également de 1 kg mais dont la surface totale est double. Les différences de masse mesurées ne sont pas du tout sensibles aux variations d'humidité (on a observé une différence de masse de $< 0,5 \mu\text{g}$ pour une variation de 38 % à 58 % de l'humidité relative), ce qui est probablement dû au polissage très fin des surfaces, fait à l'outil au diamant. On a constaté la même indépendance par rapport à la température. On envisage de procéder prochainement à des mesures dans le vide pour étudier les effets de dégazage. Les observations faites à la suite des nettoyages ont montré que les étalons en platine iridié subissent un accroissement rapide de leur masse d'environ $1 \mu\text{g}$ par mois. Après plusieurs années un taux régulier d'accroissement de $1 \mu\text{g}$ par an est atteint. Toutefois, nous n'avons encore aucune certitude quant à la stabilité effective du prototype international du kilogramme (K). M. Quinn présente les résultats de comparaisons effectuées entre K et un certain nombre de prototypes nationaux et de témoins. Au cours des cent dernières années, beaucoup de prototypes nationaux et de copies ont montré des augmentations de leur masse (par rapport à K) d'environ $50 \mu\text{g}$, mais ces résultats donnent peu d'indications sur la stabilité de K. Pour améliorer notre connaissance sur ce point à l'aide de mesures électriques, les méthodes utilisées devraient permettre de détecter des changements de $10 \mu\text{g}$ par an, et cela sans nécessiter plus de cinq ans d'observations. Il serait bien sûr souhaitable de disposer d'un étalon absolu de masse satisfaisant tous les besoins actuels de la métrologie. Un tel étalon devrait avoir une exactitude minimale de 1×10^{-8} en valeur relative.

En raison de la longue durée qu'implique une telle expérimentation, plusieurs membres soulignent la nécessité, en vue de contrôler la stabilité du kilogramme, d'assurer la continuité à long terme des expériences et d'améliorer la fiabilité et la simplicité des mesures de tension et de résistance.

M. Taylor rappelle aux participants qu'une nouvelle mise à jour des constantes fondamentales par CODATA est envisagée pour 1995 et que la date limite d'acceptation des résultats est fixée au lendemain de la CPem'94.

2. Questions liées aux nouvelles représentations du volt et de l'ohm

2.1. Difficultés soulevées par les Recommandations 1 et 2 (CI-1988)

M. Wood félicite les laboratoires nationaux pour la préparation excellente et la diffusion de la documentation relative aux nouvelles représentations du volt et de l'ohm. Depuis le 1^{er} janvier 1990, le NRC n'a reçu aucune demande d'éclaircissement concernant les modifications qui en résultent. Il en est de même dans plusieurs autres pays.

2.2. Conseils techniques pour la réalisation de la résistance de Hall quantifiée

M. Braun rappelle qu'à l'ETL on a constaté différentes anomalies dans la réalisation de la résistance de Hall quantifiée, en particulier l'existence d'un désaccord entre les résultats obtenus à l'aide d'échantillons de GaAs/GaAlAs ou d'échantillons de Si-MOSFET.

M. Endo explique que l'ETL a constaté des problèmes pour le plateau $i = 4$ avec certains échantillons de Si-MOSFET. On envisage de comparer les plateaux 2 et 4 de ces mêmes échantillons mais cela n'a pas encore été fait.

M. Delahaye donne des détails sur différents aspects des conseils donnés dans le document *Technical Guidelines* et la façon de les appliquer dans le cas des anomalies constatées. Il fait remarquer que le document demande expressément aux laboratoires de faire toutes suggestions pour apporter des compléments ou des modifications à ces conseils. Le BIPM n'a rien reçu jusqu'ici à cet égard. En fait, à ce jour, il n'existe apparemment aucun cas pour lequel on ait observé des écarts sur des échantillons ayant effectivement été soumis à la série complète de vérifications recommandées dans le document *Technical Guidelines*. Le CCE, dans l'ensemble, reconnaît que le document aura peut-être besoin d'être révisé dans l'avenir mais que, pour le moment, il n'y a aucune raison de le faire.

2.3. Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson et d'échantillons de résistance de Hall quantifiée

Réseaux de jonctions de Josephson

M. Bachmair indique que la PTB fabrique actuellement des réseaux de jonctions de 1 volt en Nb/Al₂O₃/Nb que l'on peut se procurer gratuitement mais en nombre limité. Il y aura une interruption de la production pendant le déménagement dans de nouveaux locaux équipés de salles blanches. La PTB fabrique aussi des jonctions de 10 volts mais avec un taux de réussite plutôt bas.

M. Endo dit que l'ETL produit quelques réseaux de jonctions en Nb/AlO_x/Nb mais généralement il n'y en a pas de disponible car la production est faible. L'ETL a commencé à fabriquer des réseaux de jonctions de 10 volts. Il recherche un partenaire industriel pour ces fabrications.

M. Taylor dit que des réseaux de jonctions de 1 volt sont couramment disponibles au NIST mais que pour le moment le NIST n'est plus capable de fabriquer des réseaux de jonctions de 10 volts (document CCE/92-24).

M. Chung indique que le KRISS construit des réseaux comportant 200 jonctions.

M. Bachmair indique que la PTB va continuer à produire des réseaux de jonctions pendant encore au moins quelques années.

Échantillons de résistance de Hall quantifiée

M. Kibble signale que des échantillons de résistance de Hall quantifiée sont couramment disponibles et que le NPL tente actuellement d'en obtenir de sources commerciales.

M. Witt attire l'attention sur le document CCE/92-10 et indique que des échantillons non montés, fabriqués par le LEP, peuvent être fournis par l'intermédiaire du BIPM aux membres de la Convention du Mètre. Des échantillons raccordés et montés sur des embases de type TO-8 peuvent être aussi disponibles. M. Érard signale que le LEP ne produira plus à l'avenir d'échantillon de résistance de Hall quantifiée.

Un certain nombre de laboratoires, dont le LCIE (document CCE/92-10), l'OFM, le DFM (document CCE/92-44), la PTB, et plusieurs laboratoires de l'ex-URSS ont mis à la disposition des autres des échantillons de résistance de Hall quantifiée.

M. Feller fait part de son inquiétude quant à l'approvisionnement à long terme en échantillons de résistance de Hall quantifiée, et plus encore, en réseaux de jonctions de Josephson.

3. Comparaisons internationales

3.1. Comparaison de résistance faite au BIPM en 1990

M. Witt présente un résumé des résultats de la comparaison internationale de résistance effectuée au BIPM en 1990 (document CCE/92-1 et *Metrologia*, 1992, **29**, 273-283). Les résultats font apparaître un accord relatif à $(-3,2 \pm 2,4) \times 10^{-8}$ près pour les résistances de 1 Ω et à $(0,9 \pm 2,2) \times 10^{-8}$ près pour celles de 10 kΩ. La dispersion des résultats est à peu près la même que lors de la comparaison précédente.

On en conclut que l'exactitude de comparaisons de ce genre est limitée par la qualité des résistances de transfert.

M. Liu fait part des améliorations apportées au NIM aux techniques de mesure de rapports pour le passage aux résistances de 10 k Ω . On en attend une précision de 1 ou 2 $\times 10^{-8}$ en valeur relative. Il souhaite aussi que l'on refasse dans un proche avenir une comparaison de résistances de 10 k Ω .

3.2. Comparaisons internationales de réseaux de jonctions de Josephson

M. Reymann rend compte des excellents résultats obtenus lors des comparaisons, directes et indirectes, de réseaux de jonctions de Josephson effectuées récemment (document CCE/92-58). Ces comparaisons présentent un accord relatif à quelques 10^{-10} près pour trois types différents de réseaux dans sept laboratoires différents. Les comparaisons portant sur des étalons de référence fondés sur des diodes de Zener concordent à 1 à 2 $\times 10^{-8}$ près en valeur relative. Il s'ensuit une discussion sur les éventuelles sources d'erreurs de mesure.

3.3. Comparaison internationale d'étalons de transfert courant alternatif/courant continu

M. Kaarls donne un résumé des résultats d'une comparaison d'étalons de transfert ac/dc qui a commencé en 1980 (document CCE/92-63). Dans l'ensemble l'accord entre les laboratoires nationaux est très bon. M. Wood fait remarquer que l'équipement commercial de la meilleure qualité a été étalonné avec une incertitude meilleure que ce qu'avait indiqué le NIST dans cette comparaison. (M. Taylor a étudié ce point après la réunion et a trouvé que cette conclusion était erronée. En effet, l'incertitude rapportée par le NIST lors de la comparaison internationale a été interprétée comme correspondant à une fois l'écart-type, alors que c'était en fait deux fois l'écart-type qui était donné.) M. Kaarls mentionne que dans son pays les certificats d'étalonnage commerciaux ne sont pas acceptés sauf si les instruments sont étalonnés en Europe. Pour M. Marais, des difficultés étaient dues à l'absence aux États-Unis d'un réseau d'étalonnage au niveau national.

3.4. Comparaison internationale d'inductance

Un rapport de l'état d'avancement de la comparaison d'inductance de 10 mH est présenté par la PTB qui joue le rôle de laboratoire pilote (documents CCE/92-41 et CCE/92-41b). La quasi-totalité des mesures est achevée mais les laboratoires participants doivent encore présenter le bilan de leurs incertitudes. On pense que cette comparaison sera complètement terminée à la fin de 1993.

3.5. Comparaisons futures

Cinq comparaisons, à entreprendre sous l'égide du CCE, ont été proposées et ont fait l'objet d'une discussion assez longue. La liste en est donnée ci-après. Il est décidé qu'il incombe aux laboratoires pilotes de préciser les détails techniques de ces comparaisons et de confirmer la participation des laboratoires intéressés. Il est précisé que, le cas échéant, ce seront les représentants au CCE qui recevront la première correspondance relative à ces comparaisons, à charge pour eux de la transmettre à la personne responsable au sein de leur laboratoire.

Proposition d'une comparaison [92-1] de condensateurs de 10 pF

Détails : les laboratoires participants sont supposés être capables de relier leurs mesures de 10 pF à leur propre condensateur calculable ou à leurs propres mesures de transfert à 10 pF à partir de la résistance de Hall quantifiée.

Choix probable de la fréquence : 1 592 Hz.

Choix probable de la tension : 100 V.

Laboratoire pilote : NIST.

Participants : CSIRO, DSIR/MSL, ETL, KRISS, LCIE, NIM, NPL, PTB, SP, VSL.

Le KRISS jouera le rôle de laboratoire pilote pour la partie de la comparaison qui se déroulera en Asie et dans la zone du Pacifique.

Proposition d'une comparaison [92-2] de puissance et d'énergie en courant alternatif à 50-60 Hz

Détails : Le NIST fournira un dispositif transportable de transductance.

Intensités proposées : 1-50 A.

Tension proposée : 120 V.

Laboratoire pilote : NIST.

Participants : CSIRO, ETL/JEMIC, IEN, LCIE, NIM, NPL, NRC, OFM, PTB, SP, VSL.

Proposition d'une comparaison [92-3] de dispositifs de transfert multijonction courant alternatif/courant continu

Détails : comparaison à effectuer au niveau d'exactitude le plus élevé ; incertitude relative recherchée $< 1 \times 10^{-6}$.

Fréquence : 1 kHz.

Tension : 5 V.

Laboratoire pilote : PTB.

Participants : IEN, KRISS, LCIE, NIM, NIST, NPL, NRC, OFM, PTB, SP, VSL.

Proposition d'une comparaison [92-4] de convertisseurs thermiques de tension à jonction unique

Détails : les résistances de calibre sont comprises dans l'étude.

Fréquence : 50 kHz à 100 kHz.

Tension : 100 V à 1 kV.

Il reste à préciser les spécifications des connecteurs.

Laboratoire pilote : LCIE.

