BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Rapport de la 20e session
Report of the 20th Meeting

1995

Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

SESSION DE 1995

MEETING OF 1995

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Rapport de la 20e session
Report of the 20th Meeting

1995

Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex, France

ISSN 0069-6455

ISBN 92-822-2142-3

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

ARCS	Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
*ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Allemagne), *voir* PTB
*BCMN/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, IMMR-CCE, Geel (Belgique), voir IMMR/IRMM
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau national de métrologie, Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
CCE	Comité consultatif d'électricité
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
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
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSELT	Centro Studi Elettronica e Telecommunicazioni, Turin (Italie)
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, Madrid (Espagne)

* 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.

CSIR/AEROTEK	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory [CSIR], 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 (Tchécoslovaquie), *voir* SMU
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), *voir* MSL
EAL	European Accreditation of Laboratories
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt (Allemagne)
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences/ Working group on radiofrequency quantities
IEC	*voir* 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	*voir* VNIIM
IMMR/IRMM	(ex BCMN/CBNM) Institut des matériaux et mesures de référence/Institute for Reference Materials and Measurements, Geel (Belgique)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France), *voir* BNM
IRMM	*voir* IMMR
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
JQA	Japan Quality Assurance Organization (Japon)
KEC	Kansai Electronic Industry Development Center (Japon)
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), *voir* KRISS
LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), *voir* BNM
LEP	Laboratoires d'électronique Philips, Limeil-Brévannes (France)
MSL	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NAMAS	National Measurement Accreditation Service (Royaume-Uni)

*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), *voir* 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)
NMi	(ex VSL) Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)
*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), *voir* CSIRO
NORAMET	North and Central American Metrology Cooperation
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), *voir* CSIR
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
SESC	Service Electrical Standards Centre, Bromley (Royaume-Uni)
SMU	(ex CSMU) Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SNIIM	Institut de recherche scientifique sibérien en métrologie, Moscou (Féd. de Russie)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SPTT	Direction générale des PTT de Suisse, Centre technique recherches et développement/Swiss PTT General Directorate, Research and Development Technical Centre, Berne (Suisse)
TF	Telecom Finland, Helsinki (Finlande)
TUD	Technical University of Denmark, Lyngby (Danemark)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), *voir* NMi

2. Sigles des termes scientifiques
Acronyms for scientific terms

MOSFET	Transistor à effet de champ métal-oxyde-semiconducteur/Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor
QHE	Effet Hall quantique/Quantum Hall Effect
QHR	*voir* RHQ
RHQ/QHR	Résistance de Hall quantifiée/Quantum Hall resistance
SET	Effet tunnel monoélectrique/Single electron tunnelling
SI	Système international d'unités/International System of Units

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 m^2) 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), aux échelles de temps (1988) et à la quantité de matière (1993). 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 1995, quarante-huit 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), Singapour, Slovaque (Rép.), Suède, Suisse, Tchèque (Rép.), Thaïlande, Turquie, Uruguay, Venezuela.

Une quarantaine de physiciens ou de 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 neuf :

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.
9. Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé en 1993.

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.*

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 par décision du Comité international, de même que le *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publiés de 1966 à 1988).

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	*Président*
J. KOVALEVSKY	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

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE [BNM], Paris.
CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA [NRC], Ottawa.
CSIR-AEROTEK, NATIONAL METROLOGY LABORATORY [CSIR], 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.
ISTITUTO ELETTROTECNICO GALILEO FERRARIS [IEN], Turin.
KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE [KRISS], Taejon.
NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY OF INDIA [NPLI], New Delhi.

NEDERLANDS MEETINSTITUUT – VAN SWINDEN LABORATORIUM [NMi-VSL], Delft.

OFFICE FÉDÉRAL DE MÉTROLOGIE [OFMET], Wabern.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

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

ORDRE DU JOUR
de la 20e session

1. Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur.
2. Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI :
   - 2.1 Rapport du Groupe de travail sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype du kilogramme,
   - 2.2 Rapport sur l'état d'avancement de l'ajustement de 1995 des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés,
   - 2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI ; amélioration de notre connaissance de K_J et de R_K ; possibilités d'utiliser en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique.
3. Mesures exactes de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz.
4. Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson et d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée :
   - 4.1 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson,
   - 4.2 Fourniture d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée.
5. Comparaisons internationales :
   - 5.1 Comparaisons sur place d'étalons fondamentaux de référence fondés sur un réseau de jonctions de Josephson ou sur un dispositif à résistance de Hall quantifiée transportables,
   - 5.2 Étalons voyageurs traditionnels pour les grandeurs en électricité,
   - 5.3 Rapports sur les comparaisons internationales (en courant continu ou en courant alternatif à basses fréquences) organisées par le CCE :
     - 5.3.1 Comparaison d'inductance à 10 mH (laboratoire pilote : PTB),
     - 5.3.2 Comparaison 92-1 de condensateurs de 10 pF (laboratoire pilote : NIST),
     - 5.3.3 Comparaison 92-2 de puissance et d'énergie en courant alternatif, entre 50 Hz et 60 Hz (laboratoire pilote : NIST),
     - 5.3.4 Comparaison 92-3 de dispositifs de transfert courant alternatif/courant continu à soudures multiples (laboratoire pilote : PTB),
     - 5.3.5 Comparaison 92-4 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 50 kHz et 100 kHz (laboratoire pilote : BNM-LCIE),

5.3.6 Comparaison 92-5 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 1 MHz et 50 MHz (laboratoire pilote : NMi-VSL),

5.4 Propositions de nouvelles comparaisons pour assurer la compatibilité entre étalons électriques nationaux.

6. Rapport de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.

7. Activités de la section d'électricité du BIPM :

7.1 Comparaisons d'étalons à effet Josephson et à effet Hall quantique à l'aide des dispositifs transportables,

7.2 Programme du BIPM pour les comparaisons bilatérales d'étalons électriques à l'aide d'étalons voyageurs conventionnels,

7.3 Étalonnages :

7.3.1 Améliorations des étalonnages de tension et de résistance,

7.3.2 Possibilité de faire des étalonnages de condensateurs,

7.3.3 Proposition de faire passer de 20 °C à 23 °C la température de référence pour les étalonnages de piles et de résistances au BIPM.

8. Futures activités du CCE.

9. Questions diverses.

RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

(20e session — 1995)

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par B. M. WOOD, rapporteur

Le Comité consultatif d'électricité (CCE) a tenu sa vingtième session le 14 et le 15 juin 1995 au Bureau international des poids et mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents :

D. KIND, président du CCE.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau national de métrologie – Laboratoire central des industries électriques [BNM-LCIE], Fontenay-aux-Roses (L. ÉRARD, G. GENEVÈS).

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

CSIR-AEROTEK, National Metrology Laboratory [CSIR], Pretoria (R. E. DRESSLER).

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

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

Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Saint-Pétersbourg (Yu. V. TARBÉEV, E. T. FRANTSUZ).

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

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

Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejon (R. D. LEE).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (R. E. HEBNER, B. N. TAYLOR, E. R. WILLIAMS).

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

Nederlands Meetinstituut – Van Swinden Laboratorium [NMi-VSL], Delft (R. KAARLS, J. P. M. DE VREEDE).

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

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

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM] (T. J. QUINN).

Invités :

Industrial Research Ltd., Measurement Standards Laboratory [MSL], Lower Hutt (K. JONES).

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut [SP], Borås (H. NILSSON).

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM) ; F. DELAHAYE, J. MONPROFIT, D. REYMANN, T. J. WITT, J. BOHÁČEK (BIPM).

Absents :

National Physical Laboratory of India [NPLI], New Delhi.

1. Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur

Le président du CCE et le directeur du BIPM accueillent les participants. M. Wood est nommé rapporteur. Au total, 57 documents sont présentés pour être étudiés par le CCE. Une liste de ces documents figure à l'Annexe E 1 (page E 29). L'ordre du jour est examiné et il est décidé d'étudier tout particulièrement le document CCE/95-41, relatif à l'équivalence des étalons nationaux, au point 5.4. L'ordre du jour est approuvé.

2. Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI

2.1 Rapport du Groupe de travail sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype du kilogramme

Le président demande aux participants de rendre compte des travaux en cours portant sur les constantes fondamentales et les unités du SI dans leurs laboratoires respectifs.

M. Kibble présente l'état d'avancement du travail du groupe chargé d'étudier les méthodes qui font appel à des mesures électriques pour contrôler la stabilité d'un étalon du kilogramme (CCE/95-26). Il poursuit en donnant des détails sur les recherches faites au NPL sur la balance du watt (CCE/95-29). La résolution et la répétabilité de la mesure du rapport de la tension induite à la vitesse de la bobine sont voisines de 1×10^{-8}. Bien que la résolution de la mesure du rapport entre le courant et la force soit aussi de 1×10^{-8}, la répétabilité de ce rapport n'est que d'environ 1×10^{-7}. On attribue cela à un hystérésis de l'arête des couteaux de la balance qui ont été ultérieurement améliorés. M. Kibble signale qu'au NPL les piles à mercure étalons de tension font place au dispositif à réseau de jonctions de Josephson ; il indique aussi que lui-même ainsi qu'un collègue, M. Robinson, consacrent plus de la moitié de leur temps au projet de la balance du watt du NPL. M. Kibble fait remarquer que les recherches liées à la détermination de la constante d'Avogadro peuvent servir à contrôler un étalon du kilogramme, mais seulement à titre de confirmation ; une extrapolation optimiste des résultats actuels suggère que l'on pourrait atteindre une reproductibilité d'environ 5×10^{-8}. Pour terminer, il signale que dans plusieurs laboratoires des recherches sont faites sur la pesée dans le vide de masses en silicium.

