

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA MASSE
ET LES GRANDEURS APPARENTÉES

SESSION DE 1988

MEETING OF 1988

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE
ET LES GRANDEURS APPARENTÉES

Rapport de la 3^e session
Report of the 3rd Meeting

1988

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

ISBN 92-822-2102-4

Liste des sigles utilisés dans ce volume

ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. Dém. Allemande)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures, Sèvres (France)
BCR	Bureau communautaire de référence de la Communauté économique européenne
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
CCE	Comité consultatif d'électricité
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CEV	Centre d'essais en vol, Brétigny (France)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIPM	Comité international des poids et mesures
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
CSIRO	CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Tchécoslovaquie)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
GOST/GOS-STANDART	Comité d'État de l'URSS pour les normes, Moscou (URSS)
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
IMM/VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad (URSS)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France)
LNE	Laboratoire national d'essais, Paris (France)
NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Rép. Pop. de Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology (anciennement NBS)

NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OFMET	Office fédéral de métrologie, Wabern (Suisse)
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
PKNM	Polski Komitet Normalizacji I Miar, Varsovie (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Rép. Féd. d'Allemagne)
SP	Statens Provningsanstalt, Borås (Suède)
TTK	Technical Research Centre of Finland, Helsinki (Finlande)
TNO-IWECO	Institute for Mechanical Engineering, Delft (Pays-Bas)
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou (URSS)
VNIIM	(voir IMM)
VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)

LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(* Au 31 décembre 1988, quarante-sept États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. Pop. Dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Une quarantaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité international. La dotation annuelle du Bureau international est de l'ordre de 17 000 000 francs-or (en 1988), soit environ 31 000 000 de francs français.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau international, le Comité international a institué depuis 1927, sous le nom de comités consultatifs, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces comités consultatifs, qui peuvent créer des groupes de travail temporaires ou permanents pour l'étude de sujets particuliers, sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer des recommandations concernant les 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*, 31, 1963, p. 97). Chaque comité consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité international, est composé de délégués de chacun des grands laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité international, de membres individuels désignés également par le Comité international et d'un représentant du Bureau international. Ces comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers ; ils sont actuellement au nombre de huit :

1. Le Comité consultatif d'électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

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

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

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

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

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

Comité international des poids et mesures

Secrétaire
J. DE BOER

Président
D. KIND

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES

Président

A. BRAY, membre du Comité international des poids et mesures, directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.

Membres

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Institut national de métrologie [INM] du Conservatoire national des arts et métiers.

ČESKOSLOVENSKÝ METROLOGICKÝ ÚSTAV [CSMU], Bratislava.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], Ottawa.

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

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

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

ISTITUTO DI METROLOGIA G. COLONNETTI [IMGC], Turin.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS] *, Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington (Royaume-Uni).

NATIONAL RESEARCH LABORATORY OF METROLOGY [NRLM], Tsukuba
(Japon).

OFFICE FÉDÉRAL DE MÉTROLOGIE [OFMET], Wabern (Suisse).

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

VAN SWINDEN LABORATORIUM [VSL], Delft.

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

ORDRE DU JOUR
de la 3^e session

1. Ouverture de la session.
2. Désignation d'un rapporteur.
3. Approbation de l'ordre du jour.
4. Rapport des travaux des Groupes de travail Masse :
 - a) GT2 — Mesure directe de la masse volumique de l'air ;
 - b) GT3 — Conservation des étalons de masse ;
 - c) GT4 — Étalons de masse en acier inoxydable ;
 - d) GT5 — Masse volumique de liquides et solides.
5. Rapport des travaux du Groupe de travail Force.
6. Rapport des travaux des Groupes de travail Pression :
 - a) Hautes pressions ;
 - b) Moyennes pressions ;
 - c) Basses pressions ;
 - d) Très basses pressions.
7. Troisième vérification périodique des prototypes nationaux.
8. Études concernant les balances.
9. Composition des groupes de travail.
10. Questions diverses :
 - a) Publication des documents ;
 - b) Rapport au CIPM et Recommandations ;
 - c) Réunion future ;
 - d) « Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981) ».