Participants : CSIRO, ETL/JEMIC *, IEN, KRISS, LCIE, NIM, NIST, NPL, NRC, OFM, PTB, SP, VSL.

Proposition d'une comparaison [92-5] de convertisseurs thermiques de tension à jonction unique

Détails : les résistances de calibre sont comprises dans l'étude.

Fréquence : 1 MHz à 50 MHz.

Tension : 4 V.

Laboratoire pilote : VSL.

Participants : CSIRO, ETL/JEMIC *, LCIE, NIM, NIST, NPL, NRC, OFM, PTB.

3.6. Amélioration des étalons voyageurs pour les grandeurs électriques

Il est rendu compte du travail actuellement en cours au NIST sur la mise au point de nouveaux condensateurs de 10 pF qui seront utilisés dans la comparaison proposée par le CCE.

M. Liu indique qu'il existe en Rép. pop. de Chine quatre usines qui fabriquent des piles étalons de type Weston et qu'au moins deux d'entre elles fournissent des piles d'excellente qualité. Certaines de ces piles ont été étudiées pendant plusieurs années au NIM. Elles ont été considérées comme des étalons de référence de premier ordre pouvant convenir à l'utilisation des laboratoires nationaux.

M. So mentionne que le NRC a mis au point un système transportable pour étalonner les transformateurs de puissance et leurs dispositifs de mesure associés.

M. Braun signale que l'on a observé des effets thermiques d'hystérésis sur des résistances de 1 ohm de type Thomas, de fabrication Leeds et Northrup. Les spécialistes de la PTB ont réussi à thermoréguler ces résistances à l'intérieur d'une enceinte transportable. M. Small fait remarquer qu'au CSIRO/NML on fait des essais sur l'hystérésis thermique des résistances et que les variations relatives de la résistance sont effectivement de l'ordre de 1×10^{-8} . M. Witt précise qu'on n'observe pas de phénomène d'hystérésis au niveau relatif de 1×10^{-8} sur les résistances ESI de 10 k Ω après des cycles compris entre 15 °C et 20 °C.

* à confirmer par les spécialistes du laboratoire.

4. Phénomènes récemment mis en évidence : effet tunnel monoélectronique (SET), supraconductivité à haute température critique

La PTB fait des recherches sur la théorie des dispositifs à un seul électron. Dans le même temps elle met au point la gravure par faisceau d'électrons pour obtenir des résolutions inférieures à 100 nm. La construction d'un système de mesure à comparateur cryogénique de courant est envisagée.

Le VSL travaille en collaboration avec l'Université de technologie de Delft sur la conception et la théorie des dispositifs à effet tunnel monoélectronique. Il est en train de mettre au point un intégrateur de charge. Le but est de mesurer des courants à partir de dispositifs SET avec une précision relative de 1×10^{-5} .

Au NIST existe un programme de fabrication et de mesure de précision de dispositifs SET. L'objectif final est de réaliser une détermination indépendante de α .

Au NPL on a entrepris un travail de mise au point d'un grand comparateur cryogénique de courant pour des mesures de précision de SET. L'Université de Cambridge envisage de fabriquer ces dispositifs. Des travaux sont en cours sur des mélangeurs à haute fréquence utilisant des microponts à effet Josephson avec des couches minces en matériau supraconducteur à haute température.

Au NRC on vient de commencer un travail de recherche sur les SET. Actuellement le NRC peut réaliser la gravure par faisceau d'électrons pour obtenir des résolutions inférieures à 100 nm.

Il se peut que le LCIE travaille prochainement en collaboration avec le laboratoire de physique de l'état solide du CEN de Saclay sur la théorie et la mesure de dispositifs SET.

La PTB a mis au point un bolomètre à couche mince en matériau supraconducteur à haute température.

En ce qui concerne les matériaux supraconducteurs à haute température, le BIPM a étudié les marches d'effet Josephson induites par les micro-ondes (document CCE/92-2), le blindage magnétique et les techniques de soudure des contacts sur des céramiques supraconductrices à haute température (document CCE/92-57).

5. Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

M. Énard, président du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, présente le rapport de la réunion qui s'est tenue au LCIE, le 13 juin 1992. On trouvera ci-après (p. E 16) le texte de ce rapport.

6. Travaux actuels et futurs de la section d'électricité du BIPM

M. Witt rend compte de l'activité de la section d'électricité du BIPM (document CCE/92-57). Il mentionne en particulier les comparaisons internationales de réseaux de jonctions de Josephson et de résistances, ainsi que les recherches effectuées en métrologie des résistances et les applications possibles en métrologie des supraconducteurs à haute température. Il attire l'attention sur deux activités futures : d'une part un nouveau projet pour les comparaisons internationales de rapports de résistance et d'autre part des recherches en vue de suivre l'évolution du prototype international du kilogramme.

Comparaison de rapports de résistances

On a mis au point au BIPM un pont en courant alternatif, à basse fréquence, transportable (document CCE/92-56). Ce pont a été conçu pour vérifier les rapports de résistances dont on a besoin avec les étalons à résistance de Hall quantifiée. Un essai préliminaire va être effectué au LCIE.

Contrôle de la stabilité du kilogramme

On a décidé de créer un groupe de travail du CCE pour aider et conseiller le BIPM dans la mise au point de méthodes électriques destinées à contrôler la stabilité du kilogramme. M. Kibble a été désigné comme président de ce groupe de travail. Les membres seront des techniciens de l'ETL, du NIST, du NPL, de la PTB et du BIPM qui travaillent sur ces expériences.

7. Coopération et collaboration entre le CCE et les groupes régionaux de métrologie

Ce point a fait l'objet d'une longue discussion. Des opinions et des points de vue nombreux ont été avancés. L'impression générale est qu'il incombe au BIPM d'apporter son aide pour assurer le lien des actions organisées par les différents groupes régionaux de métrologie entre eux et avec le CCE. À plusieurs reprises, des comparaisons régionales mentionnées lors d'une réunion du CCE ont soulevé l'intérêt de laboratoires situés hors de la région concernée de telle sorte que les comparaisons en question ont été transformées en comparaisons du CCE. Certains participants du CCE estiment que le BIPM pourrait apporter son aide en publiant un résumé des résultats de comparaisons organisées par des groupes régionaux. En conclusion de cette discussion, la Recommandation E i (1992) a été adoptée (voir p. E 15).

8. Activités futures du CCE

Il a été proposé de réunir le CCE à Boulder (Colorado, É.-U. d'Amérique) à l'occasion de la prochaine CPEM en 1994.

Les autres activités consistent essentiellement à exécuter les cinq comparaisons internationales proposées.

9. Questions diverses

M. Taylor informe le CCE de la diffusion prochaine, parmi les membres du CIPM et de ses comités consultatifs, du projet du nouveau guide ISO traitant de l'expression des incertitudes de mesure. M. Kaarls ajoute que ce document est très important; il espère que l'ISO en approuvera bientôt le texte définitif.

M. Vanier informe le CCE que c'est M. N. B. Belecki, du NIST, qui préside le comité technique de l'IEEE sur les incertitudes.

Le président remercie les participants et le personnel du BIPM pour le bon déroulement de cette session.

Septembre 1992

**Recommandation
du
Comité consultatif d'électricité
présentée
au Comité international des poids et mesures**

Traçabilité des résultats de comparaisons régionales d'étalons de mesure par l'intermédiaire du BIPM

RECOMMANDATION E 1 (1992)

Le Comité consultatif d'électricité (CCE),

considérant

— les exigences croissantes de traçabilité des mesures à différents niveaux d'exactitude imposées par le commerce international,

— l'existence de groupes régionaux au sein desquels collaborent des laboratoires nationaux,

— le besoin d'une reconnaissance à l'échelle mondiale des résultats de comparaisons d'étalons effectuées, au sein de ces groupes régionaux, par ces laboratoires dont certains ne participent pas nécessairement aux comparaisons du CCE,

— le rôle du Bureau international des poids et mesures (BIPM) dans la coordination et l'exécution, à l'échelle mondiale, de comparaisons d'étalons au plus haut niveau,

— l'impossibilité pour le BIPM de conduire des travaux dans tous les domaines et à tous les niveaux,

recommande

— que le BIPM considère l'opportunité d'effectuer des comparaisons, directement ou par l'intermédiaire des membres du CCE, avec un ou plusieurs laboratoires des États membres de la Convention du Mètre qui participent aux comparaisons régionales, afin que les résultats de ces comparaisons puissent être reliés entre eux et bénéficier ainsi d'une reconnaissance internationale plus large,

— que le BIPM soit informé de l'état d'avancement et des résultats des comparaisons organisées par les groupes régionaux, afin que référence puisse être faite à ces comparaisons ou que le résumé de leurs résultats puisse être publié par le BIPM.

Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

Le Groupe de travail s'est réuni au Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), le 13 juin 1992.

Étaient présents : M. L. ÉRARD, président, MM. L. BRUNETTI (IEN), R. COOK (NPL), R. L. GALLAWAY (NIST), A. JURKUS (NRC), P. I. SOMLO (CSIRO), U. STUMPER (PTB), J. P. M. DE VREEDE (VSL), R. YELL (NPL), K. YOSHIHIRO (ETL).

Assistait à la réunion : M. T. J. WITT (BIPM) qui représentait aussi le directeur du BIPM.

Absents : les représentants de l'IRT, du NIM, du VNIIM.

M. A. E. Bailey, précédent président du GT-RF, a fait parvenir au groupe de travail ses meilleurs vœux en même temps qu'il présentait ses excuses pour ne pas être en mesure d'assister à la réunion. Il a fait part de sa satisfaction de constater les bons résultats obtenus pour les comparaisons organisées par le GT-RF.

Le président accueille les membres du groupe de travail au nom du directeur général du LCIE et du directeur du BIPM. L'ordre du jour est examiné et adopté.

M. Witt est désigné comme rapporteur.

1. Comparaisons internationales achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail (juin 1988)

Cinq comparaisons ont été achevées : le tableau I en donne le détail.

2. Comparaisons presque achevées

Le tableau II donne l'état d'avancement de sept comparaisons qui sont terminées, mais dont le rapport final n'est pas encore rédigé.

3. État d'avancement des autres comparaisons en cours

Le tableau III présente un résumé de l'état d'avancement des comparaisons décidées en 1975, 1978, 1983 et 1986, qui sont encore en cours.

4. Nouvelles comparaisons

Huit nouvelles comparaisons internationales sont proposées et les participants décident de les entreprendre : le tableau IV en donne le détail.

5. Travaux futurs

D'éventuels sujets de comparaison, pour l'avenir, sont passés en revue (*voir* tableau V, de S1 à S9).

6. Questions diverses

i) M. Énard rappelle aux délégués que tous les renseignements importants concernant les comparaisons, tels que nom du laboratoire pilote, nom de la personne responsable de la comparaison dans ce laboratoire, changement de laboratoire pilote, noms des laboratoires participants, programme de déroulement de la comparaison, etc., doivent être communiqués à la fois au BIPM et au président du GT-RF.

ii) M. Énard explique qu'il envoie chaque année un questionnaire sur l'avancement de chaque comparaison à la personne dont le nom est communiqué par le laboratoire pilote comme étant chargée de la comparaison. Quand il n'en connaît pas le nom, il envoie le questionnaire à la personne qui représentait le laboratoire pilote lors de la dernière réunion du GT-RF. À partir des réponses à ces questionnaires, il prépare un rapport résumé sur l'état d'avancement de la comparaison et l'envoie à chaque laboratoire.

iii) Une discussion s'engage sur la difficulté qu'il y a de présenter les détails d'une comparaison dans les limites du cadre imposé par une publication formelle. En conclusion, il est décidé que les laboratoires pilotes doivent être prêts à s'engager à fournir aux participants les données sur lesquelles sont fondés les résultats définitifs.

iv) Un problème a été porté à l'attention du GT-RF. C'est celui du cas où les autorités douanières exigent d'un laboratoire pilote de payer une caution pour pouvoir envoyer ses étalons voyageurs à un laboratoire qui veut prendre part à une comparaison. Il est décidé que tout laboratoire prenant part à une comparaison dans le cadre du GT-RF doit s'assurer que les étalons voyageurs peuvent entrer et sortir de son pays librement sans obliger les autres participants à payer des droits de douane, des taxes ou tous autres frais du même genre et sans être soumis à des formalités particulièrement complexes. Le groupe de travail estime que le laboratoire pilote peut supprimer de la liste des participants un laboratoire qui n'est pas en mesure d'assurer ces conditions de libre circulation.

v) Avec la multiplication des organisations régionales de métrologie, telles que EUROMET, COOMET etc. il risque d'y avoir des duplications de comparaisons par des groupes régionaux différents. Afin d'éviter la duplication et pour réduire la charge de travail des laboratoires pilotes, il est suggéré que le président du GT-RF informe les personnes concernées au sein des groupes régionaux des comparaisons organisées par le GT-RF.