M. Frantsuz expose l'état d'avancement de mesures de lévitation magnétique s'appuyant sur la supraconductivité (CCE/95-12). Il souligne l'existence de certains facteurs qui limitent l'exactitude, en particulier l'adsorption de gaz dans l'objet en lévitation, l'effet Meissner incomplet dans cet objet, la nécessité d'avoir un seul degré de liberté dans le mouvement de l'objet et le rattachement aux étalons à effet Josephson et à effet Hall quantique. Il présente plusieurs suggestions pour réaliser une prochaine version améliorée de l'appareil. Il signale une idée qui consisterait à utiliser ce même appareil pour déterminer g de façon exacte *in situ* en mesurant le mouvement d'oscillation d'un objet en lévitation. Il conclut en disant que le domaine des mesures de $h/2e$ à l'aide de méthodes de lévitation est prometteur ; il fait remarquer que l'aide et la coopération au niveau international pour ce projet seraient très appréciées et bien accueillies. Plusieurs participants sont d'accord pour dire qu'un accroissement de la coopération internationale serait nécessaire dans ces recherches.

2.2 Rapport sur l'état d'avancement de l'ajustement de 1995 des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés

M. Taylor parle du prochain ajustement par la méthode des moindres carrés des valeurs des constantes fondamentales, dans le cadre de CODATA. L'échéance de 1995 a été reportée pour éviter de fonder le nouvel ajustement sur un nombre trop faible de nouveaux résultats. La date limite

pour accepter de nouveaux résultats serait maintenant le 1er juillet 1996 ; elle coïnciderait ainsi avec la CPEM'96 qui doit se tenir à Braunschweig. Le prochain ajustement serait publié vers la fin de 1996 ou au début de 1997.

2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI ; amélioration de notre connaissance de K_J et de R_K ; possibilités d'utiliser en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique

M. Taylor décrit la situation actuelle de la valeur de K_J et de R_K par rapport au SI (CCE/95-38). Depuis l'analyse faite par le CCE en 1988, les nouveaux résultats concernant K_J comprennent ceux de la balance du volt obtenus à la PTB, les déterminations de la constante d'Avogadro effectuées par la PTB et l'IMMR et par l'IMGC et l'IMMR, ainsi que des mesures de γ'_p(hi) et de γ'_p(lo) au NIM. En ce qui concerne R_K les nouveaux résultats comportent un nouveau calcul de la constante de structure fine utilisant la même valeur du moment magnétique anormal de l'électron qu'en 1988, un nouveau résultat pour α^{-1} provenant des mesures de h/m_n faites à la PTB, deux nouvelles mesures de condensateurs calculables à l'aide de la résistance de Hall quantifiée faites par le CSIRO et le NIM et un affinage du calcul de α^{-1} à partir de résultats expérimentaux antérieurs sur la structure hyperfine du muonium. M. Taylor conclut en disant que tant pour $K_{J\text{-}90}$ que pour $R_{K\text{-}90}$, les valeurs et les incertitudes attribuées demeurent raisonnables.

M. Williams signale que le NIST va prochainement effectuer de nouvelles mesures de la résistance de Hall quantifiée à l'aide de son condensateur calculable et pense que les résultats seront obtenus à temps pour le nouvel ajustement des constantes. Il mentionne également que la détermination du watt faite au NIST a progressé grâce à l'utilisation d'une technique d'inductance, mise au point dans ce laboratoire dans l'expérience sur γ'_p(lo), permettant de résoudre des problèmes d'alignement. Il pense qu'un résultat de la détermination du watt par le NIST sera obtenu d'ici à la CPEM'96.

M. Érard ajoute que le BNM-LCIE espère aussi achever une détermination de R_K avant la CPEM'96.

La question de l'effet tunnel monoélectronique (SET) est introduite et un certain nombre des laboratoires représentés au CCE, entre autres le BNM-LCIE, l'ETL, le NIST, le NPL, le NRC, la PTB, le SP, le VNIIM et le NMi-VSL, mentionnent qu'ils poursuivent des recherches dans ce domaine. M. Genevès parle de la deuxième réunion tenue au BNM-LCIE le 8 et le 9 mars 1994, dans le cadre d'EUROMET, sur les dispositifs

SET et les étalons quantiques de courant (CCE/95-9). Il mentionne le grand intérêt porté par les laboratoires de métrologie à ces travaux et indique qu'une troisième réunion doit avoir lieu le 21 juin 1996, à la PTB, immédiatement après la CPEM'96.

M. Bachmair parle des progrès faits par la PTB dans la fabrication des dispositifs SET. M. Kibble fait remarquer que les dispositifs comprenant sept pompes mis au point au NIST à Boulder peuvent produire des courants exacts mais qu'il subsiste des problèmes pour mesurer les faibles courants. M. Williams parle des recherches récentes en métrologie qui font appel à un électromètre SET pour mesurer la capacité de condensateurs de 0,5 pF à vide et à faibles pertes, récemment mis au point. Selon une première estimation, l'incertitude-type serait d'environ 5×10^{-7}.

3. Mesures exactes de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz

M. Delahaye présente les résultats de mesures de la résistance de Hall quantifiée, faites au BIPM, en courant alternatif à 1600 Hz pour $i = 2$ et $i = 4$ sur deux échantillons différents (CCE/95-1 bis). Il fait part d'un certain nombre de difficultés rencontrées, en particulier la structure du plateau de Hall qui dépend de l'échantillon, les minima de R_{xx} qui ne sont pas nuls et les vibrations des conducteurs dans le champ magnétique faisant apparaître une inductance d'environ 100 μH. On a observé une légère dépendance de la résistance de Hall par rapport au courant ; $R_H(2)$ augmente de façon linéaire de 2×10^{-8} pour un accroissement de 10 μA de l'intensité du courant et $R_H(4)$ augmente de $0{,}5 \times 10^{-8}$ pour un accroissement de 10 μA de l'intensité du courant. Malgré ces problèmes, il a observé l'égalité à $(8 \pm 2) \times 10^{-8}$ près des résistances de Hall en courant alternatif $R_H(2)$ et $2R_H(4)$ à 1600 Hz et une différence inférieure à 2×10^{-7} entre courant continu et courant alternatif pour la valeur de la résistance de Hall quantifiée rapportée à celle d'une résistance de référence de type Vishay, spéciale pour le courant alternatif.

M. Kibble attire l'attention sur les résultats du NPL. Ce laboratoire a mesuré la dépendance, en fonction de la fréquence, du rapport de la résistance de Hall quantifiée à une résistance spéciale pour courant alternatif ou continu. Si l'on tient compte des calculs de M. Boháček pour la résistance de référence, on observe une dépendance linéaire de la résistance de Hall quantifiée en fonction de la fréquence et on trouve que la valeur obtenue par extrapolation à 0 Hz est égale à la valeur de la résistance de Hall quantifiée déterminée en courant continu. Cela laisse à penser que la résistance de Hall quantifiée pourrait être supérieure aux meilleures résistances traditionnelles en ce qui concerne l'effet de la fréquence, bien que l'on ait aussi observé les résonances et la structure des plateaux.

M. Kibble pense qu'il sera nécessaire de rédiger des conseils techniques pour obtenir des mesures fiables de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif, mais il est probablement prématuré d'en commencer la rédaction dès maintenant.

M. Braun parle des mesures de la résistance de Hall quantifiée que fait la PTB en utilisant un pont de quadrature cryogénique d'une conception nouvelle en courant alternatif. Bien que le pont fonctionne correctement, il subsiste encore un problème avec les échantillons et du fait de la structure du plateau. Il signale par ailleurs que M. Melcher de la PTB va travailler pendant deux ans au BIPM sur ce type de mesures.

M. Genevès mentionne que des mesures faites au BNM-LCIE font apparaître que ρ_{xx} ne dépend pas de la fréquence et que les résultats obtenus en courant alternatif sont similaires à ceux obtenus en courant continu.

M. Wood fait remarquer que les premières mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif ont été faites au NRC sur deux échantillons à des fréquences allant de 700 Hz à 4000 Hz, à $i = 2$ et $i = 4$ et pour plusieurs valeurs d'intensité de courant. Les résultats préliminaires font apparaître des plateaux courbes et des minima de R_{xx} non nuls, mais les valeurs des résistances en courant alternatif et en courant continu concordent à environ 2×10^{-7} près.

M. Boháček décrit la conception et la construction de ses résistances de type Gibbings et leur utilisation pour ces mesures en courant alternatif. M. Marullo Reedtz signale que des mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif ont aussi commencé à l'IEN et que des résultats préliminaires viennent d'être obtenus.

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

4.1 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson

M. Hebner mentionne que le NIST a maintenant transféré sa technologie concernant les réseaux de jonctions de Josephson à une société américaine, Hypres, et qu'il ne fournit plus de réseaux de un volt ni de dix volts. Hypres fabrique des réseaux en niobium. Le prix d'un réseau de un volt est de 7 500 $ et celui d'un réseau de dix volts est de 20 000 $.

M. Bachmair indique que la PTB fabrique des réseaux de un volt en niobium et qu'un certain nombre peuvent être prêtés dans le cadre d'accords de coopération. Il est prévu que la production de réseaux de

dix volts commence en 1995. Il mentionne aussi qu'il est envisagé de transférer cette technologie à une société privée d'ici trois ans.

M. Endo explique que l'ETL fabrique des réseaux de un volt et de dix volts en niobium. Bien que l'ETL ne soit pas en mesure de vendre des réseaux, quelques réseaux de un volt peuvent être prêtés dans le cadre d'accords de coopération. Ce n'est que récemment que des réseaux de dix volts ont été fabriqués et aucun ne peut encore être mis à la disposition d'autres laboratoires. M. Endo mentionne aussi qu'une assistance commerciale est recherchée auprès de sociétés japonaises.

M. Lee indique que le KRISS fabrique maintenant des réseaux de un volt en niobium mais qu'à partir du mois de juillet 1995 l'équipement de pulvérisation sera consacré pendant une période d'un an à fabriquer des convertisseurs thermiques à soudures multiples. Après quoi le KRISS sera peut-être en mesure de fabriquer et de commercialiser des réseaux. M. Kibble signale que la société Oxford Instruments poursuit ses recherches sur la mise au point de réseaux de jonctions de Josephson.