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES
(3^e session — 1988)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par R. S. DAVIS, rapporteur

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) a tenu sa troisième session au Bureau international des poids et mesures à Sèvres, les jeudi 26 et vendredi 27 mai 1988.

Étaient présents :

En l'absence de A. BRAY (excusé), membre du CIPM, président du CCM, Mr P. GIACOMO, directeur du BIPM et membre de droit du CCM, a présidé la session par intérim.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau national de métrologie, Paris : Institut national de métrologie [INM] du Conservatoire national des arts et métiers (P. RIÉTY, C. MORILLON).

Conseil national de recherches [NRC], Ottawa (G.D. CHAPMAN).
CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (E.C. MORRIS).

Institut de métrologie D.I. Mendéléev [VNIIM], Leningrad (A.P. SHYOLKIN, Yu. A. ATANOV).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (M. PLASSA, G. F. MOLINAR).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. S. DAVIS, C. R. TILFORD).

National Physical Laboratory [NPL] Teddington (R. WILSON, P. R. STUART).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tsukuba

Office fédéral de métrologie [OFMET], Wabern (J.-G. ULRICH).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(M. PETERS, M. GLÄSER, W. JITSCHIN).
Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. MUIJLWIJK).

Invités :

Organisation internationale de métrologie légale [OIML], Paris
(F. PETIK).
Statens Provningsanstalt [SP], Borås (L. R. PENDRILL).

Assistaient aussi à la session :

Laboratoire national d'essais [LNE], Paris (J. C. LEGRAS).
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (P. BÖLÖNI).
T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM; G. GIRARD, J. BONHOURS
[BIPM].

Excusés :

A. Bray, président du CCM.
Československý Metrologický Ústav, Bratislava (R. Spurný).

Absent :

Institut national de métrologie, Beijing.

1. Ouverture de la session

Mr Giacomo ouvre la session et annonce que Mr Bray, souffrant, ne pourra assurer ses fonctions de président ; à la demande de celui-ci, il a accepté de présider cette session. Le Comité décide d'envoyer un message par télex à Mr Bray pour lui souhaiter un prompt rétablissement.

Le président par intérim informe alors le comité du décès, en février dernier, de D. B. Prowse (CSIRO). Celui-ci était délégué du CSIRO et président du Groupe de travail « Mesure directe de la masse volumique de l'air ». L'annonce de cette triste nouvelle est suivie d'une minute de silence.

Puis il souhaite la bienvenue aux invités et observateurs. Mr Davis est nommé rapporteur. L'ordre du jour est approuvé, après quelques changements mineurs.

2. Rapports des groupes de travail

Conformément à l'ordre du jour qui a été adopté, le président par intérim demande la présentation des rapports des groupes de travail.

2.1. Mesure directe de la masse volumique de l'air

En raison du décès de D. B. Prowse, il n'y a pas de rapport formel de ce groupe de travail. Toutefois, le président par intérim fait savoir que Mr Pendrill a soumis un document (CCM/88-7) qui décrit des recherches qui ont rapport aux travaux de ce groupe. Mr Pendrill en présente un résumé.

La masse volumique de l'air a été déterminée par réfractométrie laser afin de connaître la correction de poussée de l'air entre le prototype du kilogramme et les étalons en acier inoxydable suédois. Les fondements théoriques qui servent à relier la masse volumique de l'air et l'indice de réfraction de l'air aux fréquences laser ont été étudiés. À présent, cette technique fait appel à une mesure indépendante de la masse volumique de l'air. Les changements ultérieurs de la masse volumique de l'air peuvent être convenablement contrôlés par réfractométrie laser, tant que les changements d'humidité relative n'excèdent pas 2 %.