7. Date de la prochaine réunion

La date exacte de la prochaine réunion du GT-RF sera fixée lorsque la date de la prochaine session du CCE sera connue.

Juin 1992

Le rapporteur

T. J. WITT

Le président

L. ÉRARD

TABLEAU I

*Comparaisons achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail
(juin 1988)*

- 75-A14 Affaiblissement à 300 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω (connecteur GR 900).
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : NPL, NRC, VSL, TTL).
Le rapport final a été présenté à la réunion. Il a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1993, **42**, 60-62.
- 78-1 Affaiblissement (60 et 100 dB) à 30 MHz sur ligne coaxiale 50 Ω .
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : CSIRO, FFV, IEN, LCIE, NIM, NIST, NPL, OMH, PKNM, VNIIFTRI, VSL).
Le rapport final a été présenté à la réunion. Il a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1992, **41**, 345-348.
- 78-11 Impédance sur ligne coaxiale à 100, 200 et 300 MHz (connecteur GR 900).
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO, NIST, PTB, VSL).
Le rapport final sera envoyé aux membres du groupe de travail ; le laboratoire pilote s'efforcera de le faire publier.
- 83-3 Puissance à 94 GHz.
(Laboratoire pilote : ETL ; participants : LCIE, NIST, NPL).
Le rapport final a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1989, **38**, 927-929.
- 86-5 Affaiblissement de fibre optique (< 50 dB).
(Laboratoire pilote : ETL ; participants : CSELT, LCIE, PTB, VSL).
Le rapport final a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 855-859.

TABLEAU II

Comparaisons en cours d'achèvement

- 75-A6 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω , 100 V à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : NIST, NPLI).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Le rapport final est en préparation.
- 75-A7 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω , 1 mV à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : ASMW, NIM, NIST, NPLI, OMH, TTL).
Un projet de rapport a été envoyé à tous les participants.
- 75-A11 Puissance sur ligne coaxiale à 12, 14 et 17 GHz : efficacité de montures bolométriques équipées de connecteurs de précision 7 mm (APC-7).
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : CSIRO, IEN, LCIE, NIST, NRC, OMH, VSL).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Le rapport final est en préparation.

- 78-13 Puissance de bruit sur guide d'ondes R 100.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO, LCIE, NIM, NIST, PTB).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Le projet de rapport final est en préparation.
- 86-2 Facteur de surtension jusqu'à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : LCIE, Marconi Instrum., PTB, SESC).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Un second projet de rapport final est en préparation.
- 86-4 Puissance laser à 1,3 μm et 1,55 μm .
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CSELT, CSIC, CSIRO, ETL, INM, NPL, NPRL, NRC, OMH, PTB, SP, VSL).
Les résultats ont été présentés à la CPEM'92. Le rapport final va être publié dans *Applied Optics*.
- 86-8 Affaiblissement (< 25 dB) sur guide d'ondes R 320 à 27, 35 et 40 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : LCIE, NRC, PTB ; le NIM n'y a pas participé).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Le projet de rapport final est terminé.

TABLEAU III

Comparaisons en cours

a. Comparaisons abandonnées

Après avoir passé en revue l'état d'avancement et le degré d'intérêt manifesté, le groupe de travail a décidé qu'il ne fallait pas poursuivre les comparaisons suivantes :

- 72-1 Déphasage sur guide d'ondes R 100 à 9, 10 et 11,2 GHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CSIRO, ETL, NPL, NRC).
Le laboratoire pilote n'est pas en mesure de fournir un rapport final.
- 78-2 Puissance (10 mW) à 500 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω (connecteur GR 900).
(Laboratoire pilote : NRC ; participants : LCIE, NPL, OMH, PTB, TTL, VSL).

b. Comparaisons maintenues*

- 75-A4 Facteur de réflexion à 500 MHz, 3 GHz et 7 GHz sur ligne coaxiale 50 Ω .
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : VSL, NRC, NIST, CSIRO, ETL, OMH, CSMU, SNIIM, NPL).
Les étalons sont en cours de mesure dans le dernier laboratoire.

* Dans la suite du tableau, lorsque cela est possible, l'ordre des laboratoires participants correspond à l'ordre de circulation des étalons voyageurs.

- 75-B3 Facteur de réflexion à 1 GHz sur ligne coaxiale 75 Ω .
(Laboratoire pilote : NRC ; participants : PTB, LCIE, NPL, VSL, OMH, CSMU, TTL).
Les étalons voyageurs sont actuellement à l'OMH.
- 78-5 Gain d'un cornet et taux de polarisation transversale entre 8 et 12 GHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : NPL, TUD, FTZ, CNET, CSIRO, VSL ; l'IEN, le NRC et l'ETL se sont retirés).
Les étalons voyageurs sont de retour au NIST pour les dernières mesures. Le rapport final devrait être fait en 1993.
- 83-4 Mesure des coefficients de dispersion (*S* parameters) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 - 18 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : VSL, NIST, FFV, IEN, PTB, LCIE, CSIRO, SPTT).
Les étalons voyageurs sont actuellement au FFV.
- 86-1 Puissance surfacique à 2,45 et 10 GHz.
Champ électrique entre 300 et 1 000 MHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : ETL, PTB*, CSIRO*, IEN*, NPL, VSL, NRC*, LCIE).
Les participants aimeraient avoir connaissance du programme et de l'état d'avancement de la comparaison.
- 86-3 Facteur de réflexion (en module et phase) sur guide d'ondes R 320 à trois fréquences : 27, 35 et 40 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : LCIE, NIST, CSIRO, PTB, NIM).
Les étalons voyageurs vont prochainement être envoyés au CSIRO.
- 86-6 Puissance à 20 GHz sur guide d'ondes R 220 : efficacité de montures bolométriques.
(Laboratoire pilote : LCIE ; participants : NRC, NIST, PTB, NPL, VNIIFTRI, NPLI).
Les étalons voyageurs sont actuellement au VNIIFTRI.

TABLEAU IV

Nouvelles comparaisons

- 92-1 Gain d'antennes cornet sur guide d'ondes IEC R 320 dans les bandes 26,4 - 40 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO*, ETL*, NIST, VSL*).
- 92-2 Puissance de bruit sur ligne coaxiale 50 Ω (connecteur type N) à 30 MHz et 4 GHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CSIRO*, ETL*, LCIE, NPL, NRC*, PTB*).

* À confirmer.

- 92-3 Mesure des coefficients de dispersion (S parameters) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 - 18 GHz (connecteur type N).
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO, ETL*, IEN, LCIE, NIST, NRC*, PTB, SPTT, VSL).
- 92-4 Puissance sur guide d'ondes R 320 : efficacité des montures bolométriques à 33 GHz.
(Laboratoire pilote : LCIE ; participants : CSIRO*, ETL*, IEN, NIST*, NPL, NRC, PTB, VSL*).
- 92-5 Mesure des propriétés diélectriques de liquides à des fréquences allant jusqu'à 10 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO, ETL*, IEN*, LCIE*, NIST*, NRC*, VSL*).
- Un projet de programme et un questionnaire seront envoyés par le laboratoire pilote. La participation de laboratoires autres que nationaux serait bienvenue.
- 92-6 Tension (1 V) sur ligne coaxiale 50 Ω à des fréquences comprises entre 1 et 300 MHz.
(Laboratoire pilote : VSL ; participants : CSIRO*, ETL*, IEN*, LCIE, NIST*, NPL, NRC, PTB).
- 92-7 Facteur d'antenne à des fréquences comprises entre 5 kHz et 30 MHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO, IEN*, LCIE*, NIST*, PTB*, VSL).
- 92-8 Facteur d'antenne à des fréquences comprises entre 30 et 1 000 MHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : ETL*, IEN*, LCIE*, NIST, PTB*).

TABLEAU V

Sujets éventuels de comparaisons futures

- S1 Puissance de bruit sur guide d'ondes à des fréquences supérieures à 12 GHz.
Le NIST pourrait jouer le rôle de laboratoire pilote.
- S2 Impédance dans la bande de 0,1 à 1 000 MHz. Ce sujet continue à intéresser plusieurs membres du groupe de travail mais aucune proposition concrète n'a été faite.
- S3 Mesure des coefficients de dispersion (S parameters) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquences supérieures à 18 GHz avec connecteur de type K.
Le LCIE pourrait jouer le rôle de laboratoire pilote. La comparaison pourrait être organisée dans le cadre de EUROMET.
- S4 Puissance sur guide d'ondes à 45 GHz.
Le NIST pourrait jouer le rôle de laboratoire pilote.

* À confirmer.

- S5 Mesure d'angle de pertes dans des matériaux à faible perte aux fréquences des ondes millimétriques.
- S6 Capacitance de 100 pF et 1 000 pF à 1 MHz et 10 MHz.
Le NIST pourrait jouer le rôle de laboratoire pilote. Laboratoires intéressés : LCIE, NPL, PTB.
- S7 Puissance sur ligne coaxiale 50 Ω (connecteur K) à 30 GHz.
- S8 Puissance, atténuation, facteur de réflexion sur ligne coaxiale 75 Ω à des fréquences inférieures à 1 GHz.
Le VSL enverra un questionnaire aux laboratoires intéressés afin de définir un programme précis de la comparaison.
Laboratoires intéressés : CSIRO*, ETL*, IEN*, LCIE, NIST*, NPL, NRC*, PTB.
- S9 Atténuation sur guide d'ondes à 94 GHz.
Le NPL pourrait jouer le rôle de laboratoire pilote.

* À confirmer.

ANNEXE E 1

Documents de travail présentés à la 19^e session du CCE

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

Documents CCE/

- 92-1 BIPM. — Report on the 1990 International Comparison of $1\ \Omega$ and $10\ \text{k}\Omega$ Resistance Standards at the BIPM, by F. Delahaye, D. Bournaud and T. J. Witt. *Metrologia*, 1992, **29**, 273-283.
- 92-2 BIPM. — Accurate Determination of $2e/h$ in Y-Ba-Cu-O Josephson Junctions, by T. J. Witt. *Phys. Rev. Letters*, 1988, **61**, 1423-1426.
- 92-3 BIPM. — Low-Noise Measurements of the Quantized Hall Resistance Using an Improved Cryogenic Current Comparator Bridge, by F. Delahaye and D. Bournaud. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 237-240.
- 92-4 BIPM. — Comparisons of One-Volt Josephson-Array Voltage Standards with Sub-Nanovolt Accuracy, by D. Reymann, J. U. Holtoug and H. D. Jensen. *Metrologia*, 1991, **28**, 99-102.
- 92-5 BIPM. — An AC-Bridge for Low-Frequency Measurements of the Quantized Hall Resistance, by F. Delahaye. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 883-888.
- 92-6 LCIE-BNM (France). — Étalon de tension à réseau de jonctions Josephson au LCIE/BNM, par J.-P. Lo-Hive et G. Genevès.
- 92-7 LCIE/BNM (France). — Josephson Array Voltage Standard at LCIE/BNM, by J.-P. Lo-Hive and G. Genevès.
- 92-8 LCIE/BNM (France). — Réalisation de l'étalon quantique de résistance au LCIE/BNM, par F. Piquemal et G. Genevès.