4.2 Fourniture d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée

M. Genevès expose certains détails d'une nouvelle fabrication d'échantillons de résistance de Hall quantifiée (CCE/95-56). Le LEP fabriquera 500 échantillons selon les mêmes techniques de fabrication que celles qui ont été suivies pour les échantillons non protégés produits précédemment dans le cadre de la coopération entre le BIPM et l'EUROMET. Il y aura deux formats d'échantillons : 2,2 mm × 0,4 mm et 2,2 mm × 0,8 mm. Les laboratoires intéressés sont priés de prendre contact avec le BNM-LCIE qui achètera les échantillons au LEP.

M. Braun présente des résultats obtenus sur une nouvelle série d'échantillons de résistance de Hall quantifiée fabriqués à la PTB (CCE/95-54). Pour ces échantillons le plateau $i = 2$ apparaît à 11,5 T, la résistance de Hall est bien quantifiée à 1,7 K et $\rho_{xx} < 1\ \mu\Omega$ à 35 μA. La PTB envisage de mettre ces échantillons à la disposition d'autres laboratoires sur demande. Les laboratoires qui les accepteront devront communiquer les mesures de leurs caractéristiques à la PTB.

M. Braun offre alors à M. Quinn un échantillon à titre de don de la PTB au BIPM. M. Quinn remercie M. Braun et la PTB pour ce présent généreux.

M. Witt rappelle aux laboratoires qu'il est important de communiquer les caractéristiques des échantillons de résistance de Hall quantifiée au fournisseur car cela est un moyen évident de rassembler des données statistiques exactes sur les échantillons et de contribuer ainsi à en perfectionner les méthodes de fabrication.

À ce propos, M. Kibble indique que le NPL a réalisé un support d'échantillon sur une carte de circuit imprimé pour des mesures de résistance de Hall quantifiée à quatre bornes en courant alternatif, et qu'il sera possible de mettre ce circuit à la disposition d'autres laboratoires.

M. Witt rappelle aux participants que l'ETL organise un achat groupé de piles au mercure (CCE/95-39) à utiliser dans les sources stables de courant ou de tension. Une lettre a été adressée à tous les membres du CCE précisant que les commandes doivent être passées avant la fin du mois de juin 1995.

M. Williams rend compte de l'expérience du NIST avec deux types de piles au mercure, provenant de la société Panasonic, qui ont un coefficient de température élevé ou faible selon la composition chimique. Il y a quelque incertitude sur le type exact de pile qu'il s'agit d'acheter dans la proposition de commande groupée de l'ETL. M. Reymann indique qu'il a obtenu des dérives de 3×10^{-7} par heure avec les piles de Panasonic. Il indique aussi la présence d'un problème éventuel dû aux contacts à pression des bornes positives de ces piles dont on a quelquefois observé qu'ils donnent un contact médiocre et une résistance instable. M. Endo dit qu'il informera la société Panasonic de ce problème de contact. M. Kibble mentionne que, d'après son expérience, les taux de dérive et les coefficients de température des piles au mercure dépendent de la température à laquelle elles sont utilisées et que cela peut affecter l'interprétation de ces résultats.

Avant de passer au point suivant, M. Taylor rappelle au CCE qu'il a été rendu compte plusieurs fois de désaccords entre résistances de Hall quantifiées, en particulier lorsqu'on utilisait des MOSFET au silicium provenant de la société Sony. Il est alors demandé à M. Feller de présenter le document CCE/95-30 sur ce sujet. Celui-ci expose en détail les résultats d'une étude très poussée et complète portant sur des MOSFET, provenant de la société Sony ou de l'Université de Southampton (par l'intermédiaire de l'Université de Nottingham), et sur des échantillons de GaAs. L'étude résulte d'une collaboration entre l'OFMET et le NRC ; elle a comporté la mesure de différents échantillons et différents plateaux avec diverses intensités de courant et diverses directions de champ. Il a été trouvé, pour les échantillons provenant de la société Sony, mais pas pour ceux provenant de Nottingham, que V_{xx} varie quelquefois en fonction de la tension de polarisation et que, en certains points le long du plateau, pour lesquels V_{xx} n'est pas nul sur un côté de l'échantillon, on observe une tension de Hall anormale. Lorsque V_{xx} est vraiment nul sur les deux côtés de l'échantillon, on observe des tensions de Hall normales. L'étude conclut que les désaccords sur R_H dont il est rendu compte pour les MOSFET provenant de la société Sony sont dus à des effets réels qui varient selon l'échantillon mais qui ne surviennent pas quand V_{xx} est nul sur les deux côtés de l'échantillon. On n'a pas observé de valeurs anormales de R_H lorsqu'on respecte bien les *Technical Guidelines for*

Reliable Measurements of the Quantized Hall Resistance. L'étude conclut à la pertinence des conseils tels qu'ils sont donnés dans les *Guidelines*.

5. Comparaisons internationales

5.1 Comparaisons sur place d'étalons fondamentaux de référence fondés sur un réseau de jonctions de Josephson ou sur un dispositif à résistance de Hall quantifiée transportables

M. Witt présente les grandes lignes du programme de comparaisons internationales. Jusqu'ici, quinze comparaisons ont été effectuées avec douze laboratoires différents en utilisant le dispositif transportable du BIPM à un réseau de jonctions de Josephson. Le dispositif transportable du BIPM à résistance de Hall quantifiée a été utilisé pour des comparaisons avec deux laboratoires, le BNM-LCIE et l'OFMET.

M. Reymann présente la « boucle asiatique » des comparaisons des réseaux de jonctions de Josephson (CCE/95-40). La comparaison avec le KRISS s'est déroulée en janvier 1995 avec des résultats présentant un bon accord. La comparaison avec le MSL a eu lieu en mars 1995, là aussi avec un bon accord, toutefois, certains problèmes d'interférence ont été rencontrés, en particulier lors des comparaisons indirectes. Ensuite il y a eu la comparaison avec le CSIRO. Au cours de cette comparaison on a identifié l'origine de l'interférence : l'alimentation de l'ordinateur du BIPM. La comparaison a donc été achevée sans utiliser cet ordinateur. Les résultats définitifs de toutes les comparaisons fondées sur l'étalon à effet Josephson du BIPM diffèrent de moins de 2×10^{-9}.

Pour M. Kibble, ces comparaisons constituent un excellent moyen de disséminer les techniques de mesure et de métrologie.

M. Delahaye présente les résultats des comparaisons du système transportable à effet Hall quantique avec le BNM-LCIE et l'OFMET. Les résultats de la comparaison avec le BNM-LCIE ont été présentés à la CPEM'94 et ont été publiés. La comparaison avec l'OFMET (CCE/95-4) s'est terminée à l'automne de 1994. Toutes deux ont donné des résultats en excellent accord. Les résultats des mesures d'une résistance de 100 Ω par rapport à l'étalon à effet Hall quantique de chaque laboratoire diffèrent de moins de 2×10^{-9} ; les résultats de mesures du rapport de résistances de 10 kΩ à 100 Ω diffèrent de moins de 3×10^{-9} et les résultats de mesures du rapport de résistances de 100 Ω à 1 Ω diffèrent de moins de 4×10^{-9}.

En réponse à une question de M. Tarbéev, on précise qu'il n'est pas particulièrement nécessaire de normaliser le câblage des sondes pour ces systèmes de comparaison. Les sorties de tous les étalons à effet Josephson sont adaptées pour mesurer un étalon secondaire. Lors d'une comparaison

de réseaux de jonctions de Josephson, la sortie du second réseau de jonctions remplace l'étalon secondaire. Les comparaisons de résistances de Hall quantifiées sont effectuées en utilisant le cryostat et l'aimant voyageurs du BIPM ; elles comportent la mesure d'une résistance à quatre bornes avec chaque système à résistance de Hall quantifiée. Le degré de compatibilité demandé avec la sonde cryogénique à effet Josephson du BIPM est modeste. Celle-ci est généralement utilisée dans un vase de stockage d'hélium. Le diamètre du goulot doit être supérieur à 38 mm et le niveau d'hélium liquide doit être compris entre 60 cm et 130 cm en-dessous de l'orifice.

M. Witt expose les nouveaux critères (CCE/95-2) auxquels le BIPM se réfère pour déterminer si de futures comparaisons spécifiques justifient l'emploi du système transportable à réseau de jonctions de Josephson ou du système transportable à résistance de Hall quantifiée. Dans les deux cas, le laboratoire hôte doit être capable d'atteindre des incertitudes de mesure inférieures à 1×10^{-8}, en excluant l'incertitude associée à l'étalon secondaire de tension. M. Witt poursuit en ajoutant que, compte tenu du coût en temps et en argent, le personnel du BIPM ne peut envisager de faire qu'une ou deux comparaisons de résistance de Hall quantifiée et d'effet Josephson par an dans le proche avenir.

5.2 Étalons voyageurs traditionnels pour les grandeurs en électricité

M. Witt précise que le BIPM a une large expérience de l'utilisation d'étalons de tension à diode de Zener et attire l'attention sur l'influence des interférences électromagnétiques et de l'humidité sur certains de ces étalons. En ce qui concerne les étalons de résistance, il rappelle que M. B. Pritchard au CSIRO a observé des phénomènes d'hystérésis avec des résistances de 1 Ω de Leeds & Northrup ayant subi des cycles de température. Suite à un accroissement modéré de la température, la valeur d'une résistance a changé de $1{,}5 \times 10^{-7}$. Cette observation confirme le rapport fait par la PTB (CCE/92-59) lors de la session de 1992 du CCE.

M. Small rend compte des résultats d'une comparaison faite entre le BIPM, l'Université Gakushuin et le CSIRO sur trois résistances de 1 Ω appartenant au CSIRO (CCE/95-47). La dispersion des résultats pour ces trois résistances est inférieure à 1×10^{-8}.

M. Kibble signale que le NPL et le NAMAS ont acquis une certaine expérience dans l'utilisation des condensateurs de marque Andeen Hagerling utilisés comme étalons voyageurs. Ces condensateurs de 10 pF et de 100 pF ont fait preuve d'une bonne stabilité même lorsqu'ils ont été acheminés sans stabilisation de température.