Mr Pendrill conclut que l'utilisation de cette technique, qu'il a mise au point, donne une incertitude d'environ 0,01 mg sur la correction de poussée de l'air entre les kilogrammes en platine allié à 10 % d'iridium et les kilogrammes en acier inoxydable.

Mr Wilson dit que le NPL construit actuellement deux étalons qui seront utilisés pour la détermination directe de la masse volumique de l'air. L'incertitude relative dans une mesure de la masse volumique de l'air au niveau de la mer devrait être de l'ordre de 10^{-5} .

2.2. Conservation des étalons de masse

Mr Girard fait référence au document CCM/88-3. Il rappelle par ailleurs que le groupe de travail s'est réuni au BIPM la veille (25 mai 1988) et que plusieurs points ont été discutés, parmi lesquels on peut citer : les méthodes de nettoyage et de conservation des prototypes, les effets de l'humidité et la stabilité des prototypes. Les travaux sur les balances, qui sont aussi du ressort de ce groupe de travail, seront traités en détail à un point ultérieur de l'ordre du jour.

Méthodes de nettoyage et de conservation

Le BIPM n'utilise plus de benzène pour le nettoyage des étalons de masse, mais se sert d'un mélange à parts égales d'alcool et d'éther. Ce nettoyage est, comme avant, suivi d'un lavage sous un jet de vapeur d'eau bidistillée pour les étalons en platine iridié. Il faut, semble-t-il, au moins deux semaines pour stabiliser la masse d'un prototype qui vient d'être nettoyé.

Plusieurs laboratoires (INM, NBS, NPL) utilisent une enceinte à respiration qui ne permet les échanges d'air avec l'extérieur que par un filtre aux pores très fins. Mr Gläser indique que la PTB a aussi essayé

cette technique, mais qu'après un certain temps l'air qui se trouve à l'intérieur de l'enceinte sent le renfermé, et qu'elle a donc été abandonnée. Après discussion, il a été décidé de mettre au point et de construire une enceinte munie de filtres pour conserver deux des témoins du prototype international. Il sera alors possible de vérifier si les prototypes conservés dans ces nouvelles enceintes souffrent autant de la pollution superficielle que les prototypes conservés dans les enceintes traditionnelles.

Effet de l'humidité

Dans la plupart des laboratoires nationaux le taux d'humidité relative est compris entre 20 % et 60 %. Les effets de l'humidité sur les résultats des comparaisons entre des prototypes en platine iridié et des étalons en acier inoxydable ont été étudiés il y a quelques années par la PTB et le NRLM. De nouveaux résultats expérimentaux ont été soumis au groupe de travail par le VNIIM (document CCM/88-10). Le groupe de travail a créé un groupe d'étude chargé de recommander une formule de correction pour ramener les résultats des comparaisons entre des étalons en platine iridié et des étalons en acier inoxydable à une humidité relative nominale de 50 % à partir des données expérimentales connues.

Stabilité des étalons de masse

La PTB et le NPL rapportent que la masse d'un kilogramme prototype augmente d'environ 3 µg par an (document CCM/88-3, Annexes 1 et 2) à cause de la pollution. Le BIPM a, depuis de nombreuses années, pris l'habitude de déterminer la masse d'un prototype national avant et après nettoyage-lavage. Les résultats de ces mesures sont résumés à l'annexe 3 du document CCM/88-3. Les principales conclusions des études du BIPM sont : 1) Les prototypes qui ont un bon état de surface et qui sont conservés dans une atmosphère assez propre voient leur masse augmenter en moyenne d'environ 1 µg par an ; 2) les changements de masse sont plus rapides dans la période qui suit immédiatement un nettoyage-lavage.

Mr Girard conclut en rappelant la Résolution 2 de la 18^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM) de 1987 qui recommande aux laboratoires d'entreprendre des études sur la composition et le comportement superficiels du platine allié à 10 % d'iridium et des autres alliages dont sont constitués les étalons de masse.