- 92-9 LCIE/BNM (France). — Direct Comparison of Quantized Hall Resistances, by F. Piquemal, B. Etienne, J.-P. André and J.-N. Patillon. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 234-236.
- 92-10 LCIE/BNM, BIPM et LEP (France). — Report on a Joint BIPM-EUROMET Project of the Fabrication of QHE Samples by the LEP, by F. Piquemal, G. Genevès, F. Delahaye, J.-P. André, J. N. Patillon and F. Frijlink.
- 92-11 LCIE/BNM (France). — Rattachement des tensions et des courants alternatifs aux tensions et courants continus, par A. Polétaeff et J. C. Antoine.
- 92-12 LCIE/BNM (France). — Diviseur résistif étalon à 250 kV, par I. Blanc, J. C. Antoine et S. Pautonnier.
- 92-13 LCIE/BNM (France). — A 250 kV DC Resistive Divider Standard, by I. Blanc, J. C. Antoine and S. Pautonnier.
- 92-14 NRLM (Japon). — Present Status of the Magnetic Levitation System for Absolute Determination of the Magnetic Flux Quantum, by F. Shiota.
- 92-15 NRLM (Japon) et IMGC (Italie). — Accurate Determination of the Density of a Silicon Crystal, by K. Fujii, M. Tanaka, Y. Nezu, K. Nakayama, R. Masui and G. Zosi. *The Twelfth Japan Symposium on Thermophysical Properties*, 1991, 259-262.
- 92-16 ETL (Japon). — Resistance Standard at ETL, by J. Kinoshita, K. Segawa, K. Yoshihiro and T. Endo.
- 92-17 NIST (É.-U. d'Amérique) et ETL (Japon). — Anomalous offset quantized Hall plateaus in high-mobility Si-MOSFETs, by C. T. Van Degrift, K. Yoshihiro, M. E. Cage, D. Yu, K. Segawa, J. Kinoshita and T. Endo. *Surface Science*, 1992, **263**, 116-119.
- 92-18 ETL (Japon). — Josephson Junction Array Voltage Standard at the ETL, by Y. Sakamoto, H. Yoshida, T. Sakuraba, A. Odawara, Y. Murayama and T. Endo. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 312-316.
- 92-19 ETL et Advantest Sendai Laboratories Ltd. (Japon). — Mutual Comparisons of Fully Automated Josephson-Junction-Array-Voltage-Standard Systems, by A. Iwasa, Y. Sakamoto, H. Yoshida and T. Endo.
- 92-20 ETL (Japon). — A 10 V Measuring System Using an Automated Voltage Divider and a 1 V Josephson Array, by Y. Sakamoto, T. Endo and T. Sakuraba.

- 92-21 ETL et Japan Electric Meters Inspection Corporation (Japon). — Automated Measurement System for Thermal AC-DC Transfer Standards, by H. Sasaki, K. Takahashi and T. Endo.
- 92-22 ETL (Japon). — Observation of Quantized Current in Random Networks of Very Small Josephson Junctions, by K. Yoshihiro. *Proc. 3rd Int. Symp. Foundations of Quantum Mechanics*, 1989, 244-254.
- 92-23 OFM (Suisse). — Progress in the Representation of the Electrical Quantities at OFM, by U. Feller, M. Flüeli and B. Jeckelmann.
- 92-24 NIST (É.-U. d'Amérique). — Progress in Electrical Measurements at NIST.
- 92-25 NIST (É.-U. d'Amérique). — Improvements in the NIST Watt Measurement: Monitoring the Mass Stability of the Kilogram, by P. T. Olsen, W. L. Tew and E. R. Williams.
- 92-26 NIST (É.-U. d'Amérique). — Quantized Dissipation of the Quantum Hall Effect at High Currents, by M. E. Cage.
- 92-27 NIST (É.-U. d'Amérique). — Proposed Measurement of the Fine Structure Constant Using a Coulomb-Blockade Charge Pump, by J. M. Martinis, G. Zimmerli, T. M. Eiles, H. D. Jensen and E. Williams.
- 92-28 NIST (É.-U. d'Amérique), NIM (Rép. pop. de Chine), PTB (Allemagne), Shaoxing Industry Research Institute (Rép. pop. de Chine) et VSL (Pays-Bas). — Intercomparison of Thermal Converters at NIM, NIST, PTB, SIRI, and VSL from 1 to 100 MHz, by J. R. Kinard, G. Rebuldela, Z. Zhen, D. Janik, D.-X. Huang and J. de Vreede.
- 92-29 NIST (É.-U. d'Amérique), NPL (Royaume-Uni), PTB (Allemagne) et VSL (Pays-Bas). — Intercomparison of NIST, PTB, and VSL Thermal Voltage Converters from 100 kHz to 1 MHz, by J. R. Kinard, R. B. D. Knight, P. Martin, M. Klonz, J. de Vreede and J. Dessens.
- 92-30 NIST et Datron/Wavetek (É.-U. d'Amérique). — Zener Reference Transfers Between 10 V Josephson Array Systems, by R. L. Steiner and S. Stahley.
- 92-31 NIST (É.-U. d'Amérique). — Characterized Generator Extends Phase Meter Calibrations from 50 kHz to 20 MHz, by N. M. Oldham and P. S. Hetrick.
- 92-32 PTB (Allemagne). — Proposal on a γ_p -High Experimental Set-up, by K. Weyand.

- 92-33 IMM [VNIIM] (Fédération de Russie) et PTB (Allemagne). — Comparison of Quantized Hall Resistance Measurements Between IMM and PTB, by Yu. V. Tarbeev, A. V. Ploshinsky, I. V. Khakhamov, P. Warnecke and E. Pesel.
- 92-34 PTB (Allemagne). — Comparison of Precision AC and DC Measurements with the Quantized Hall Resistance, by J. Melcher, P. Warnecke and R. Hanke.
- 92-35 PTB (Allemagne). — Improved Impedance Transformation Between Microwave Oscillator and Josephson Junction Series Array, by P. Gutmann, E. Vollmer, J. Kohlmann, F. Müller, T. Weimann and J. Niemeyer.
- 92-36 PTB (Allemagne). — Resistance Standard Enclosures, a More Practical Way of High Precision Intercomparisons, by B. Schumacher, H. Leontiew, E. Pesel and P. Warnecke.
- 92-37 PTB (Allemagne). — A Novel Gallium Thermostat for the Conservation of Standards, by B.-R. Heinze.
- 92-38 PTB (Allemagne). — Present Situation of Josephson Standard Chip Production at PTB, by R. Pöpel, F. Müller, H. Wolf, W. Meier, T. Weimann and J. Niemeyer.
- 92-39 PTB (Allemagne). — Ratio Standard for DC Resistance Using a Josephson Potentiometer, by J. Kohlmann, P. Gutmann and J. Niemeyer.
- 92-40 PTB (Allemagne). — Hybrid Integration of a Microwave Oscillator with a Josephson Series Array, by E. Vollmer and P. Gutmann.
- 92-41 PTB (Allemagne). — Present Status of the International Comparison of 10 mH Inductance Standards, by H. Eckardt and K. Neumann.
- 92-42 VNIIM (Fédération de Russie) et PTB (Allemagne). — Comparison of the Magnetic Flux Density by Means of a Transfer Standard Coil, by V. N. Chorev, V. Ya. Shifrin and K. Weyand.
- 92-43 PTB (Allemagne). — Determination of the Josephson Constant with the PTB Voltage Balance, by T. Funck.
- 92-44 Dansk Institut for Fundamental Metrologi (Danemark). — Fabrication and Distribution of Quantum Hall Effect Samples, by A. Kirstensen.
- 92-45 Swedish National Testing and Research Institute (Suède). — A Constant Voltage Source Based on a Mercury Battery, by A. Bergman and H. Nilsson.

- 92-46 Swedish National Testing and Research Institute (Suède). — High Precision Automated Measuring System for AC-DC Current Transfer Standards, by K.-E. Rydler.
- 92-47 Swedish National Testing and Research Institute (Suède). — An Automated Measuring System for One-to-ten Volt DC, by P. Simonsson and H. Nilsson.
- 92-48 NPL et Oxford Instruments Ltd. (Royaume-Uni). — Development of Arrays of Josephson Junctions by NPL and Oxford Instruments, by A. Hartland, L. C. A. Henderson, J. M. Lumley, J. H. James, C. M. Pereira, R. Venn and J. Howlett.
- 92-49 NPL (Royaume-Uni). — A 10 V Standard Using a 1 V Josephson Array, by L.C.A. Henderson, A. Hartland and J. M. Williams.
- 92-50 NPL (Royaume-Uni). — Comments on the Provisional CCE Agenda, by B.P. Kibble.
- 92-51 NRC (Canada). — The Canadian Realisation of a Quantized Hall Resistance Standards, by A. D. Inglis, B. M. Wood and B. Young.
- 92-52 IEN (Italie). — CCE Intercomparison of 10 mH Inductors: Measurement Method and Results at IEN, by F. Cabiati and G. C. Bosco.
- 92-53 CSIRO (Australie). — Present Status of the Ohm at the National Measurement Laboratory, Sydney, Australia, by G. W. Small.
- 92-54 NIST (É.-U. d'Amérique). — International Comparisons Conducted by Consultative Committees, by J. D. Simmons.
- 92-55 NIST (É.-U. d'Amérique). — Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: A Status Report, by B. N. Taylor and E. R. Cohen. *J. of Res. of the NIST*, 1990, **95**, 497-516.
How Accurate are the Josephson and Quantum Hall Effects and QED?, by B. N. Taylor and E. R. Cohen. *Phys. Lett. A*, 1991, **153**, 308-312.
- 92-56 BIPM. — Accurate AC Measurements of Standard Resistors Between 1 Hz and 20 Hz, by F. Delahaye and D. Bournaud.
- 92-57 BIPM. — The Role and Activities of the Electricity Section of the BIPM, by T. J. Witt, F. Delahaye and D. Reymann.

- 92-58 BIPM. — International Comparisons of Josephson Array Voltage Standards, by D. Reymann and T. J. Witt.
- 92-59 PTB (Allemagne). — Non-reversible behaviour of precision standard resistors due to temporary changes in the maintenance temperature, by H. Leontiew and P. Warnecke. *PTB-Mitteilungen*, 1992, 289-290.
- 92-60 IEN (Italie). — Relating to mechanical quantities through a power equation, by F. Cabiati.
Alternative Methods for Relating Electrical to Mechanical Quantities Through a Power Equation, by F. Cabiati. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 110-114.
- 92-61 NPL (Royaume-Uni). — The New NPL Moving-Coil Balance — A Progress Report, by B. P. Kibble, I. A. Robinson and J. H. Belliss.
- 92-62 VSL (Pays-Bas). — General Progress Report of VSL During 1988-1992, by J. P. M. de Vreede and R. Kaarls.
- 92-63 VSL (Pays-Bas). — CCE Intercomparison of AC-DC Transfer Standards, by J. P. M. de Vreede.
- 92-64 NRC (Canada). — Developments in Electrical Measurements at NRC.
- 92-65 IEN (Italie). — A Room Temperature Setup to Compare the Quantized Hall Resistance with $1\ \Omega$ Standards, by G. Boella and G. Marullo Reedtz. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1992, **41**, 59-63.
- 92-66 NIM (Rép. pop. de Chine). — The New Progress of the QHR Standard at NIM, by Zhang Zhonghua, Wang Dengan, Hu Zhi, Zheng Jiu, He Qing and Liu Ruimin.
- 92-67 PTB (Allemagne). — Possible Monitoring and Realizing the Kilogram, Assisted by Electrical Quantum Standards, by M. Gläser and J. Rutkowsky.
- 92-68 VSL (Pays-Bas). — Minutes of the Meeting on Single Electron Tunnelling and Quantum Current Standards (draft), by P. de la Court and J. de Vreede.
-



COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

MEETING OF 1992

Note on the use of the English text

To make its reports and those of its various Comités Consultatifs more widely accessible the Comité International des Poids et Mesures has decided to publish an English version of these reports. Readers should note that the official record is always that of the French text. This must be used when an authoritative reference is required or when there is doubt about the interpretation of the text.