M. Tarbéev souligne les avantages et les inconvénients des résistances en feuille métallique fabriquées en Russie et employées comme étalons voyageurs de résistance.

M. Reymann parle de quelques problèmes auxquels on se heurte pour obtenir l'autorisation d'embarquer des étalons thermorégulés et sous tension à bord des avions. On y arrive souvent pour les voyages en Europe, mais cela est plus difficile pour les voyages outre-mer. M. Bachmair signale que, en accompagnant l'équipement et en informant à l'avance les compagnies aériennes, la PTB est parvenue à obtenir la coopération de celles-ci, mais cela n'est pas toujours possible. Le président demande aux participants de rendre compte de tout progrès fait pour résoudre ce problème et de porter celui-ci à l'ordre du jour de la prochaine session du CCE.

5.3 Rapports sur les comparaisons internationales (en courant continu ou en courant alternatif à basses fréquences) organisées par le CCE

5.3.1 Comparaison d'inductance à 10 mH (laboratoire pilote : PTB)

M. Bachmair présente la comparaison d'étalons de 10 mH (CCE/95-36) pour laquelle onze laboratoires ont achevé leurs mesures. L'accord se fait à environ 1×10^{-5} près et la longue durée sur laquelle s'étend cette comparaison ne semble pas avoir compromis la qualité des résultats. L'accord obtenu semble meilleur qu'il ne devrait être, compte tenu de l'incertitude annoncée par la plupart des laboratoires.

5.3.2 Comparaison 92-1 de condensateurs de 10 pF (laboratoire pilote : NIST)

M. Hebner présente l'état de la comparaison d'étalons de 10 pF : elle n'a pas encore commencé mais les étalons de transfert ont été choisis ; il espère que cette comparaison sera achevée avant la CPEM qui se réunira en 1998.

5.3.3 Comparaison 92-2 de puissance et d'énergie en courant alternatif, entre 50 Hz et 60 Hz (laboratoire pilote : NIST)

Bien que la comparaison de puissance et d'énergie en courant alternatif, entre 50 Hz et 60 Hz, n'ait pas encore commencé, dit M. Hebner, des

recherches sont faites pour trouver des étalons de transfert appropriés. M. Bachmair propose un étalon de 5 A, à 50 Hz, que la PTB peut fournir pour la partie de cette comparaison qui concerne EUROMET.

5.3.4 Comparaison 92-3 de dispositifs de transfert courant alternatif/courant continu à soudures multiples (laboratoire pilote : PTB)

M. Bachmair rend compte de la partie de la comparaison de dispositifs de transfert courant alternatif/courant continu à soudures multiples qui concerne EUROMET (CCE/95-35) et qui est achevée. Les résultats sont dans l'ensemble en bon accord (mieux que 1×10^{-6} à 1 kHz) et la comparaison se poursuit avec d'autres laboratoires. On fait remarquer que cette comparaison permet aussi de vérifier la cohérence des étalons de résistance en courant alternatif. M. Reymann estime que les laboratoires semblent avoir surestimé leurs incertitudes, si l'on en juge par l'excellente façon dont les résultats concordent. M. Wood félicite le laboratoire pilote (la PTB) pour le bon déroulement de cette comparaison mais exprime son inquiétude de voir publier les résultats de la partie qui concerne EUROMET avant que la comparaison ne soit achevée dans les autres pays. Il est noté qu'en l'occurrence seuls les écarts par rapport à la moyenne sont publiés et que les résultats de mesure ne sont pas divulgués.

5.3.5 Comparaison 92-4 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 50 kHz et 100 kHz (laboratoire pilote : BNM-LCIE)

M. Érard présente le rapport sur l'état d'avancement de la comparaison de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 50 kHz et 100 kHz (CCE/95-8). Elle se déroule normalement et un certain nombre de laboratoires ont achevé leurs mesures.

5.3.6 Comparaison 92-5 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 1 MHz et 50 MHz (laboratoire pilote : NMi-VSL)

M. de Vreede indique que la comparaison de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 1 MHz et 50 MHz est en cours (CCE/95-23). Il fait remarquer qu'elle reste encore ouverte à tout nouveau laboratoire qui souhaiterait y prendre part.

5.4 Propositions de nouvelles comparaisons pour assurer la compatibilité entre étalons électriques nationaux

M. Tarbéev propose trois éventuelles comparaisons. Il indique qu'une comparaison de puissance et d'énergie a été faite entre le VNIIM et des laboratoires situés en Australie, en Bulgarie, en Finlande et ailleurs ; il estime qu'il serait utile de l'étendre à d'autres pays au sein du CCE. M. de Vreede mentionne que cette activité est incluse dans la comparaison 92-2 du CCE et qu'il n'est pas nécessaire d'organiser une nouvelle comparaison séparée. Par la suite, il a été suggéré d'examiner la possibilité de relier les deux comparaisons.

M. Tarbéev recommande une comparaison de tension entre 30 MHz et 1000 MHz ; toutefois M. de Vreede lui rappelle que la comparaison 92-6 du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences couvre déjà ce domaine, qu'elle n'est pas encore terminée et que par conséquent d'autres laboratoires peuvent encore y participer. Enfin, M. Tarbéev pense qu'il est nécessaire qu'un groupe de travail organise des comparaisons en courant continu à des tensions élevées. M. Bachmair indique qu'une comparaison à 10 kV est en cours d'organisation au sein de l'EAL et qu'il est nécessaire de disposer de meilleurs diviseurs à résistance comme étalons voyageurs.

Soulignant que le BIPM n'est pas en mesure d'assurer des étalonnages pour toutes les grandeurs en électricité, M. Kibble donne des indications sur les comparaisons organisées par les différents groupes régionaux de métrologie et il fait remarquer que certains pays ne font partie d'aucun de ces groupes, ce qui est le cas, entre autres, de la plupart des pays africains. M. Dressler indique que, bien que l'Afrique du Sud ne soit membre d'aucun groupe régional de métrologie, ce pays a effectué des comparaisons bilatérales avec le BNM-LCIE, le NPL, la PTB et le SP et se trouve ainsi reliée à EUROMET.

Le CCE aborde ensuite l'examen de la question soulevée par M. Quinn dans le document CCE/95-41, à savoir démontrer l'équivalence des étalons nationaux de mesure. En faisant référence au document CCE/95-57 (document présenté à la réunion du comité de l'EUROMET des 18 et 19 mai 1995), M. Quinn expose la nécessité croissante qu'il y a de démontrer de façon réaliste l'équivalence des étalons nationaux au moyen d'un petit nombre de comparaisons-clés choisies pour faire la preuve de la compétence des laboratoires dans les principales techniques de chaque domaine considéré. Cette nécessité résulte en partie des problèmes posés par la certification et l'accréditation des activités d'étalonnage dans le monde entier, mais touche aussi à la cohérence des représentations pratiques des unités du SI. Il ajoute que les comparaisons-clés devront être refaites de temps à autre et que, afin d'éviter des répétitions inutiles qui ne seraient que du gaspillage, elles devraient être effectuées sur une base multilatérale. Comme ce sont les gens qui travaillent effectivement dans un domaine qui

sont les plus qualifiés pour identifier les comparaisons-clés et déterminer leur périodicité, il demande au CCE de se pencher sur cette question pour le domaine de l'électricité. Il fait aussi remarquer qu'il est nécessaire d'apporter la preuve de l'équivalence entre laboratoires et il demande au CCE d'essayer de donner des directives susceptibles d'aider les différents laboratoires nationaux à reconnaître, preuves à l'appui, l'équivalence des étalons et des activités d'étalonnage. M. Quinn suggère aussi que *Metrologia* pourra publier périodiquement des résumés des résultats des comparaisons-clés, comme cela a déjà été fait pour les comparaisons du BIPM. Il termine en précisant que l'objectif du CIPM, et par conséquent du BIPM, est de fournir la base scientifique sur laquelle l'équivalence peut être établie.

Une longue discussion, à laquelle presque tout le monde prend part, suit cette présentation. Les sujets de cette discussion sont très divers et concernent : l'envergure de ces comparaisons-clés et la fréquence de leur répétition ; les différences entre les systèmes d'accréditation dans les différents pays ; la question de savoir si l'équivalence d'étalons correspondant à des multiples ou sous-multiples d'unités doit faire l'objet de comparaisons directes ou d'échanges de documentation ; le rôle des groupes régionaux de métrologie (tels que EUROMET, NORAMET...) ; parlant de l'« équivalence » des étalons, cela signifie-t-il que nous acceptons qu'il y ait des différences entre les étalons des laboratoires ? ; la reconnaissance des différences dans les niveaux d'incertitude dans le tableau des équivalences ; reconnaît-on les étalons, les métrologistes, les systèmes de mesure ou l'ensemble complet du processus d'étalonnage ? ; la nécessité de documents comme preuves de l'équivalence. Pour cerner ces questions, un groupe de travail *ad hoc* est créé et chargé de préparer une proposition plus concise qui sera étudiée par le CCE et qui constituera une réponse à la lettre de M. Quinn (CCE/95-41). Le groupe de travail *ad hoc* comprend MM. Bachmair, Érard, Hebner (président), Kaarls, Witt et Wood. Il s'est réuni le 14 juin après la séance et a présenté son compte rendu au CCE à l'ouverture de la séance du 15 juin. Il s'est mis d'accord sur une courte liste de comparaisons-clés, leur attribuant trois niveaux de priorité et a constaté que la plupart de ces comparaisons avaient été déjà effectuées au moins une fois. Il recense trois domaines pour lesquels il convient de proposer de nouvelles comparaisons. Ce sont : les résistances en courant continu égales ou supérieures à $10^9 \Omega$, les rapports de tension en courant continu jusqu'à 1000/1 et les diviseurs de tension inductifs.