Mr Gläser ajoute que le groupe de travail a aussi longuement discuté des liens entre les unités électriques et les unités mécaniques. Il pense que les métrologistes chargés des mesures de précision dans les domaines de la masse et de l'électricité tireraient profit d'une discussion sur les problèmes et points d'intérêt commun.

Mr Quinn rappelle à cette occasion les changements dans les représentations des unités électriques prévus pour le 1^{er} janvier 1990. Il

explique que, bien que l'on puisse mesurer les tensions Josephson et les résistances de Hall quantifiées avec une précision de 1 à 3×10^{-8} , les réalisations des unités SI de tension et de résistance sont bien moins exactes dans la pratique. À cette date on attribuera des valeurs admises par convention à $2e/h$ et à h/e^2 . Cette méthode est analogue à celle qui définit une échelle pratique de température dont la réalisation est d'une précision supérieure aux températures thermodynamiques. Mr Quinn informe aussi le comité du remplacement de l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIP-68) au 1^{er} janvier 1990 par l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90). Les deux échelles de température sont identiques au point triple de l'eau. Aux températures plus élevées, les différences entre les échelles sont à peu près les suivantes :

t	$T_{90} - T_{68}$
20 °C	— 5 mK
100 °C	— 25 mK.

Les tables de masse volumique de l'eau ou du mercure en fonction de la température dans l'EIP-68 nécessiteront donc une légère conversion.

La suggestion de Mr Gläser de s'intéresser officiellement, au sein du CCM, aux récents travaux reliant les unités électriques aux unités mécaniques, fait l'objet d'une discussion approfondie. Certains proposent qu'un groupe de travail du CCM ou qu'un groupe de travail conjoint du CCM et du Comité consultatif d'électricité (CCE) soit créé pour étudier la possibilité de réaliser un étalon de masse au moyen d'une balance de courant ou de tension. Mr Peters suggère qu'il serait utile au moins de connaître à quel niveau d'exactitude on peut prétendre actuellement. Mr Giacomo rappelle, toutefois, que le but des comités consultatifs est de faire des recommandations spécifiques, et non de tenir lieu de conférences scientifiques. Il indique que le CCE se réunira en septembre 1988 et propose de soumettre le rapport de cette session du CCM au CCE ; il exprime le vœu que cette question soit soumise à l'étude du CCE.

2.3. Étalons de masse en acier inoxydable

Mme Plassa présente le rapport du Groupe de travail 4 (document CCM/88-15) et les documents associés (documents CCM/88-13 et CCM/88-16). Le groupe de travail ne s'est pas réuni récemment mais est, néanmoins, resté en contact par courrier. Des analyses de surface (y compris des tests de corrosion) des alliages en acier inoxydable et des « super-alliages » ont été faites par plusieurs laboratoires. De plus, de nouveaux matériaux ont été étudiés, parmi lesquels des aciers inoxydables dans lesquels le tantale a été implanté par méthode ionique et le niobium.

Les tests de corrosion et autres analyses de surface permettent de conclure que les aciers inoxydables ayant une teneur respectivement supérieure à 20 % en chrome et en nickel ont une bonne stabilité de masse. La stabilité des super-alliages, en particulier Alacrite et Nimonic 105, est aussi bonne. Il n'y a aucune raison, pour l'instant, de choisir un de ces matériaux de préférence à l'autre.

Mme Plassa explique qu'il est difficile en pratique de corrélérer les résultats des tests de corrosion accélérée aux tests de comportement dans des conditions expérimentales normales. Après cette introduction, elle présente les résultats préliminaires de l'IMGC qui classe les alliages étudiés (dans un ordre décroissant de stabilité) de la manière suivante : Nimonic 105 ; aciers inoxydables associés à une quantité suffisante de nickel et de chrome ; Nimonic 80. Les études effectuées au NRLM montrent que les masses des échantillons réalisés à partir de feuilles de métal sont moins stables que celles des échantillons réalisés à partir d'un bloc de métal.