Note sur l'utilisation du texte anglais

Afin de faciliter l'accès à ses rapports et à ceux des divers comités consultatifs, le Comité international des poids et mesures a décidé de publier une version en anglais de ces rapports. Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.



THE BIPM AND THE CONVENTION DU MÈTRE

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

BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 m²) of the Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) placed at its disposal by the French Government; its upkeep is financed jointly by the Member States of the Convention du Mètre*.

The task of BIPM is to ensure world-wide unification of physical measurements; it is responsible for :

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

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

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

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

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

The activities of BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement for electricity (1927), photometry (1937), ionizing radiations (1960) and to time scales (1988). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929; new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories, in 1984 for the laser work and in 1988 a new building for a library and offices was opened.

* As of 31 December 1992, forty-six States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep. of), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Russian Federation, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela.

Some forty physicists or technicians are working in the BIPM laboratories. They are mainly conducting metrological research, international comparisons of realizations of units and the checking of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in *Procès-Verbaux des séances du Comité International* gives the details of the work in progress.

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

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

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

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

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

The *Bureau International* also publishes monographs on special metrological subjects and, under the title «*Le Système International d'Unités (SI)*», a booklet, periodically up-dated, in which all the decisions and recommendations concerning units are collected.

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

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

Comité International des Poids et Mesures

Secretary
J. KOVALEVSKY

President
D. KIND

**MEMBERS
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ**

President

D. KIND, President of the Comité International des Poids et Mesures,
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Members

CSIR, DIVISION OF PRODUCTION TECHNOLOGY [DPT], Pretoria.

CSIRO, DIVISION OF APPLIED PHYSICS [CSIRO], Lindfield.

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [ETL], Tsukuba.

INSTITUTUL NATIONAL DE METROLOGIE [INM], Bucharest.

ISTITUTO ELETTROTECNICO GALILEO FERRARIS [IEN], Turin.

D.I. MENDELEYEV INSTITUTE OF METROLOGY [VNIIM], Saint-Petersburg.

NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY [NIM], Beijing.

LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES [LCIE], Fontenay-
aux-Roses.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA [NRC], Ottawa.

OFFICE FÉDÉRAL DE MÉTROLOGIE [OFM], Wabern.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

VAN SWINDEN LABORATORIUM [VSL], Delft.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM],
Sèvres.

AGENDA
for the 19th Meeting

1. Matters related to fundamental constants
 - A. Advances in realizations of SI electrical units including prospects for improved knowledge of K_J and R_K ;
 - B. Discussion of the progress towards and prospects of monitoring the kilogram by means of electrical measurements.
2. Matters related to the new representations of the volt and the ohm
 - A. Discussion of any difficulties that may have arisen in applying Recommendations 1 (CI-1988) and 2 (CI-1988) concerning the new representations of the volt and the ohm ;
 - B. Consideration of any new technical information that may require a short addendum to the *Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance* ;
 - C. Present situation and future activities related to the availability of quantized Hall resistance samples and arrays of Josephson junctions.
3. International comparisons
 - A. Report on the 1990 international resistance comparison at the BIPM ;
 - B. International comparisons of voltage standards based on arrays of Josephson junctions ;
 - C. Progress report on the CCE international comparison of ac/dc transfer standards (Pilot laboratory : VSL) ;
 - D. Progress report on the CCE international comparison of inductance (Pilot laboratory : PTB) ;
 - E. Future international comparisons to assure compatibility among national electrical standards ;
 - F. Advances in travelling standards for electrical quantities.
4. New phenomena related to electrical metrology such as high-temperature superconductivity and single electron tunnelling.
5. Report on the CCE Working Group on Radiofrequency Quantities.

6. Present and planned activities of the electricity section of the BIPM.
 7. Cooperation and collaboration between the CCE and regional groups of national metrology institutes such as EUROMET, COOMET, etc.
 8. Future activities of the CCE.
 9. Miscellaneous questions.
-



REPORT
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ
(19th Meeting — 1992)
TO THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by B. M. WOOD, Rapporteur

The Comité Consultatif d'Électricité (CCE) held its nineteenth meeting on 15 and 16 June 1992 at the Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, at Sèvres.

The following were present :

D. KIND, President of the CCE.

The delegates from the member laboratories :

CSIR, Division of Production Technology [DPT], Pretoria
(W. M. P. MARAIS).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield
(G. W. SMALL).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Tsukuba (T. ENDO).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin
(F. CABIATI, G. MARULLO REEDTZ).

Laboratoire Central des Industries Électriques [LCIE], Fontenay-
aux-Roses (L. ÉRARD, G. GENEVÈS).

National Institute of Metrology [NIM], Beijing (R. LIU).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithers-
burg (B. N. TAYLOR).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (B. KIBBLE).

National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (B. M. WOOD,
E. SO, J. VANIER).

Office Fédéral de Métrologie [OFM], Wabern (U. FELLER).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(H. BACHMAIR, E. BRAUN).

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

The Director of the BIPM (T. J. QUINN).

Invited guests :

DSIR, Physical Sciences [DSIR], Lower Hutt (K. JONES).
Korea Research Institute of Standards and Science [KRISST], Taejeon
(NAK SAM CHUNG).
Statens Provningsanstalt [SP], Borås (H. NILSSON).

Also attending the meeting : H. PRESTON-THOMAS (CIPM member) ;
T. J. WITT, F. DELAHAYE, D. REYMANN, R. S. DAVIS (BIPM).

Absent :

D. I. Mendeleyev Institute of Metrology [VNIIM], Saint-Petersburg.
Institutul National de Metrologie [INM], Bucharest.

The President of the CCE and the Director of the BIPM welcomed the participants. The President went on to explain that the present composition of the CCE was decided by the CIPM in 1988 and that at its next meeting in September 1992, the CIPM would review and renew memberships. Mr Wood was appointed rapporteur. A total of 68 documents was presented to the meeting for consideration by the CCE. A list is given in Appendix 1 (p. E 24). The provisional agenda was approved by the members without modification.

A message was sent by the CCE to its past chairman, E. Ambler, thanking him for his leadership of the CCE.

1. Fundamental constants

The President asked the delegates to report on the current work on fundamental constants in the national laboratories. The discussion focused on K_J , R_K and prospects for monitoring the international prototype of the kilogram (\mathfrak{K}) by electrical methods.

Many comments concerning fundamental constants and the universality and consistency of K_J and R_K were made. Further, the accuracy required for the electrical monitoring of the kilogram to have an impact on mass standards was discussed. As the CCE meeting immediately followed the CPEM '92 conference, many comments referred to the work presented there.

1.1. The quantum Hall resistance

Mr Kibble described the equality of the quantum Hall resistance (QHR) in Si-MOSFET and GaAs samples in the measurements reported by Mr Hartland at the NPL. If, as this work suggests, the QHR is truly sample independent to within 3 parts in 10^{10} then there is greater belief that $R_K = h/e^2 = \mu_0 c/2\alpha$, i.e., is directly related to the fundamental constants. More work at this accuracy is needed.

Mr Braun contrasted the Hartland work with the discrepancies observed by the ETL and the NIST in measurements on Si-MOSFETs and GaAs. Mr Kibble pointed out that the NRC results also showed discrepancies on the consistency of R_H values for different quantum numbers.

With respect to possible flaws in the QHR as a resistance standard, Mr Wood explained that in no case were the discrepancies reported by the NRC, the ETL or the NIST observed in samples for which the *Technical Guidelines for Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance* were rigorously followed. In each case at least one of the consistency checks recommended by the QHR *Guidelines* had not been completed before warming the sample. There is evidence that in some samples a transitory disturbance can alter the sample's electrical characteristics. In such cases, all tests such as magnetic field reversal, flatness of the plateau, current dependence, temperature dependence, R_{XX} dependence and consistency of R_H values for different quantum numbers may have to be evaluated while the sample is kept cold. For reasons of constraints in time, no laboratory has managed to complete all these tests on the samples in which deviations have been observed.

Mr Endo summarized QHR measurements at the ETL (document CCE/92-16). Although Si-MOSFET samples from Sony occasionally show discrepancies, it is not easy to draw conclusions from the measurements because a systematic error, caused by a loss of gain, has been discovered in a critical amplifier in the circuit of the ETL cryogenic current comparator (CCC) used to scale to the 1 ohm level. This error may have resulted in the discrepancy of the ETL 1 ohm results in the 1990 CCE resistance comparison. The President requested the ETL to inform QHR specialists in case an error is definitely uncovered in measurements that imply inconsistency in R_H values for different plateaus or different samples.

Mr Vanier stated that there was still no microscopic theory of the QHR and that laboratories should be encouraged to stimulate theoretical efforts in this area.

Mr Énard stated that the LCIE expects, during 1993, to carry out an improved determination of R_K via their calculable capacitor. He expects to achieve an accuracy of a few parts in 10^7 .

Mr Taylor reminded the meeting that proof of the equality $R_K = h/e^2 = \mu_0 c / 2\alpha$ is very important because the value of α is known to 7 parts in 10^9 from the calculations of Mr Kinoshita. Not only is α one of the best known fundamental constants, but an improvement in the accuracy with which it is known may be expected in the foreseeable future.

Mr Bachmair mentioned the ac QHR resistance determination at the PTB using a four terminal-pair divider bridge at 1 592 Hz (document CCE/92-34). The first measurements have a reproducibility of 1,4 parts in 10^7 . Improvements, including the use of a quadrature bridge, are being considered.

Mr Kibble pointed out that the frequency coefficient of a standard capacitor is difficult to measure and that ac measurements of the QHR may help. By using a quadrature bridge ($\omega RC = 1$) and choosing different plateaus (supposing that it has already been established for the sample that $iR_H(i)$ is constant for all i) it would be possible to deduce the frequency coefficient of the capacitor by measuring different plateaus with respect to a single capacitor at different frequencies. Lead resistances should pose only a slight problem. He therefore urged more laboratories to attempt measurements with a quadrature bridge.

1.2. Monitoring the kilogram via electrical measurements

Mr Kibble commented that too few absolute measurements of K_J and R_K have been made at the highest accuracy. However, he added this made it more important to have supporting evidence, even at lower accuracy, if only to limit the possibility of a large systematic error in the results claiming higher accuracy. He described some of the progress in the NPL realization of the watt and indicated that an uncertainty of one part in 10^8 may be achieved within the next two years.

Mr Taylor stated that determinations of the value K_J are perhaps more important than R_K , because a value of R_K may be obtained from α whereas the value of K_J is needed to establish the consistency of various fundamental constants. Mr Taylor also noted that the uncertainty of the NIST moving coil balance experiment is expected to decrease to one part in 10^7 by the end of 1992. He recalled that measurements related to the kilogram measure the product mg and not just m and he stressed the importance of knowing the value of gravitational acceleration g at the measurement site.

Messrs. Quinn and Davis of the BIPM led a discussion on the problems and accuracies of mass measurements in order to put into perspective the accuracy requirements of an electrical measurement aimed at monitoring the kilogram. Mr Davis noted that an accurate knowledge of g is not required for conventional mass measurements since only the gradient in g is important for balances; balances compare masses, not forces. Mr Quinn commented that comparisons carried out at the BIPM show agreement among gravimeters to about 1-2 parts in 10^8 . To achieve such accuracy requires very accurate knowledge of the earth tide corrections. To push accuracy even further requires corrections for the effects of atmospheric pressure and ground water levels.