M. Quinn remercie le groupe de travail *ad hoc*, en disant que c'est tout à fait le type de réponse qu'il avait à l'esprit lorsqu'il a rédigé le document CCE/95-41. Le président estime qu'il convient de créer un groupe de travail officiel chargé des questions relatives aux comparaisons internationales. Les membres de ce groupe sont : le BIPM, le BNM-LCIE, le CSIRO-NML, l'IEN, le NIST, le NMi-VSL, le NRC, la PTB et le VNIIM. Il demande à M. Hebner de présider ce groupe de travail jusqu'à

la prochaine session du CCE. Il est demandé au groupe de travail de se réunir immédiatement après la présente session du CCE pour étudier les propositions de nouvelles comparaisons qui viennent d'être identifiées et, si possible, de les mettre en œuvre.

Les participants à cette session de 1995 du CCE estiment que les résultats de l'ensemble des comparaisons internationales, récentes, en cours et envisagées, organisées par le CCE, constituent déjà une base convenable pour une reconnaissance mutuelle des compétences métrologiques en électricité, pour les mesures en courant continu, à basses fréquences et à hautes fréquences. Après avoir envisagé cet ensemble comme étant bien des « comparaisons-clés », ils ont attribué un ordre de priorité à chacune, le chiffre 1 correspondant à la priorité la plus grande. L'ordre de priorité est donné entre accolades dans la liste qui suit :

Comparaisons-clés, en courant continu et à basses fréquences :

Tension

- Comparaisons de dispositifs à jonctions de Josephson (au moyen du dispositif transportable du BIPM) {1}
- Rapports de tensions en courant continu à 1 V/1 000 V (ou 10 V/1 000 V), *nouvelle comparaison* {2}
- Rapports de tensions en courant alternatif - diviseurs de tension inductifs, pour des tensions inférieures à 100 V, à 400 Hz, *nouvelle comparaison* {2}

Impédance

- Résistance de Hall quantifiée (au moyen de la comparaison de résistances de 1990 ou du dispositif transportable du BIPM) {1}
- Résistances élevées en courant continu, supérieures à 1 GΩ, *nouvelle comparaison* {2}
- Condensateurs de 10 pF, à 1592 Hz {2}
- Inductances de 10 mH, à 1000 Hz {2}
- Résistances en courant alternatif à l'aide de l'effet Hall quantique{4}

Puissance

- Puissances entre 50 Hz et 60 Hz, 120 V et 240 V, 5 A et 50 A {3}

Transfert du courant alternatif au courant continu

- Transfert courant alternatif/continu entre 1 V et 10 V, à des fréquences situées entre 100 Hz et 1 MHz {1}
- Transfert courant alternatif/continu à 100 V, à des fréquences situées entre 1 kHz et 1 MHz {3}

Comparaisons-clés, radiofréquences :

Le rapport de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF), qui s'est tenue le 12 et le 13 juin 1995, figure à la fin du rapport du CCE (*voir* page E 20). Le GT-RF a nommé un sous-groupe afin d'identifier les comparaisons-clés dans son domaine. Les futurs sujets éventuels de comparaisons-clés ont déjà été identifiés : ce sont la nouvelle comparaison mentionnée au Tableau IV de ce rapport et celles mentionnées dans la liste du Tableau V.

Les représentants des laboratoires membres du Groupe de travail sur les comparaisons internationales se sont réunis à la fin de la session du CCE. L'ordre du jour de la réunion de ce groupe de travail comportait les cinq points suivants :

1. Publication d'un résumé des résultats des précédentes comparaisons ;
2. Discussion de la liste des comparaisons ;
3. Discussion de la fréquence de répétition des comparaisons-clés ;
4. Directives pour la conduite des comparaisons dans le cadre du CCE ;
5. Choix des laboratoires pilotes pour les trois nouvelles comparaisons proposées.

6. Rapport de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

M. Érard, président du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, présente le rapport de la réunion de ce groupe qui s'est tenue au BIPM le 12 et le 13 juin 1995. Le texte en est donné à la fin du présent rapport.

7. Activités de la section d'électricité du BIPM

7.1 Comparaisons d'étalons à effet Josephson et à effet Hall quantique à l'aide des dispositifs transportables

M. Witt rend compte des travaux de la section d'électricité du BIPM (CCE/95-1 à 6), en attirant tout particulièrement l'attention sur les comparaisons internationales de réseaux de jonctions de Josephson et de résistances de Hall quantifiées. Ces questions ont déjà été traitées aux points 5.1 et 5.2.

7.2 Programme du BIPM pour les comparaisons bilatérales d'étalons électriques à l'aide d'étalons voyageurs conventionnels

M. Witt expose le déroulement des comparaisons bilatérales (CCE/95-3) tel qu'il est mis en oeuvre au BIPM. Dans ce processus un laboratoire national de métrologie communique sa meilleure estimation de la valeur et de l'incertitude d'un étalon voyageur de résistance ou de tension, à la fois avant et après étalonnage au BIPM. Il est demandé aussi au laboratoire concerné d'indiquer si les résultats de la comparaison seront pris en compte pour modifier la valeur de son étalon national de référence et de quelle manière cela sera fait. Avec l'accord du laboratoire, les résultats sont publiés dans *Metrologia* et dans les *Procès-verbaux du CIPM*. Comme le souligne M. Witt, cette façon de faire assure et officialise la traçabilité entre le laboratoire et le BIPM. À ce jour, sept comparaisons bilatérales ont été effectuées et trois autres sont actuellement en cours. La première série de résultats a été publiée dans *Metrologia*, 1994, **31**, 63-68.

Il s'ensuit une discussion sur la signification et l'utilisation du mot « traçabilité ». M. Hebner tient en particulier à signaler qu'aux É.-U. d'Amérique un étalonnage provenant du NIST assure encore le client de la traçabilité. Il ressort de façon évidente de la discussion que dans les différents pays le mot « traçabilité » est utilisé avec des connotations différentes.

7.3 Étalonnages

7.3.1 Améliorations des étalonnages de tension et de résistance

M. Witt fait remarquer les améliorations apportées au BIPM au comparateur de piles étalons automatisé (CCE/95-1). Il mentionne aussi les recherches faites sur l'influence de l'humidité sur les étalons de tension à diode de Zener et sur le bruit propre à ces mêmes étalons que l'on utilise pour évaluer la qualité d'autres étalons.

7.3.2 Possibilité de faire des étalonnages de condensateurs

M. Witt indique que les travaux se poursuivent pour créer un service d'étalonnage de condensateurs, en particulier à 10 pF. L'étalon de référence du BIPM à 10 pF sera dérivé à partir de la résistance de Hall quantifiée au moyen de mesures à 1541 Hz. Ce projet nécessite la mise au point d'un pont de quadrature pour relier des résistances multiples de la résistance

de Hall quantifiée à des condensateurs de 2 nF et d'un pont de capacité allant de 2 nF à 10 pF.

7.3.3 Proposition de faire passer de 20 °C à 23 °C la température de référence pour les étalonnages de piles et de résistances au BIPM

M. Witt présente deux documents venant à l'appui d'une proposition tendant à faire passer de 20 °C à 23 °C la température de référence à laquelle sont faits au BIPM les étalonnages des piles et des résistances. Le premier document (CCE/95-6) donne les résultats d'une enquête sur ce qui est fait dans les laboratoires nationaux. Ensuite M. Witt souligne les résultats concernant les coefficients de température (CCE/95-5) des résistances de 1 Ω et de 10 kΩ mesurées au BIPM. Cette modification qui porterait à 23 °C la température ambiante et la température du bain d'huile maintenues jusqu'ici à 20 °C présenterait des avantages pratiques. Pour certains types de résistances le passage à 23 °C peut réduire le coefficient de température et éventuellement améliorer les résultats de mesure. M. Marullo Reedtz présente un rapport (CCE/95-7) montrant une modification de la dérive d'un groupe de neuf résistances de 1 Ω du type Thomas à la suite d'un changement de la température (de 20 °C à 23 °C) du bain d'huile dans lequel elles sont conservées. Les laboratoires qui envisagent de modifier la température à laquelle ils conservent leurs étalons de résistance sont mis en garde et doivent prévoir un effet de ce genre.

La plupart des laboratoires indiquent qu'ils ne pensent pas être perturbés par le changement proposé par le BIPM. Les participants sont d'accord pour que le BIPM opère ce changement des températures de référence s'il en est ainsi décidé.

Le BIPM prendra prochainement des dispositions pour modifier la température de référence à laquelle il effectue les étalonnages de routine et les comparaisons d'étalons de résistance et passer à 23 °C. Les résistances en cours d'étude seront conservées dans l'air ou dans l'huile à une température nominale de 23 °C. Après avoir encore considéré les conséquences pratiques d'un tel changement, le BIPM a décidé de garder 20 °C comme température de référence (et de conservation effective) pour les piles étalons nues, afin de ne pas avoir à reconstruire plusieurs enceintes thermorégulées pour les piles étalons. La mise en oeuvre de la nouvelle température de référence pour les résistances nécessitera quelques modifications de l'équipement utilisé pour maintenir les températures des étalons voyageurs. Le BIPM fera connaître plus tard la date à laquelle le changement interviendra.

8. Futures activités du CCE

Il est convenu que le Groupe de travail sur les comparaisons internationales doit continuer à superviser l'état des comparaisons internationales dont le but est la reconnaissance de l'équivalence des étalons et des systèmes d'étalonnage nationaux.

M. Quinn demande que tous les participants qui travaillent dans le domaine de l'électricité dans le cadre des groupes régionaux de métrologie tiennent le BIPM et les autres groupes régionaux de métrologie au courant des activités dans ce domaine et en particulier de tout ce qui concerne les comparaisons.

Il est indiqué que NORAMET essaiera de publier une page donnant des informations sur les activités de NORAMET dans le cadre du réseau mondial.

Il est proposé que la prochaine session du CCE ait lieu en 1997, mais aucune date n'a été fixée.

9. Questions diverses

Pour clôre la session, le président remercie les participants ainsi que le personnel du BIPM pour leur participation à la session. Il poursuit en souhaitant à chacun bonne chance dans la poursuite de ses travaux.