Plusieurs laboratoires ont appliqué de nouvelles techniques aux analyses de surface d'alliages utilisés pour les étalons de masse. La spectroscopie Auger (AES), l'électrochimie et le traitement sous vide à température élevée ont été utilisés à l'IMGC. Au NPL, la spectrométrie de masse d'ions secondaires (SIMS) a été utilisée pour étudier la contamination superficielle des alliages de platine iridié usinés. Les mesures, préliminaires, par ellipsométrie effectuées à la PTB sont fort prometteuses. L'ellipsométrie est une technique de mesure non-destructive qui ne nécessite pas d'être pratiquée sous vide. Mr Gläser ajoute que les résultats par ellipsométrie, qui peuvent être expliqués par la croissance d'un film sur une surface métallique, s'accordent bien avec l'augmentation de masse observée. Les mesures par ellipsométrie ont une sensibilité plus élevée que les analyses par pesée.

Nouveaux matériaux

Mme Plassa indique que des recherches sont en cours au NRLM sur des alliages en acier inoxydable dans lesquels le tantale a été implanté par méthode ionique. Les résultats préliminaires de cette étude ne sont pas encore disponibles.

Le niobium, d'une masse volumique de $8\,600\text{ kg/m}^3$, a été choisi pour des essais à l'IMGC. Mme Plassa pense que les éléments purs ou les alliages binaires sont de bons sujets d'étude, parce qu'ils peuvent être réalisés en petite quantité à un coût modique. Elle résume les propriétés physico-chimiques du niobium, ainsi que ses projets d'étude sur la stabilité de la masse de ce métal.

2.4. Masse volumique de liquides et de solides

Mr Masui fait part tout d'abord des nombreux changements de personnes qui composent ce groupe de travail. En particulier, Mr Iizuka a démissionné de son poste de président. Pour que le travail continue malgré son départ, Mr Iizuka a demandé à Mr Masui de présider la réunion du groupe de travail le mercredi 25 mai 1988 et de présenter le rapport du groupe de travail au CCM. Mr Masui présente le document CCM/88-14, qu'il complète par le rapport de la réunion du 25 mai 1988 :

Rapport de la réunion du groupe de travail

Mme Peuto (IMGC) a présenté les résultats d'une comparaison circulaire de masse volumique, regroupant sept laboratoires, qui a été menée dans le cadre du Bureau communautaire de référence (BCR) de la Communauté économique européenne (CEE). Les résultats obtenus montrent un accord (à mieux que 1×10^{-6} près) entre les valeurs obtenues par des mesures directes de masse et de longueur et les valeurs obtenues par pesée hydrostatique en se référant à la masse volumique de l'eau donnée dans la table de Bigg.

Mr Gläser rend compte des comparaisons de masse volumique entre la PTB et le CSIRO. L'objet comparé était une sphère de verre à coefficient de dilatation très faible. À la PTB, le volume de cet objet a été déterminé au moyen de pesées hydrostatiques dans un liquide fluoré par rapport à un cube de masse volumique connue. Le volume a été aussi déterminé par mesure directe des dimensions. La différence entre les deux mesures de volume était d'environ $0,6 \times 10^{-6}$ et les résultats encadraient ceux obtenus au CSIRO.

Mr Morris fait savoir que son laboratoire a comparé la masse volumique d'un échantillon de mercure appartenant au CSIRO à celle d'un échantillon fourni par le NBS. Les deux échantillons avaient été initialement étudiés par A.H. Cook au NPL il y a près de 30 ans. La différence de masse volumique mesurée par Cook a été confirmée par le CSIRO, avec une incertitude inférieure à celle donnée par Cook.

Il est rendu compte des résultats des mesures de la masse volumique de l'eau effectuées au NRLM.