Mr Kibble felt that he only needed reproducibility in g and would leave the absolute calibration till a later time. He pointed out that recent advances in atom fountain experiments reported at the CPEM'92 could provide an independent evaluation of g .

Mr Kibble commented that Mr Bego's balance is analogous to the moving coil experiments, in the sense that both use the concept of

virtual work, but that they differ significantly in detail. Agreement between them would add to the confidence given to the uncertainty assessments for the moving-coil experiment. He also noted that Mr Bego's new method of measuring current as the high-voltage electrodes in his experiment move at a constant speed eliminates the need for accurate measurement of a capacitance [BEGO *et al.*, *CPEM'92 Digest*, 18-19]. Mr Bachmair said that the PTB will calibrate Mr Bego's electrical standards.

Mr Taylor remarked that comparisons of calculable capacitors are still needed, perhaps by carrying out an international comparison at the 10 pF level.

Mr Endo described the state of development of the NRLM superconductor levitation experiment noting that it is at a preliminary stage. With the present 25 g mass the accuracy goal is 1 part in 10^6 . The next phase will be to use a 1 kg mass. Two outstanding problems are the calculation of the consequences of an incomplete Meissner effect in the levitated mass and the accurate determination of the centre of mass of the levitated body. Mr Endo went on to describe the determination of the Avogadro constant by measuring a silicon sphere. This work is being performed in collaboration with the IMGC in Italy and requires mass, volume, lattice spacing and isotopic concentration measurements. The isotopic concentration measurements are the present limitation.

Mr Bachmair mentioned the PTB's attempts to obtain silicon of high isotopic purity for their Avogadro constant measurement. He also mentioned plans for a surface study using a scanning tunnelling microscope.

Mr Kibble asked about improvements in the reproducibility of kilogram measurements at the BIPM. He remarked that, although the reproducibility of electrical measurements related to the kilogram cannot match the reproducibility (~ 1 part in 10^9) of kilogram mass comparisons, electrical measurements provide a means of checking the absolute stability of the kilogram.

Mr Quinn described experiments at the BIPM to study the surface behaviour of mass standards. The method involves comparisons of a standard 1 kg Pt-Ir and four Pt-Ir discs of total mass 1 kg but having twice the surface area. The measured differences in mass are very insensitive to humidity changes (a mass difference of $< 0,5 \mu\text{g}$ was observed for a change in relative humidity from 38 % to 58 %) which is probably explained by the fine diamond polishing of the surfaces. Similar insensitivity was observed with respect to temperature. Measurements in vacuum are planned soon and will allow out-gassing effects to be studied. Observations following cleaning procedures have demonstrated that Pt-Ir standards undergo an initial rapid mass increase of about $1 \mu\text{g}$ per month. After several years, a steady rate of $1 \mu\text{g}$ per year is attained. However, there is still no knowledge of the absolute stability of \mathfrak{K} . Mr Quinn showed data from comparisons of \mathfrak{K} with

a number of national prototypes and official copies. Over the last 100 years, many of the copies and national prototypes have increased in mass, with respect to \mathcal{K} , by about $50 \mu\text{g}$, but these results imply little about the absolute stability of \mathcal{K} . To improve our knowledge of absolute stability by electrical measurements would require a method capable of detecting changes of $10 \mu\text{g}$ per year in an observation time of no more than five years. It is of course desirable to have an absolute standard of mass capable of meeting all the present needs of metrology. Such a standard would provide an accuracy of one part in 10^8 .

With such a long experimental time involved, several members commented that long-term continuity is required in the kilogram monitoring experiments as are improvements in the reliability and simplicity of measurement of the voltage and resistance determinations.

Mr Taylor reminded the CCE that a new CODATA adjustment of the fundamental constants is planned for 1995 and that the final date for accepting data will be just after the CPEM '94.

2. Matters related to the new representations of the volt and ohm

2.1. Difficulties arising from Recommendations 1 and 2 (CI-1988)

Mr Wood congratulated the national laboratories on the excellent preparation and distribution of documentation concerning the new representations of the volt and the ohm. He stated that the NRC has received no enquiries concerning the change since January 1, 1990. Others mentioned similar experiences in other countries.

2.2. Quantum Hall resistance technical guidelines

Mr Braun commented that anomalous QHR results have been reported at the ETL. These include a discrepancy between GaAs/GaAlAs and Si-MOSFET samples.

Mr Endo explained that the ETL has observed problems on the $i = 4$ plateau of some Si-MOSFETs. Comparisons of plateaus 2 and 4 of these samples are planned, but have not yet been carried out.

Mr Delahaye explained some aspects of the *Technical Guidelines* and their applicability to the observed discrepancies. He noted that the *Guidelines* specifically request laboratories to make suggestions to the BIPM for additions or modifications to the *Guidelines*. No such suggestions have been received. To date, it appears that no discrepancies have been reported in samples that have passed the full set of tests recommended in the *Guidelines*. It was generally acknowledged that, while the *Guidelines* may have to be revised at some time in the future, there is, as yet, no reason to do so.

2.3. Availability of Josephson arrays and quantum Hall resistance samples

Josephson arrays

Mr Bachmair stated that the PTB is presently fabricating 1 volt Nb/Al₂O₃/Nb arrays which are freely available, but in limited supply. An interruption in production is expected during the move to new clean room facilities. Some 10 volt arrays are also being made, but the success rate is low.

Mr Endo stated that the ETL is producing a few Nb/AlO_x/Nb arrays, but that they are not generally available as few have been produced. Work on a 10 volt array has begun. Commercial involvement and support is being sought.

Mr Taylor stated that the NIST 1 volt arrays were generally available but that current production of the 10 volt arrays was not successful (document CCE/92-24).

Mr Chung stated that arrays of 200 junctions were being made at the KRISS.

Mr Bachmair indicated that the PTB would continue the production of arrays for several years at least.

Quantum Hall resistance samples

Mr Kibble commented that QHR samples were generally available and that the NPL was trying to obtain samples from commercial sources.

Mr Witt referred to document CCE/92-10 and mentioned that unmounted LEP samples are available through the BIPM to members of the Convention du Mètre. Some samples that are bonded and mounted in TO-8 headers may also be available. Mr Énard said that the LEP will no longer produce QHR samples.

Various laboratories including the LCIE (document CCE/92-10), the OFM, the DFM (document CCE/92-44), the PTB and several ones in the ex-USSR, have made QHR samples available to others.

Mr Feller expressed concern about the long term availability of QHR samples and, more importantly, of Josephson arrays.

3. International comparisons

3.1. The 1990 resistance comparison at the BIPM

Mr Witt presented a summary of the results of the 1990 international resistance comparison at the BIPM (document CCE/92-1 and *Metrologia*, 1992, **29**, 273-283). The results indicate agreement of $(-3,2 \pm 2,4)$

parts in 10^8 at 1Ω and $(0,9 \pm 2,2)$ parts in 10^8 at $10 \text{ k}\Omega$. It was concluded, from the fact that the dispersion of these results is about the same as in the previous comparison, that the accuracy of comparisons of this type is limited by the quality of the transfer resistors.

Mr Liu noted that the NIM resistance scaling techniques for $10 \text{ k}\Omega$ resistors have been improved and are expected to have a precision of 1-2 parts in 10^8 . He also expressed a desire to repeat the $10 \text{ k}\Omega$ comparison in the near future.

3.2. International comparisons of Josephson arrays

Mr Reymann reviewed the excellent results of recent direct and indirect Josephson array comparisons (document CCE/92-58). These comparisons show agreement of three different types of arrays in seven different laboratories to a few parts in 10^{10} . Comparisons using reference standards based on Zener diodes agreed to within 1-2 parts in 10^8 . Potential sources of measurement error were discussed.

3.3. International comparison of ac/dc transfer standards

Mr Kaarls summarized the results of a comparison of ac/dc transfer standards which was begun in 1980 (document CCE/92-63). The general agreement among the national laboratories was quite good. Mr Wood noted that the best quality commercial equipment was being calibrated to a better uncertainty than was being reported by the NIST in this comparison. (Mr Taylor looked into this matter after the meeting and subsequently found that this conclusion is not correct because the uncertainty reported by the NIST in the international comparison was interpreted as being a one standard deviation estimate when it was in fact a two standard deviation estimate.) Mr Kaarls noted that commercial calibration certificates are not accepted in his country unless the instruments are calibrated within Europe. Mr Marais stated that difficulties were caused by the lack of a national calibration programme in the United States.

3.4. International comparison of inductance

A progress report of the 10 mH inductance comparison was presented by the pilot laboratory PTB (documents CCE/92-41 and CCE/92-41b). Most of the measurements have been completed but further uncertainty assessment is required from the participating laboratories. It is expected that this comparison will be completed by the end of 1993.

3.5. Future comparisons

Five CCE comparisons were proposed and discussed at some length. They are listed below. It was decided that it would be the responsibility of the pilot laboratories to finalize the technical details of these comparisons and to confirm the participation of the interested laboratories. It was noted that when necessary CCE delegates can be expected to receive initial correspondence related to comparisons and to relay it to the appropriate person in his laboratory.

Proposed CCE comparison 92-1 of 10 pF capacitors

Details : Participating laboratories are expected to be able to relate the 10 pF measurements to their own calculable capacitor or to their own transfer measurements from the quantized Hall resistance.

Probable frequency : 1 592 Hz.

Probable voltage : 100 V.

Pilot laboratory : NIST.

Participants : CSIRO, DSIR/MSL, ETL, KRIS, LCIE, NIM, NPL, PTB, SP, VSL.

The KRIS will be the pilot laboratory for Asia/Pacific round of the comparison.

Proposed CCE comparison 92-2 of ac-power and energy at 50-60 Hz

Details : The NIST will supply a transportable transducer device.

Proposed currents : 1-50 A.

Proposed voltage : 120 V.

Pilot laboratory : NIST.

Participants : CSIRO, ETL/JEMIC, IEN, LCIE, NIM, NPL, NRC, OFM, PTB, SP, VSL.

Proposed CCE comparison 92-3 of multijunction ac/dc transfer devices

Details : The comparison will be carried out at highest accuracy levels (expected relative uncertainty $< 1 \times 10^{-6}$).

Frequency : 1 kHz.

Voltage : 5 V.

Pilot laboratory : PTB.

Participants : IEN, KRIS, LCIE, NIM, NIST, NPL, NRC, OFM, PTB, SP, VSL.

Proposed CCE comparison 92-4 of single junction thermal voltage converters

Details : The study includes ranging resistors.

Frequency : 50 kHz to 100 kHz.

Voltage : 100 V to 1 kV.

Connectors are still to be specified.

Pilot laboratory : LCIE.

Participants : CSIRO, ETL/JEMIC*, IEN, KRISS, LCIE, NIM, NIST, NPL, NRC, OFM, PTB, SP, VSL.

Proposed CCE comparison 92-5 of single junction thermal voltage converters

Details : The study includes ranging resistors.

Frequency : 1 MHz to 50 MHz.

Voltage : 4 V.

Pilot Laboratory : VSL.

Participants : CSIRO, ETL/JEMIC*, LCIE, NIM, NIST, NPL, NRC, OFM, PTB.

3.6. Advances in travelling standards for electrical quantities

Ongoing work at the NIST concerning the development of new 10 pF capacitors for use in the proposed CCE comparison was reported.

Mr Liu mentioned that four manufacturing facilities in the People's Rep. of China produce Weston type standard cells and that at least two of these facilities make cells of excellent quality. Some of these cells have been tested over periods of several years at the NIM where they were found to be high grade reference standards suitable for use as national standards.

Mr So stated that the NRC has developed a transportable system for calibration of power transformers and their associated measurement systems.