Juillet 1995
Modifié, septembre 1995

Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

Le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF) s'est réuni au Bureau international des poids et mesures, Sèvres (France), les 12 et 13 juin 1995.

Étaient présents : MM. L. Érard, président, R. Cook (NPL), R. Hebner (NIST), R. M. Judish (NIST), M. W. Sinclair (NPL), U. Stumper (PTB), J. P. M. de Vreede (NMi-VSL), B. M. Wood (NRC), H. Yajima (ETL).

Le directeur du BIPM, M. T. J. Quinn.

Assistait à la réunion : M. T. J. Witt (BIPM).

Excusés : MM. L. Brunetti (IEN) et Xi Dexiong (NIM).

Invités : MM. E. Dressler (NML) et R. D. Lee (KRISS).

Absents : les représentants du CSIRO, de l'OMH et du VNIIM.

Le président accueille les membres du groupe de travail. Il lit une lettre de l'ancien président du GT-RF, M. A. E. Bailey, qui présente ses meilleurs voeux de succès ainsi que ses excuses de ne pouvoir assister à la réunion.

Le directeur du BIPM accueille les participants et leur souhaite une réunion fructueuse.

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 1992)

Huit comparaisons ont été achevées et leurs résultats ont été discutés durant la réunion : le tableau I en donne le détail.

2. Comparaisons presque achevées

Le tableau II donne l'état d'avancement de cinq comparaisons qui sont terminées, mais dont le rapport final n'est pas encore rédigé. Les représentants des laboratoires pilotes confirment que les rapports finaux parviendront au président et au BIPM avant la fin de 1995.

3. État d'avancement des autres comparaisons en cours

Le tableau III présente un résumé de l'état d'avancement des comparaisons décidées en 1986 et 1992 qui sont encore en cours. Celles-ci doivent se terminer avant la fin de l'année 1997, afin que les résultats soient présentés à CPEM'98.

4. Nouvelles comparaisons et travaux futurs

Le directeur du BIPM a commenté la lettre (CCE/95-41) adressée à tous les participants du CCE sur l'équivalence entre les étalons nationaux des instituts nationaux de métrologie. Il demande aux participants d'établir une liste de comparaisons-clés multilatérales permettant d'assurer cette équivalence, avec leur périodicité.

Après discusion et compte-tenu des comparaisons récemment terminées et en cours, le groupe de travail propose plusieurs comparaisons avec des niveaux de priorité différents :

- Les participants décident d'entreprendre une nouvelle comparaison-clé, les détails de celle-ci figurent au tableau IV.
- Les détails des éventuelles comparaisons futures figurent au tableau V.

Un sous groupe, composé de R. Cook, L. Érard, R. M. Judish, U. Stumper et J. P. M. de Vreede, est chargé d'élaborer la liste des comparaisons du GT-RF terminées depuis vingt ans. La liste servira à déterminer quelles sont les comparaisons-clés, définies dans le document CCE/95-41, et la périodicité des comparaisons futures.

5. Harmonisation des comparaisons du GT-RF avec celles de groupes régionaux

M. Érard rappelle que les laboratoires pilotes de comparaisons du GT-RF devraient, entre autres, servir de relais dans les groupes régionaux de laboratoires nationaux de métrologie afin d'éviter la duplication des comparaisons. M. Wood fera le lien avec NORAMET.

M. Érard informe le groupe de travail de deux comparaisons EUROMET en cours : puissance sur ligne coaxiale 50 Ω (connecteur de type N) entre 10 MHz et 18 GHz et bruit sur guide d'ondes entre 12,4 GHz et 18 GHz.

6. Questions diverses

M. Érard rappelle aux participants qu'il envoie chaque année un questionnaire sur l'avancement de chaque comparaison à chacun des laboratoires pilotes. Il souhaite que les laboratoires pilotes répondent à ce questionnaire.

M. Érard rappelle aussi que les calculs d'incertitude doivent être effectués en suivant les recommandations du document ISO *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*.

M. Witt mentionne la possibilité du publier le résumé des résultats des comparaisons du GT-RF dans *Metrologia*.

7. Date de la prochaine réunion

Le groupe propose que la prochaine réunion se tienne en 1998 à Gaithersburg, juste avant ou après la CPEM'98, ou en 1997 juste avant la prochaine réunion du CCE, mais aucune date n'est fixée.

juin 1995

Le rapporteur	Le président
T. J. Witt	L. Érard

TABLEAU I

Comparaisons achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail
(juin 1992)

75-A4 Facteur de réflexion à 500 MHz, 3 GHz et 7 GHz sur ligne coaxiale 50 Ω.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : CSIRO, ETL, NIM, NIST, NPL, NRC, OMH, SMU, SNIIM).
Le rapport final est présenté à la réunion. Les résultats ont été présentés à la CPEM'94 à Boulder. Le rapport final a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 985-990.

75-A6 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω, 100 V à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : NIST, NPLI).
Le rapport final a été présenté à la réunion. Les résultats ont été présentés à la CPEM'94 à Boulder. Le rapport final a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 312-315.

75-A7 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω, 1 mV à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : ex ASMW, NIM, NIST, NPLI, OMH, TF).
Le rapport final a été présenté à la réunion. Les résultats ont été présentés à la CPEM'94 à Boulder. Le rapport final a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 312-315.

75-A11 Puissance sur ligne coaxiale à 12 GHz, 14 GHz et 17 GHz : efficacité de montures bolométriques équipées de connecteurs de précision 7 mm (APC- 7).
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : BNM-LCIE, CSIRO, IEN, NIST, NMi-VSL, NRC, OMH).
Le rapport final a été présenté à la réunion. Il a été publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1994, **43**, 3-6.

75-B3 Facteur de réflexion à 1 GHz sur ligne coaxiale 75 Ω.
(Laboratoire pilote : NRC ; participants : BNM-LCIE, NMi-VSL, NPL, OMH, PTB, SMU, TF).
Le rapport final a été présenté à la réunion. Les résultats ont été présentés à la CPEM'94 à Boulder. Le rapport final devrait être publié dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.* en février 1996.

86-4 Puissance laser à 1,3 μm et 1,55 μm.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CSELT, CSIC, CSIRO, ETL, BNM-INM, NMi-VSL, NPL, NPRL, NRC, OMH, PTB, SP).
Les résultats ont été présentés à la CPEM'92. Le rapport final a été publié dans *Appl. Opt.*, 1992, **31**, 7226-7231.

86-6 Puissance à 20 GHz sur guide d'ondes R 220 : efficacité de montures bolométriques.
(Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : NIST, NPL, NRC, PTB).
Le rapport final a été présenté à la réunion, et l'on s'efforcera de publier les résultats, éventuellement sous une forme résumée dans *Metrologia*.

86-8 Affaiblissement (< 25 dB) sur guide d'ondes R 320 à 27 GHz, 35 GHz et 40 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, NRC, PTB).
Le rapport final a été présenté à la réunion. Le résumé sera publié dans *Metrologia* et le rapport complet dans une revue appropriée.

TABLEAU II

Comparaisons en cours d'achèvement

78-5 Gain d'un cornet et taux de polarisation transversale entre 8 GHz et 12 GHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CNET, CSIRO, FTZ, NMi-VSL, NPL, TUD ; l'ETL, l'IEN et le NRC se sont retirés).
Le rapport final devrait être disponible avant fin octobre 1995.

78-13 Puissance de bruit sur guide d'ondes R 100.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO, NIM, NIST, PTB).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Le rapport final sera disponible en octobre 1995.

83-4 Mesure des coefficients de dispersion (*S* parameters) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 GHz – 18 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO, NIST, NMi-VSL, PTB, SPTT, TF).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Le rapport final est en préparation et sera disponible avant la fin de 1995.

86-2 Facteur de surtension jusqu'à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : BNM-LCIE, Marconi Instrum., PTB, SESC).
Le rapport final sera disponible en octobre 1995.

86-3 Facteur de réflexion (en module et phase) sur guide d'ondes R 320 à trois fréquences : 27 GHz, 35 GHz et 40 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : BNM-LCIE, CSIRO, NIM, NIST, PTB).
Tous les laboratoires ont achevé leurs mesures.
Le rapport final sera disponible en octobre 1995.

TABLEAU III

Comparaisons en cours

a. Comparaison abandonnée

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 la comparaison suivante :

92-5 Mesure des propriétés diélectriques de liquides à des fréquences allant jusqu'à 10 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL).

b. Comparaisons maintenues*

86-1 Puissance surfacique à 2,45 GHz et 10 GHz.
Champ électrique entre 300 MHz et 1000 MHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CRL, KRISS, JQA, KEC, ETL, PTB, IEN, NMi-VSL, NPL, BNM-LCIE, ARCS).
Les étalons voyageurs sont actuellement dans la boucle européenne. À cette occasion, il est rappelé qu'un seul laboratoire par pays peut participer à la comparaison. Ce peut être le laboratoire national ou un autre laboratoire, agissant comme tel pour cette comparaison.

92-1 Gain d'antennes cornet sur guide d'ondes IEC R 320 dans la bande de fréquence 26,4 GHz – 40 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : NMi-VSL, BNM-LCIE, KRISS, CSIRO**, NIST**).
La comparaison doit débuter avant la fin de 1995.

92-2 Puissance de bruit sur ligne coaxiale 50 Ω (connecteur type N) à 30 MHz et 4 GHz.
(Laboratoire pilote : NIST ; participants : CSIRO**, BNM-LCIE, NPL, NRC**, PTB, KRISS).
La comparaison doit débuter au troisième trimestre 1995 et les résultats devraient être disponibles pour la CPEM'98.

---

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

** La participation de ce laboratoire est à confirmer.

92-3 Mesure des coefficients de dispersion (*S* parameters) à l'aide de systèmes « large bande » dans la bande de fréquence 2 GHz – 18 GHz (connecteur type N).
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : CSIRO, IEN**, BNM-LCIE, NIST, NRC**, NML, PTB, SPTT, NMi-VSL, KRISS).
La comparaison débutera dès la fin de la comparaison 83-4.