Cette masse volumique a maintenant été mesurée dans un large domaine de température au CSIRO et au NRLM. À ce sujet, Mr Masui fait savoir que le groupe de travail a mis en place un groupe restreint chargé d'établir une nouvelle table de la masse volumique de l'eau fondée sur ces mesures et sur la nouvelle échelle de température (EIT-90). Le groupe de travail reconnaît aussi l'importance de la masse volumique du mercure pour la métrologie et encourage ses membres et tous ceux qui le souhaitent à étudier ce sujet.

Comparaisons internationales

La principale activité du groupe de travail a été une comparaison de mesures de masse volumique à laquelle participaient tous les membres du groupe, avec le NBS comme laboratoire pilote. Mr Masui demande à Mr Davis de résumer les résultats de ces mesures.

Mr Davis explique que les objets suivants ont été mis à la disposition des divers laboratoires participants : deux cylindres en acier inoxydable (1 kg) ; deux grands cylindres en cristal de silicium (800 g) et deux petits cylindres en cristal de silicium (200 g). Chaque laboratoire a mesuré, par pesée hydrostatique, la masse volumique d'un cylindre en acier inoxydable et d'un cylindre en cristal de silicium, dans la mesure où son équipement le lui permettait. Lorsque des étalons solides de masse volumique étaient disponibles dans le laboratoire, les mesures étaient rapportées à ces étalons. L'eau a été aussi utilisée comme étalon de masse volumique en utilisant les valeurs fournies par la table de Bigg ; des corrections ont été apportées pour la teneur en air dissous, la composition isotopique et la pression.

Un rapport provisoire a été préparé à l'intention des membres du groupe de travail ; les résultats définitifs ne sont pas disponibles pour le moment. Toutefois, les comparaisons sont suffisamment avancées pour que l'on puisse en tirer les deux conclusions suivantes : 1) l'uniformité est plus grande pour les mesures de masse volumique du cristal de silicium que pour les mesures de masse volumique de l'acier inoxydable ; 2) l'accord entre les mesures fondées sur la masse volumique de l'eau et les mesures fondées sur celle des objets solides aurait été grandement amélioré si la masse volumique de l'eau du CSIRO ou du NRLM avait été utilisée à la place de celle de la table de Bigg. Mr Davis remarque, toutefois, que cette dernière observation est totalement contredite par les résultats du BCR décrits ci-dessus. Un rapport final devrait être disponible au cours des six prochains mois.

2.5. Force

Mr Peters présente le rapport écrit de son groupe de travail (document CCM/88-20). Le groupe de travail s'est réuni du 3 au 5 mai 1988 à Berlin (Rép. dém. allemande). Plus de vingt délégués ont participé à la réunion, sur le thème « Incertitude des mesures de force ».

Mr Peters explique que le groupe de travail a concentré ses efforts sur les mesures comparatives dans le domaine de 100 kN à 1 MN en raison de l'importance de ce domaine pour l'industrie. Le groupe de travail a été créé en 1978 et comprend maintenant vingt laboratoires. Lors de la dernière session du CCM, il a été décidé que des mesures comparatives entre la PTB et l'Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (ASMW), Berlin, permettraient de coordonner efficacement les résultats des mesures dans tous les pays de l'Europe de

l'est et de l'ouest, puisque tous les membres du groupe de travail peuvent se rattacher à l'un ou à l'autre de ces laboratoires (PTB ou ASMW). Mr Peters rapporte que ces efforts ont porté leurs fruits.

Au cours des comparaisons internationales, plusieurs problèmes et effets nouveaux ont été élucidés, parmi lesquels les problèmes de torsion, de forces latérales, de rotation et d'imperfections géométriques qui interfèrent avec la réponse attendue du capteur. De plus, Mr Peters décrit un effet de « chevauchement » : les résultats de capteurs différents sont en désaccord dans le domaine commun aux deux instruments. D'après lui, il est nécessaire, soit de trouver la cause de cette divergence inattendue, soit de se mettre d'accord sur une incertitude plus grande.