Mr Braun reported thermal hysteresis effects observed in L&N Thomas-type 1 ohm resistors. Specialists at the PTB have successfully thermostated these resistors in a transportable enclosure. Mr Small noted that the CSIRO/NML resistors are tested for thermal hysteresis and that the change in resistance is typically of the order of 1 part in 10^8 . Mr Witt reported that the ESI 10 k Ω resistors have no observed hysteresis at a level of 1 part in 10^8 following cycling between 15 °C and 20 °C.

* To be confirmed by the laboratory specialists.

4. New phenomena, single electron tunnelling (SET), high- T_c superconductivity

The PTB is working on the theory of single electron devices as well as developing electron-beam lithography to achieve resolutions of less than 100 nm. A cryogenic current comparator (CCC) measurement system is being considered.

The VSL and the Delft University of Technology collaborate on the design and theory of SET devices. A charge integrator is under development. The goal is to measure currents from SET devices with a precision of 1 part in 10^5 .

At the NIST, an important project is concentrated on the fabrication and precision measurement of SET devices. The final objective is an independent determination of α .

At the NPL, a project has begun on the development of a large CCC for SET precision measurement. Cambridge University plans to fabricate the devices. Development is under-way on high-frequency mixers using high- T_c thin film Josephson microbridges.

At the NRC, a project has just begun on SET studies. The NRC presently has electron-beam lithography capability to achieve resolutions below 100 nm.

At the LCIE, a collaboration may be established with the CEN's Laboratoire de Physique de l'État Solide, Saclay, on the theory and measurement of SET devices.

At the PTB, a high- T_c thin film bolometer has been developed.

In high- T_c materials, the BIPM has studied microwave-induced Josephson steps (document CCE/92-2), magnetic shielding and techniques for making soldered contacts to bulk high- T_c ceramics (document CCE/92-57).

5. Report on the CCE Working Group on Radiofrequency Quantities

Mr Énard, chairman of the Working Group in Radiofrequency Quantities (GT-RF), presented the report of the group's meeting held at the LCIE on 13 June 1992. The text of the report is given at the end of this report (see p. E 53).

6. Present and planned activities of the electricity section of the BIPM

Mr Witt reported on the work of the electricity section of the BIPM (document CCE/92-57), mentioning the international comparisons of Josephson arrays and resistances as well as research activities in resistance metrology and possible applications of high- T_c superconductors in metrology. Two future activities were emphasized: a new scheme for accurate international comparisons of resistance ratios and activities aimed at monitoring the international prototype of the kilogram.

Resistance ratio comparison

A transportable low-frequency ac bridge has been developed at the BIPM (document CCE/92-56). It has been designed to test resistance scaling required with QHR standards. A preliminary test will be performed at the LCIE.

Monitoring the stability of the kilogram

It was decided to establish a CCE working group on electrical methods to monitor the stability of the kilogram. Mr Kibble was appointed chairman. Membership will be drawn from technical personnel of the ETL, the NIST, the NPL, the PTB and the BIPM involved in these experiments.

7. Cooperation and collaboration between the CCE and regional metrology groups

Considerable discussion was devoted to the topic of cooperation and collaboration between the CCE and regional metrology groups. Numerous opinions and viewpoints were presented. It was generally felt that the BIPM should help to link activities organized by individual regional metrology groups with those of other regional groups and of the CCE. It was recalled that on several occasions, regional comparisons discussed at the CCE meeting have attracted the interest of laboratories outside that region and been transformed into CCE comparisons. Some CCE members felt that the BIPM could help by publishing, in summary, results of comparisons organized by regional groups. Recommendation E 1 (1992) was voted and approved by the CCE (see p. E 52).

8. Future activities of the CCE

It was proposed that a meeting of the CCE should be held in Boulder, Colorado, USA to coincide with the CPEM conference in 1994.

Other future activities involve the five adopted comparisons.

9. Miscellaneous questions

Mr Taylor informed the CCE that the new draft of the ISO *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* will soon be distributed to the CIPM and all its consultative committees. Mr Kaarls said that this document is very important and that he hopes that the ISO will soon approve the final text.

Mr Vanier informed the CCE that the IEEE technical committee on uncertainty is chaired by Mr N. B. Belecki of the NIST.

In closing the meeting, the President thanked the delegates and the BIPM staff for their participation in the meeting.

September 1992

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

Traceability, via the BIPM, of the results of regional comparisons of measurement standards

RECOMMENDATION E 1 (1992)

The Comité Consultatif d'Électricité (CCE),

considering

— the increasingly stringent requirements imposed by international trade for traceability in measurement at many levels of accuracy;

— the existence of regional groups of cooperating national standards laboratories;

— the need to have worldwide recognition of the results of comparisons of measurement standards carried out among the laboratories of these regional groups, some of which do not participate in comparisons carried out by the CCE;

— the role of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in carrying out and coordinating worldwide comparisons of standards at the highest level;

— the impossibility of the BIPM's working in all fields and at all levels;

recommends that

— the BIPM consider carrying out, either directly or through the members of the CCE, comparisons with one or more of the laboratories of the member nations of the Convention du Mètre participating in regional comparisons so that the results of these regional comparisons may be interrelated and thereby given wider international recognition;

— the BIPM be kept informed of the progress and results of comparisons carried out within the regional groups so that the existence of these comparisons may be referred to, or the results published in summary, by the BIPM.

Report of the Working Group on Radiofrequency Quantities

The Working Group met at the Laboratoire Central des Industries Électriques, Fontenay-aux-Roses, France, on 13 June 1992.

Present : Mr L. ÉRARD, chairman, Messrs. L. BRUNETTI (IEN), R. COOK (NPL), R. L. GALLAWAY (NIST), A. JURKUS (NRC), P. I. SOMLO (CSIRO), U. STUMPER (PTB), J. P. M. DE VREEDE (VSL), R. YELL (NPL), K. YOSHIHIRO (ETL).

Also present at the meeting : Mr T. J. WITT (BIPM).

The Director of BIPM was represented by Mr T. J. WITT.

Absent : the representatives of the IRT, the NIM and the VNIIM.

Mr A. E. Bailey, the former GT-RF chairman, sent his greetings to the meeting along with his regrets for not being able to attend. He expressed his satisfaction with the valuable results obtained in the comparisons organized by the GT-RF.

The chairman welcomed the members of the Working Group on behalf of the General Manager of the LCIE and the Director of BIPM. The agenda was considered and approved.

Mr Witt was appointed rapporteur.

1. International comparisons completed since the last meeting of the Working Group (June 1988)

Five comparisons have been completed : details are given in Table I.

2. Comparisons almost completed

The status of seven comparisons, which were complete, except for preparation of the final report, is given in Table II.

3. Progress on continuing comparisons

A summary of the state of progress of comparisons arranged in 1975, 1978, 1983 and 1986, which are still active, is given in Table III.

4. New comparisons

Eight new international comparisons have been proposed and agreed by the participants: details are given in Table IV.

5. Future work

Possible subjects for future comparisons were considered (*see* Table V, S1 to S9).

6. Other business

i) Mr Énard reminded delegates that all important information about comparisons, such as the name of the pilot laboratory, the name of the person responsible for the comparison, changes of pilot laboratory, names of participating laboratories, the programme of the comparison, etc., should be communicated both to the BIPM and to the chairman of the GT-RF.

ii) Mr Énard explained that he addresses an annual questionnaire on the progress of each comparison to the person named by the pilot laboratory as being in charge of the comparison. If he does not have the name of this person, Mr Énard addresses the questionnaire to the last person to represent the pilot laboratory at a GT-RF meeting. On the basis of the responses to these questionnaires, he prepares a summary report on the state of progress of the comparison and sends it to each laboratory.

iii) Following a discussion on the difficulty of presenting the details of a comparison within the space limits imposed by a formal publication, it was decided that pilot laboratories should be prepared to guarantee to make available to participants the data upon which the final results are based.

iv) A problem was brought to the attention of the GT-RF. This concerns a case in which customs authorities demanded a pilot laboratory to pay a deposit in order to send its travelling standards to a laboratory that had agreed to participate in a comparison. It was decided that any laboratory participating in a GT-RF comparison must ensure that the travelling standards are able to enter and leave its country freely, without obliging other participants to pay customs, taxes or similar fees and without them being subjected to formalities of unusual complexity. The Working Group considered that the pilot laboratory should be free to delete from the list of participants a laboratory that cannot ensure these conditions of free transfer.

v) With the development of regional metrology groups such as EUROMET and COOMET, there is a possibility that comparisons will be duplicated. To avoid this, and to reduce the work load on the pilot laboratories, it was suggested that the chairman of the GT-RF inform the appropriate persons in the regional groups of the comparisons organized by the GT-RF.

7. Date of the next meeting

The exact date of the next GT-RF meeting will be fixed when the date of the next CCE meeting is known.

June 1992

Rapporteur

T. J. WITT

Chairman

L. ÉRARD

TABLE I

*Comparisons completed since the last meeting of the Working Group
(June 1988)*

- 75-A14 Attenuation in 75 Ω coaxial line at 300 MHz with GR 900 connectors.
(Pilot laboratory : PTB ; participants : NPL, NRC, TTL, VSL).
The final report was presented at the meeting. It has been published in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1993, **42**, 60-62.
- 78-1 Attenuation (60 and 100 dB) in 50 Ω coaxial line at 30 MHz.
(Pilot laboratory : PTB ; participants : CSIRO, IEN, FFV, LCIE, NIM, NIST, NPL, OMH, PKNM, VNIIFTRI, VSL).
The final report was presented at the meeting. It has been published in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1992, **41**, 345-348.
- 78-11 Impedance in coaxial line at 100, 200 and 300 MHz using GR 900 connectors.
(Pilot laboratory : NPL ; participants : CSIRO, NIST, PTB, VSL).
The final report will be sent to the Working Group members and an effort will be made to publish it.
- 83-3 Power at 94 GHz.
(Pilot laboratory : ETL ; participants : LCIE, NIST, NPL).
The final report has been published in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1989, **38**, 927-929.
- 86-5 Attenuation (< 50 dB) in fibre-optic systems.
(Pilot laboratory : ETL ; participants : CSELT, LCIE, PTB, VSL).
The final report has been published in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 855-859.

TABLE II

Comparisons nearly completed

- 75-A6 Voltage (100 V) in 50 Ω coaxial line at 30 MHz.
(Pilot laboratory : PTB ; participants : NIST, NPLI).
All laboratories have completed their measurements.
The final report is in preparation.
- 75-A7 Voltage (1 mV) in 50 Ω coaxial line at 30 MHz.
(Pilot laboratory : PTB ; participants : ASMW, NIM, NIST, NPLI, OMH, TTL).
A draft report has been sent to all participants.
- 75-A11 Power in coaxial line at 12, 14 and 17 GHz : effective efficiency of bolometer mounts with APC-7 connectors.
(Pilot laboratory : PTB ; participants : CSIRO, IEN, LCIE, NIST, NRC, OMH, VSL).
All laboratories have completed their measurements.
The final report is in preparation.

- 78-13 Noise power in waveguide R 100.
(Pilot laboratory: NPL; participants: CSIRO, LCIE, NIM, NIST, PTB).
All laboratories have completed their measurements.
The draft of the final report is in preparation.
- 86-2 Q -factor at frequencies up to 30 MHz.
(Pilot laboratory; NIST; participants: LCIE, Marconi Instrum., PTB, SESC).
All laboratories have completed their measurements.
The second draft of the final report is in preparation.
- 86-4 Laser power at 1,3 μm and 1,55 μm .
(Pilot laboratory: NIST; participants: CSELT, CSIC, CSIRO, ETL, INM, NPL, NPRL, NRC, OMH, PTB, SP, VSL).
The results were presented at CPEM'92. The publication of the final report has been accepted for publication in *Applied Optics*.
- 86-8 Attenuation (< 25 dB) in waveguide R 320 at 27, 35 and 40 GHz.
(Pilot laboratory: NPL; participants: LCIE, NRC, PTB, NIM did not participate).
All laboratories have completed their measurements.
The draft of the final report is completed.