92-4 Puissance sur guide d'ondes R 320 : efficacité des montures bolométriques à 33 GHz.
(Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : NIST, NRC, KRISS, CSIRO, PTB, NMi-VSL).
Les étalons voyageurs sont actuellement au KRISS.

92-6 Tension (1 V) sur ligne coaxiale 50 Ω à des fréquences comprises entre 1 MHz et 300 MHz.
Laboratoire pilote : NMi-VSL ; participants : CSIRO, IEN, BNM-LCIE, NIST, NPL, NRC, PTB, KRISS).
Le programme de la comparaison sera finalisé avant la fin de 1995 et celle-ci débutera en 1996.

92-7 Facteur d'antenne à des fréquences comprises entre 5 kHz et 30 MHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : NIST, NMi-VSL, IEN**, CSIRO**, KRISS, PTB).
La comparaison débutera prochainement.

92-8 Facteur d'antenne à des fréquences comprises entre 30 MHz et 1000 MHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : NIST, CSIRO, ETL, KRISS).

TABLEAU IV

Nouvelle comparaison

95-1 Puissance sur guide d'ondes R 500 : efficacité de montures bolométriques à 45 GHz et 62 GHz.
(Laboratoire pilote : BNM-LCIE ; participants : NIST**, NPL).

TABLEAU V

Sujets éventuels de comparaisons futures

Priorité 1

T1 Mesure des coefficients de dispersion (*S* parameters) dans la bande de fréquence 2 GHz – 18 GHz (connecteur 3,5 mm).

Priorité 2

T2 Impédance dans la bande de fréquence 1 MHz – 100 MHz.

T3 Bruit sur guide d'ondes aux fréquences supérieures à 18 GHz.

T4 Atténuation aux fréquences supérieures à 50 GHz.

T5 Puissance sur ligne coaxiale 50 Ω avec des montures bolométriques équipées de connecteurs de type N.

ANNEXE E 1

Documents de travail présentés à la 20e session du CCE

Ces documents de travail peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM.

Document CCE/	
95-1	BIPM. — Work of the Electricity Section of the BIPM for the period October 1991 - September 1994, Extract of the Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures, 12 p.
1 bis	Work of the Electricity Section of the BIPM for the period October 1994 - September 1995, Extract of the Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures, 6 p.
95-2	BIPM. — BIPM On-site Comparisons of Quantum Electrical Standards, 3 p.
95-3	BIPM. — The BIPM Program of Bilateral Comparisons of Electrical Standards Using Conventional Traveling Standards, by T. J. Witt, 4 p.
95-4	BIPM, OFMET (Suisse). — Comparison of Quantum Hall Effect Resistance Standards of the OFMET and the BIPM, by F. Delahaye, T. J. Witt, B. Jeckelmann and B. Jeanneret, 9 p.
95-5	BIPM. — Statistical Summary of the Temperature Characteristics of 1 Ω and 10 kΩ Resistors Measured at the BIPM, by T. J. Witt, 5 p.
95-6	BIPM. — Results of the Questionnaire on a Possible Change of Maintained and Reference Temperatures of BIPM Electrical Standards, by T. J. Witt, 5 p.
95-7	IEN (Italie). — Change in drift of the IEN primary group of standard resistors following the change of their working temperature, by G. Boella and G. Marullo Reedtz, 4 p.
95-8	BNM-LCIE (France). — CCE comparison 92-4 of transfer devices (EUROMET Project No 266), by A. Poletaeff, 3 p.

Document CCE/

95-9 BNM-LCIE (France). — EUROMET meeting on single electron tunneling devices and quantum current standards – Minutes for 2nd meeting 8-9 March 1994, 2 p.

95-10 BNM-LCIE (France). — Progress in the domain of the volt metrology at the BNM-LCIE, by G. Genevès and J.-P. Lo-Hive, 2 p.

95-11 BNM-LCIE (France). — Developments in the quantum Ohm metrology at BNM-LCIE, by F. Piquemal and G. Genevès, 31 p.

95-12 VNIIM (Féd. de Russie), BNM-LCIE (France), NRLM (Japon). — On the program of accurate electrical measurements with superconducting system of magnetic levitation intended to refine the values of the Planck constant and elementary charge, by E. T. Frantsuz, V. M. Khavinson, G. Genevès, F. Piquemal, F. Shiota and Y. Miki, 20 p.

95-13 NIM (Rép. pop. de Chine). — A Recent Determination for the SI Values of γ'_{p} and $2e/h$ at NIM, by Liu Ruimin, Liu Hengji, Jin Tiruo, Lu Zhirong, Du Xianhe, Xue Shouqing, Kong Jingwen, Yu Baijiang, Zhou Xianan, Liu Tiebin and Zhang Wei, 9 p.

95-14 EUROMET. — Progress Report CCE-comparison 92-3/ EUROMET Project, 1 p.

95-15 KRISS (Rép. de Corée). — General progress report in electrical measurements at KRISS, by Rae Duk Lee, 8 p.

95-16 KRISS (Rép. de Corée). — List of documents submitted to the CCE, 1 p.

95-17 KRISS (Rép. de Corée), VNIIM (Féd. de Russie). — Atom magnetic resonance based current source, by V. Ya Shifrin, C. G. Kim, B. C. Woo and P. G. Park, 4 p.

95-18 KRISS (Rép. de Corée), VNIIM (Féd. de Russie). — High uniform single current solenoid corrected by two turns, by C. G. Kim, V. Ya Shifrin, P. G. Park and B. C. Woo, 3 p.

95-19 KRISS (Rép. de Corée), VNIIM (Féd. de Russie). — Adjustable Capacitor for Absolute Measurement of Loss Angle, by Rae Duk Lee, Han Jun Kim and Y. P. Semenov, 7 p.

95-20 MSL (Nouvelle-Zélande). — Electrical Measurements at the Measurement Standards Laboratory of New Zealand, by K. Jones and L. A. Christian, 1 p.

95-21 MSL (Nouvelle-Zélande). — New Zealand's 1 V Josephson Array Voltage Standard, by L. A. Christian, 5 p.

Document CCE/

95-22 NMi-VSL (Pays-Bas). — General progress report of VSL during 1992-1995, by J. P. M. de Vreede, 2 p.

95-23 NMi-VSL (Pays-Bas). — Status report on CCE intercomparison 92-5, by C. van Mullem and J. P. M. de Vreede, 1 p.

95-24 ETL (Japon). — Report to the CCE (Comitte Consultatif Electrique) from Electrotechnical Laboratory (ETL) on the activities of DC/LF Electricity Standards in Japan – Activity during the period June 1993-April 1995, 5 p.

95-25 NRLM (Japon). — Abstract: Determination of the Avogadro constant by the XRCD method, Magnetic levitation, 2 p.

95-26 Report of the C.C.E. working group on electrical methods to monitor the stability of the kilogram, by B. P. Kibble, 2 p.

95-27 OFMET (Suisse). — List of Publications Submitted to the CCE by the OFMET, Wabern, Switzerland, 1 p.

95-28 NIM (Rép. pop. de Chine). – List of Publications Submitted to the CCE by the NIM, Beijing, China, 1 p.

95-29 NPL (Royaume-Uni). — The N.P.L. Kilogram-monitoring project, by I. A. Robinson and B. P. Kibble, 2 p.

95-30 NRC (Canada), OFMET (Suisse). — Reproducibility of the quantised Hall effect, and the CCE guidelines, by A. D. Inglis, B. Jeckelmann and B. Jeanneret, 6 p.

95-31 PTB (Allemagne). — List of Publications Submitted to the CCE by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany, 1 p.

95-32 PTB (Allemagne). — Development of a Hybrid Integrated Josephson Voltage Standard Operated at 10 GHz, by F. X. Hebrank, E. Vollmer, T. Funck, P. Gutmann and J. Niemeyer, 1 p.

95-33 PTB (Allemagne). — Determination of the Fine-Structure Constant by a Precise Measurement of h/m_n, by E. Krüger, W. Nistler and W. Weirauch, *Metrologia*, 1995, **32**, 117-128.

95-34 PTB (Allemagne). — Automated Characterization of Quantum Hall Effect Samples in Compliance with the Technical Guidelines, by B. Schumacher, 5 p.

95-35 PTB (Allemagne). — Intermediate report on the CCE Comparison 92-3 of multijunction ac-dc transfer devices (Euromet Project 274: ac-dc voltage transfer at lowest level of uncertainty), by M. Klonz, 12 p.

95-36 PTB (Allemagne). — International Comparison of 10 mH Inductance Standards, by H. Eckardt, 6 p.

Document CCE/

95-37 NPL (Royaume-Uni). — On the Mutual Recognition of Standards and Measurements between Countries, by B. P. Kibble, 1 p.

95-38 NIST (É.-U. d'Amérique). — Present Status of SI Values of K_J and R_K, by B. N. Taylor and P. J. Mohr, 8 p.

95-39 ETL (Japon). — Lettre de T. Endo du 6 juin 1995 sur "Mercury Battery Supply and Purchase from Panasonic", 2 p.

95-40 BIPM, KRISS (Rép. de Corée), MSL (Nouvelle-Zélande), NML (Australie). — Comparisons of the Josephson Voltage Standard of the BIPM with those of the KRISS, the MSL and the NML, by D. Reymann, K.-T. Kim, L. A. Christian, R. B. Frenkel and T. J. Witt, 7 p.

95-41 BIPM. – Lettre de T. J. Quinn du 22 mai 1995 sur "Equivalence between the primary measurement standards of national metrology institutes", 2 p.

95-42 EUROMET. — Final Summary Report of Comparison "Metrology of ^{192}Ir Brachytherapy Sources", 1 p.

95-43 IEN (Italie). — On the electrometric approach to the comparison of electrical and mechanical power or energy, by F. Cabiati, 3 p.

95-44 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Italie). — Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, *Health Physics*, 1994, **66**, 1, 100-106.

95-45 IEN (Italie). — List of Publications Submitted to the CCE by IEN, Torino, Italy, 2 p.