Mr Peters illustre alors tous ces effets en faisant référence aux figures du document CCM/88-20. Il ajoute qu'à la PTB, chaque capteur de force a été mis en charge toutes les semaines ou toutes les deux semaines pendant une période de neuf ans. Cette condition est importante pour obtenir une bonne reproductibilité. Il est aussi nécessaire de s'assurer que le capteur est chargé de la même façon à chaque fois qu'il est utilisé. Sans apporter aucune modification à l'équipement lui-même, on peut améliorer la précision d'un facteur 5 en suivant la procédure décrite dans ce rapport.

Le groupe de travail a conclu qu'après quarante ans d'efforts, il y a maintenant un large accord mondial sur l'incertitude des machines de mesure de force comme l'indiquent les conclusions suivantes :

1. L'expérience a démontré qu'il existe une interaction entre les capteurs de force et les machines de mesure de force.
2. Les machines de mesure de force devraient produire des forces dans la direction qui coïncide avec l'axe mécanique de symétrie de la machine. En pratique, il arrive que cette condition ne soit pas remplie quand on positionne un capteur de force dans une machine. En conséquence, un moment de force peut agir sur le capteur et influencer sur le signal de sortie. Celui-ci dépend aussi du comportement des surfaces qui transmettent la force de la machine vers le capteur. Ces phénomènes sont généralement appelés « interaction entre le capteur de force et la machine de mesure de force ».
3. L'indication d'un capteur de force n'est pas seulement fonction de la force théorique calculée, mais aussi de cette interaction.
4. Les incertitudes théoriques des machines à masse suspendue données par les laboratoires nationaux, en accord avec la Recommandation 1 (CI-1986), étaient inférieures ou égales à $\pm 2 \times 10^{-5}$.
5. Les résultats pratiques des comparaisons internationales de force jusqu'à 1 MN, effectuées durant la période de 1980 à 1988 entre dix machines à masse suspendue utilisant les meilleurs procédés et équipements disponibles, ont montré des différences relatives par rapport à la valeur moyenne de $\pm 5 \times 10^{-5}$.

6. En pratique, quand on utilise des machines à masse suspendue pour étalonner des capteurs de force, les différences entre les résultats obtenus à l'aide de différentes machines seront généralement bien plus importantes.
7. Les incertitudes théoriques des machines à amplification hydraulique ou à levier données par les laboratoires nationaux variaient de $\pm 1 \times 10^{-4}$ à $\pm 5 \times 10^{-4}$.
8. Des comparaisons internationales de force jusqu'à 1 MN ont été réalisées de 1980 à 1988 entre sept machines à amplification hydraulique et huit à levier en utilisant la même procédure et le même équipement que ceux employés pour la comparaison de machines à masse suspendue. Les résultats ont montré des différences relatives de $\pm 5 \times 10^{-4}$ par rapport à la valeur moyenne obtenue dans la comparaison internationale de machines à masse suspendue.
9. Les incertitudes avec lesquelles ces comparaisons furent effectuées étaient du même ordre que celles associées aux machines à masse suspendue, c'est-à-dire environ $\pm 5 \times 10^{-5}$. Les différences par rapport à la valeur moyenne étaient principalement dues à des erreurs provenant des machines à levier et des machines hydrauliques.
10. Deux comparaisons seulement ont été effectuées avec des systèmes à pyramide de capteurs. Les résultats obtenus ont montré que c'est une bonne méthode pour des comparaisons avec des machines d'une capacité supérieure à 1 MN et qu'il conviendrait de poursuivre ce travail. Il faut porter attention à la conception, à la construction et à l'étalonnage de ces systèmes à pyramide de capteurs.

Mr Peters, soulignant la grande quantité de travail qui a été nécessaire pour aboutir à ces conclusions, ajoute que le groupe de travail publiera un rapport complet donnant tous les détails et arguments qui conduisent aux conclusions présentées dans le document CCM/88-20. Ce rapport devrait être terminé d'ici la fin de l'année 1988.

Les activités futures du groupe de travail seront orientées principalement vers les différentes technologies qui peuvent être utilisées pour produire des forces plus grandes que celles étudiées précédemment.