TABLE III

Comparisons in progress

a. Comparisons abandoned

After reviewing the state of progress and the degree of interest shown, the Working Group decided that the following comparisons should be terminated.

- 72-1 Phase shift in waveguide R 100 at 9, 10 and 11,2 GHz.
(Pilot laboratory: NIST; participants: CSIRO, ETL, NPL, NRC).
The pilot laboratory is not able to provide a final report.
- 78-2 Power (10 mW) in 75 Ω coaxial line at 500 MHz (GR 900 connectors).
(Pilot laboratory: NRC; participants: LCIE, NPL, OMH, PTB, TTL, VSL).

b. Continuing comparisons*

- 75-A4 Reflection coefficient in 50 Ω coaxial line at 500 MHz, 3 GHz and 7 GHz.
(Pilot laboratory: PTB; participants: VSL, NRC, NIST, CSIRO, ETL, OMH, CSMU, SNIIM, NPL).
The standards are in the last laboratory for measurement.
- 75-B3 Reflection coefficient in 75 Ω coaxial line at 1 GHz.
(Pilot laboratory: NRC; participants: PTB, LCIE, NPL, VSL, OMH, CSMU, TTL).
The travelling standards are now at the OMH.

* Where possible, in this section, the order of participating laboratories corresponds to the order of shipment of the travelling standards.

- 78-5 Horn gain and transverse polarization ratio between 8 and 12 GHz.
(Pilot laboratory: NIST; participants: NPL, TUD, FTZ, CNET, CSIRO, VSL, the IEN, the NRC and the ETL withdrew).
The travelling standards are back at the NIST for the last measurements.
The final report is expected in 1993.
- 83-4 Measurements of scattering coefficients (S parameters) by broad-band methods over the band 2 - 18 GHz.
(Pilot laboratory: NPL; participants: VSL, NIST, FFV, IEN, PTB, LCIE, CSIRO, SPTT).
The travelling standards are now at the FFV.
- 86-1 Power flux density at 2,45 and 10 GHz.
Electric field strength between 300 and 1 000 MHz.
(Pilot laboratory: NIST; participants: ETL, PTB*, CSIRO*, IEN*, NPL, VSL, NRC*, LCIE).
The participants would like to know about the programme and state of progress of the comparison.
- 86-3 Complex reflection coefficient in waveguide R 320 at 27, 35 and 40 GHz.
(Pilot laboratory: NPL; participants: LCIE, NIST, CSIRO, PTB, NIM).
The travelling standards will be sent to CSIRO soon.
- 86-6 Power in waveguide R 220 at 20 GHz: effective efficiency of bolometer mounts.
(Pilot laboratory: LCIE; participants: NRC, NIST, PTB, NPL, VNIIFTRI, NPLI).
The travelling standards are now at the VNIIFTRI.

TABLE IV

New comparisons

- 92-1 Horn antenna gain in IEC R 320 waveguide over the band 26,4 - 40 GHz.
(Pilot laboratory: NPL; participants: CSIRO*, ETL*, NIST, VSL*).
- 92-2 Noise power in 50 Ω coaxial line (type N connector) at 30 MHz and 4 GHz.
(Pilot laboratory: NIST; participants: CSIRO*, ETL*, LCIE, NPL, NRC*, PTB*).
- 92-3 Measurement of scattering coefficients (S parameters) by broad-band method over the band 2 - 18 GHz (type N connectors).
(Pilot laboratory: NPL; participants: CSIRO, ETL*, IEN, LCIE, NIST, NRC*, PTB, SPTT, VSL).
- 92-4 Power in waveguide R 320: effective efficiency of bolometer mounts at 33 GHz.
(Pilot laboratory: LCIE; participants: CSIRO*, ETL*, IEN, NIST*, NPL, NRC, VSL*, PTB).

* To be confirmed.

- 92-5 Measurement of dielectric properties of liquids at frequencies up to 10 GHz.
(Pilot laboratory : NPL ; participants : CSIRO, ETL*, IEN*, LCIE*, NIST*, NRC*, VSL*.)
A draft programme and a questionnaire are to be sent by the pilot laboratory.
The participation of non-standards laboratories is welcome.
- 92-6 Voltage (1 V) in 50 Ω coaxial lines at frequencies between 1 and 300 MHz.
(Pilot laboratory : VSL ; participants : CSIRO*, ETL*, IEN*, LCIE, NIST*, NPL, NRC, PTB).
- 92-7 Antenna factor at frequencies between 5 kHz and 30 MHz.
(Pilot laboratory : NPL ; participants : CSIRO, IEN*, LCIE*, NIST*, PTB*, VSL).
- 92-8 Antenna factor at frequencies between 30 and 1 000 MHz.
(Pilot laboratory : NPL ; participants : ETL*, IEN*, LCIE*, NIST, PTB*).

TABLE V

Possible future topics for comparisons

- S1 Noise power in waveguide for frequencies above 12 GHz.
A possible pilot laboratory is the NIST.
- S2 Impedance in the band 0,1 to 1 000 MHz. This subject continues to interest several members of the Working Group but no concrete proposals were made.
- S3 Measurement of scattering coefficients (*S* parameters) by broad-band methods at frequencies over 18 GHz with type K connectors.
A possible pilot laboratory is the LCIE. The comparison could be organized within EUROMET.
- S4 Power in waveguide at 45 GHz.
A possible pilot laboratory is the NIST.
- S5 Measurements of loss angles in low loss materials at millimetre wave frequencies.
- S6 Capacitance of 100 pF and 1 000 pF at 1 MHz and 10 MHz.
A possible pilot laboratory is the NIST. Interested laboratories : LCIE, NPL, PTB.
- S7 Power in coaxial line 50 Ω (K connector) at 30 GHz.
- S8 Power, attenuation, reflection coefficient in 75 Ω coaxial line at frequencies below 1 GHz.
The VSL will send a questionnaire to interested laboratories in order to define a precise comparison programme.
Interested laboratories : CSIRO*, ETL*, IEN*, LCIE, NIST*, NPL, NRC*, PTB.
- S9 Attenuation in waveguide at 94 GHz.
A possible pilot laboratory is the NPL.

* To be confirmed.

APPENDIX E 1

Working documents submitted to the CCE at its 19th Meeting
(*see* the list of documents on page E 24)

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

19^e session (1992)

19th Meeting (1992)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le présent volume	v
List of acronyms used in the present volume	v
Le BIPM et la Convention du Mètre	ix
Liste des membres	xi
Ordre du jour	xiv
Rapport au Comité international des poids et mesures, par B. M. Wood	E 1
1. Constantes fondamentales	2
1.1. Résistance de Hall quantifiée	2
1.2. Contrôle de l'évolution du prototype international du kilogramme au moyen de mesures électriques	4
2. Questions liées aux nouvelles représentations du volt et de l'ohm	7
2.1. Difficultés soulevées par les Recommandations 1 et 2 (CI-1988)	7
2.2. Conseils techniques pour la réalisation de la résistance de Hall quantifiée.	7
2.3. Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson et d'échantillons de résistance de Hall quantifiée	7
Réseaux de jonctions de Josephson	7
Échantillons de résistance de Hall quantifiée	8
3. Comparaisons internationales	8
3.1. Comparaison de résistance faite au BIPM en 1990	8
3.2. Comparaisons internationales de réseaux de jonctions de Josephson	9
3.3. Comparaison internationale d'étalons de transfert courant alterna- tif/courant continu	9
3.4. Comparaison internationale d'inductance	9

3.5. Comparaisons futures	10
Proposition d'une comparaison [92-1] de condensateurs de 10 pF	10
Proposition d'une comparaison [92-2] de puissance et d'énergie en courant alternatif à 50-60 Hz	10
Proposition d'une comparaison [92-3] de dispositifs de transfert multi-jonction courant alternatif/courant continu	10
Proposition d'une comparaison [92-4] de convertisseurs thermiques de tension à jonction unique	11
Proposition d'une comparaison [92-5] de convertisseurs thermiques de tension à jonction unique	11
3.6. Amélioration des étalons voyageurs pour les grandeurs électriques	11
4. Phénomènes récemment mis en évidence : effet tunnel monoélectronique (SET), supraconductivité à haute température critique	12
5. Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences	12
6. Travaux actuels et futurs de la section d'électricité du BIPM	13
Comparaison de rapports de résistances	13
Contrôle de la stabilité du kilogramme	13
7. Coopération et collaboration entre le CCE et les groupes régionaux de métrologie	13
8. Activités futures du CCE	14
9. Questions diverses	14
Recommandation présentée au Comité international des poids et mesures	15
Recommandation E 1 (1992) : Traçabilité des résultats de comparaisons régionales d'étalons de mesure par l'intermédiaire du BIPM	15
Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences	16
1. Comparaisons internationales achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail	16
2. Comparaisons presque achevées	16
3. État d'avancement des autres comparaisons en cours	16
4. Nouvelles comparaisons	17
5. Travaux futurs	17
6. Questions diverses	17
7. Date de la prochaine réunion	18
Annexe	24
E 1. Documents de travail présentés à la 19 ^e session du CCE	24
English text of the Report	
Note on the use of the English text. Note sur l'utilisation du texte anglais	31
The BIPM and the Convention du Mètre	33
List of members	35
Agenda	36
Report to the Comité International des Poids et Mesures, by B. M. Wood	39
1. Fundamental constants	40
1.1. The quantum Hall resistance	40
1.2. Monitoring the kilogram via electrical measurements	42

2. Matters related to the new representations of the volt and the ohm	44
2.1. Difficulties arising from Recommendations 1 and 2 (CI-1988)	44
2.2. Quantum Hall resistance technical guidelines	44
2.3. Availability of Josephson arrays and quantum Hall resistance samples.	45
Josephson arrays	45
Quantum Hall resistance samples	45
3. International comparisons	45
3.1. The 1990 resistance comparison at the BIPM	45
3.2. International comparisons of Josephson arrays	46
3.3. International comparison of ac/dc transfer standards	46
3.4. International comparison of inductance	46
3.5. Future comparisons	47
Proposed CCE comparison 92-1 of 10 pF capacitors	47
Proposed CCE comparison 92-2 of ac-power and energy at 50-60 Hz	47
Proposed CCE comparison 92-3 of multijunction ac/dc transfer devices.	47
Proposed CCE comparison 92-4 of single junction thermal voltage	
converters	48
Proposed CCE comparison 92-5 of single junction thermal voltage	
converters	48
3.6. Advances in travelling standards for electrical quantities	48
4. New phenomena, single electron tunnelling (SET), high- T_c superconductivity.	49
5. Report on the CCE Working Group on Radiofrequency Quantities	49
6. Present and planned activities of the electricity section of the BIPM	50
Resistance ratio comparison	50
Monitoring the stability of the kilogram	50
7. Cooperation and collaboration between the CCE and regional metrology	
groups	50
8. Future activities of the CCE	51
9. Miscellaneous questions	51
Recommendation submitted to the Comité International des Poids et Mesures.	52
Recommendation E 1 (1992): Traceability, via the BIPM, of the results of	
regional comparisons of measurement standards	52
Report of the Working Group on Radiofrequency Quantities	53
1. International comparisons completed since the last meeting of the Working	
Group	53
2. Comparisons almost completed	53
3. Progress on continuing comparisons	53
4. New comparisons	54
5. Future work	54
6. Other business	54
7. Date of the next meeting	55
Appendix	60
E 1. Working documents submitted to the CCE at its 19th Meeting	60

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal : Imprimeur, 1993, n° 8194
ISBN 92-822-2128-8
ISSN 0069-6455

ACHEVÉ D'IMPRIMER : JUIN 1993

Imprimé en France