95-46 SP (Suède). — General progress report on electrical metrology at the Swedish National Testing and Research Institute, SP, by H. Nilsson, 5 p.

95-47 CSIRO (Australie). — The 1995 SI determination of R_K in terms of the NML calculable capacitor, by G. W. Small, B. W. Ricketts, P. C. Coogan, B. J. Pritchard and M. M. R. Sovierzoski, 3 p.

95-48 PTB (Allemagne). — Devices for manipulating single electrons, by J. Niemeyer, 8 p.

95-49 PTB (Allemagne). — Technology of the Fabrication and Experimental Investigation of Basic RSFQ Circuits, by R. Dolata, M. I. Khabipov, F.-Im. Buchholz, W. Kessel and J. Niemeyer, 8 p.

95-50 VNIIM (Féd. de Russie). — New link between the national standards of electrical resistance and capacitance at IMM, by A. Ploshinsky and Yu. Semyonov, 4 p.

Document
CCE/

95-51 VNIIM (Féd. de Russie). — List of Publications Submitted to the CCE by the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg (Russia), 1 p.

95-52 VNIIM (Féd. de Russie), KRISS (Rép. de Corée). — Some results of the development of a new system of interrelation between the standards of the farad and the ohm, by Yu. P. Semyonov, T. F. Frudko, A. V. Ploshinsky, B. Ya. Litvinov, I. Ya. Klebanov, M. D. Klionsky, O. A. Shvedov, Rae Duk Lee and Han Jun Kim, 19 p.

95-53 Pennsylvania State University (É.-U. d'Amérique), Petersburg Nuclear Physics Institute, VNIIM (Féd. de Russie). — Corrections of order $\alpha^2(Z\alpha)^5$ to hyperfine splitting and Lamb shift, by M. I. Eides and V. A. Shelyuto, 23 p.

95-54 PTB (Allemagne). — Fabrication of GaAs/AlGaAs heterostructures for quantum Hall effect samples at PTB, by K. Pierz, G. Hein and B. Schumacher, 4 p.

95-55 BNM-LCIE (France). — Proposal of key measurements for demonstrating equivalence of standards, by L. Érard, 1 p.

95-56 BNM-LCIE (France). — LEP QHE samples, 2 p.

95-57 EUROMET. — Guidance on Accreditation of National Metrology Institutes and Certification of their Quality Systems, 4 p.

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

20e session (1995)
20th Meeting (1995)

	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 du Comité consultatif d'électricité	XI
Ordre du jour	XIV
Rapport au Comité international des poids et mesures, par B.M. Wood	E 1
1. Ouverture de la session ; nomination d'un rapporteur	E 2
2. Questions en relation avec les constantes fondamentales et le SI	E 2
2.1 Rapport du Groupe de travail sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype du kilogramme	E 2
2.2 Rapport sur l'état d'avancement de l'ajustement de 1995 des constantes fondamentales par la méthode des moindres carrés	E 3
2.3 Progrès effectués dans la réalisation des unités électriques du SI ; amélioration de notre connaissance de K_J et de R_K ; possibilités d'utiliser en métrologie des dispositifs fondés sur l'effet tunnel monoélectronique	E 4
3. Mesures exactes de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz	E 5
4. Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson et d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée	E 6
4.1 Fourniture de réseaux de jonctions de Josephson	E 6
4.2 Fourniture d'échantillons pour résistance de Hall quantifiée	E 7
5. Comparaisons internationales	E 9
5.1 Comparaisons sur place d'étalons fondamentaux de référence fondés sur un réseau de jonctions de Josephson ou sur un dispositif à résistance de Hall quantifiée transportables	E 9

5.2 Étalons voyageurs traditionnels pour les grandeurs en électricité .... E 10

5.3 Rapports sur les comparaisons internationales (en courant continu ou en courant alternatif à basses fréquences) organisées par le CCE . E 11

5.3.1 Comparaison d'inductance à 10 mH (laboratoire pilote : PTB) . E 11

5.3.2 Comparaison 92-1 de condensateurs de 10 pF (laboratoire pilote : NIST) ..... E 11

5.3.3 Comparaison 92-2 de puissance et d'énergie en courant alternatif, entre 50 Hz et 60 Hz (laboratoire pilote : NIST) ..... E 11

5.3.4 Comparaison 92-3 de dispositifs de transfert courant alternatif/courant continu à soudures multiples (laboratoire pilote : PTB) ..... E 12

5.3.5 Comparaison 92-4 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 50 kHz et 100 kHz (laboratoire pilote : BNM-LCIE) ..... E 12

5.3.6 Comparaison 92-5 de convertisseurs thermiques de tension à soudure unique, entre 1 MHz et 50 MHz (laboratoire pilote : NMi-VSL) ..... E 12

5.4 Propositions de nouvelles comparaisons pour assurer la compatibilité entre étalons électriques nationaux ..... E 13

6. Rapport de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences ..... E 16

7. Activités de la section d'électricité du BIPM ..... E 16

7.1 Comparaisons d'étalons à effet Josephson et à effet Hall quantique à l'aide des dispositifs transportables ..... E 16

7.2 Programme du BIPM pour les comparaisons bilatérales d'étalons électriques à l'aide d'étalons voyageurs conventionnels ..... E 17

7.3 Étalonnages ..... E 17

7.3.1 Améliorations des étalonnages de tension et de résistance .... E 17

7.3.2 Possibilité de faire des étalonnages de condensateurs ..... E 17

7.3.3 Proposition de faire passer de 20 °C à 23 °C la température de référence pour les étalonnages de piles et de résistances au BIPM ..... E 18

8. Futures activités du CCE ..... E 19

9. Questions diverses ..... E 19

Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences .... E 20

1. Comparaisons internationales achevées depuis la dernière réunion du groupe de travail (juin 1992) ..... E 20

2. Comparaisons presque achevées ..... E 20

3. État d'avancement des autres comparaisons en cours ..... E 21

4. Nouvelles comparaisons et travaux futurs ..... E 21

5. Harmonisation des comparaisons du GT-RF avec celles de groupes régionaux ..... E 21

6. Questions diverses ..... E 22

7. Date de la prochaine réunion ..... E 22

Annexe

E 1. Documents de travail présentés à la 20e session du CCE ..... E 29

English text of the report

Note on the use of the English text. Note sur l'utilisation du texte anglais ..... E 35
The BIPM and the Convention du Mètre ..... E 37
Members of the Comité Consultatif d'Électricité ..... E 39
Agenda ..... E 42

Report to the Comité International des Poids et Mesures, by B.M. Wood ... E 45

1. Opening of the meeting; appointment of a rapporteur ..... E 46
2. Matters related to fundamental constants and the SI ..... E 46
   2.1 Report of the working group on electrical methods to monitor the stability of the kilogram ..... E 46
   2.2 Report on the status of the 1995 least squares adjustment of the fundamental constants ..... E 47
   2.3 Advances in the realizations of the SI electrical units; improved knowledge of K_J and R_K; prospects for the metrological use of single electron tunnelling devices ..... E 48
3. Accurate measurements of the quantized Hall resistance at frequencies in the kilohertz range ..... E 49
4. Availability of arrays of Josephson junctions and of quantum Hall effect samples ..... E 50
   4.1 Availability of arrays of Josephson junctions ..... E 50
   4.2 Availability of quantum Hall effect samples ..... E 50
5. International comparisons ..... E 52
   5.1 On-site comparisons of basic reference standards using travelling Josephson array voltage standards and quantum Hall resistance standards ..... E 52
   5.2 Conventional travelling standards for electrical quantities ..... E 53
   5.3 Reports on international comparisons (at DC or low frequency AC) organized by the CCE ..... E 54
      5.3.1 Comparison of inductance at 10 mH (pilot laboratory: PTB) . E 54
      5.3.2 Comparison 92-1 of 10 pF capacitors (pilot laboratory: NIST) .. E 54
      5.3.3 Comparison 92-2 of AC power and energy, between 50 Hz and 60 Hz (pilot laboratory: NIST) ..... E 54
      5.3.4 Comparison 92-3 of multi-junction AC/DC transfer devices (pilot laboratory: PTB) ..... E 54
      5.3.5 Comparison 92-4 of single junction thermal voltage converters, between 50 kHz and 100 kHz (pilot laboratory: BNM-LCIE) .. E 55
      5.3.6 Comparison 92-5 of single junction thermal voltage converters, between 1 MHz and 50 MHz (pilot laboratory: NMi-VSL) ... E 55

5.4 Proposals for new comparisons to assure compatibility among national electrical standards ..... E 55
6. Report on the meeting of the working group on radiofrequency quantities .. E 58
7. Activities of the Electricity section of the BIPM ..... E 59
7.1 Comparisons of Josephson and quantum Hall standards via transportable instruments ..... E 59
7.2 The BIPM programme of bilateral comparisons of electrical standards using conventional travelling standards ..... E 59
7.3 Calibrations ..... E 59
7.3.1 Improvements in voltage and resistance calibrations ..... E 59
7.3.2 Prospects for providing capacitance calibrations ..... E 60
7.3.3 Proposal to change the reference temperature for standard cell and resistance calibrations at the BIPM from 20 °C to 23 °C ..... E 60
8. Future activities of the CCE ..... E 61
9. Other business ..... E 61

Report of the working group on radiofrequency quantities ..... E 62

1. International comparisons completed since the last meeting of the working group (June 1992) ..... E 62
2. Comparisons almost completed ..... E 62
3. Progress on continuing comparisons ..... E 63
4. New comparisons and future work ..... E 63
5. Coordination of GT-RF comparisons with those of other groups ..... E 63
6. Other business ..... E 64
7. Date of the next meeting ..... E 64

Appendix

E 1. Working documents submitted to the CCE at its 20th meeting (*see* page E 29) ..... E 71

IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS
PARIS 18e

Dépôt légal : Imprimeur, 1996, n° 4606
ISBN 92-822-2142-3
ISSN 0069-6455

ACHEVÉ D'IMPRIMER : MARS 1996

Imprimé en France