Dans la discussion qui s'ensuit, Mr Molinar, au nom de Mr Bray, félicite Mr Peters et le remercie pour le travail qu'il a accompli depuis la dernière session du CCM. Mr Molinar demande alors si les incertitudes ont atteint un niveau acceptable dans les mesures de force. Mr Peters répond que l'industrie s'intéresse plus particulièrement au domaine étudié actuellement, entre 100 kN et 1 MN. Les besoins de l'industrie peuvent, semble-t-il, être satisfaits par les machines à masse suspendue dans ce domaine. Cependant, il serait utile d'améliorer l'exactitude jusqu'à 5 MN. Mr Peters explique alors certains problèmes techniques et logistiques nouveaux que l'on risque de rencontrer en étendant le domaine des comparaisons internationales au-dessus de 1 MN.

2.6. Hautes pressions

Mr Molinar présente le rapport écrit (document CCM/88-9) et ajoute que ce rapport a été rédigé avant la réunion du groupe de travail qui a eu lieu les 24 et 25 mai 1988 au Laboratoire national d'essais (LNE). Vingt-sept participants de quatorze pays ont assisté à cette réunion du groupe de travail et à un séminaire. Les vingt-deux rapports sur la métrologie des hautes pressions (comparaisons internationales de jauges à piston, d'étalons de transfert, de capteurs, de mesures de pression dynamiques, de points fixes) qui y ont été présentés seront publiés sous forme de monographie.

La principale activité du groupe de travail a été une comparaison internationale circulaire, en quatre phases, qui débuta en mai 1981 et se terminera à la fin de 1988. Le domaine des pressions étudiées se situait entre 20 et 100 MPa. Les résultats des premières phases ont récemment été publiés dans *Metrologia*, 25, N° 1, 1988, pp. 21-28. Mr Molinar rend compte ensuite des résultats obtenus par les laboratoires participants.

L'étalon de transfert est une balance de pression à huile. Les valeurs obtenues par les différents laboratoires pour la surface du piston, extrapolée à pression nulle, sont en accord à 204×10^{-6} près. Neuf de ces valeurs sont à l'intérieur de 53×10^{-6} . Il est bien connu que la surface du piston à 100 MPa est différente de celle extrapolée à pression nulle. Cette différence peut être caractérisée par un coefficient de déformation en fonction de la pression. La dispersion des valeurs obtenues par l'ensemble des laboratoires participants pour la surface du piston à 100 MPa atteint 414×10^{-6} , bien que huit laboratoires obtiennent des résultats qui se situent à l'intérieur de 78×10^{-6} . Ces résultats montrent qu'une meilleure connaissance du coefficient de déformation est nécessaire pour améliorer l'accord entre les laboratoires. Un problème supplémentaire imprévu a été que la surface du piston de l'étalon de transfert variait au cours du temps. Pour comparer les résultats des différents laboratoires, il a été nécessaire de considérer que cette variation était continue; les résultats ajustés du laboratoire pilote ont servi de référence.

Le groupe de travail s'est mis d'accord pour poursuivre les activités suivantes: 1) achèvement des comparaisons jusqu'à 100 MPa jusqu'à ce que la quatrième phase soit achevée (aucune autre phase ne sera ajoutée à la comparaison dans ce domaine de pression); 2) amélioration de la compréhension expérimentale et théorique du coefficient de déformation en fonction de la pression et 3) organisation d'une comparaison internationale de mesures de pression jusqu'à 700 MPa.

Mr Molinar indique que le travail cité au point 3 est déjà commencé. Parmi les vingt et un laboratoires auxquels on a demandé s'ils souhaitaient participer à cette comparaison, quatorze se sont déclarés intéressés. Ces derniers ont été répartis en trois groupes géographiques,

ayant chacun un laboratoire pilote et un étalon de transfert. Ces trois groupes sont : A) Europe de l'ouest, B) Europe de l'est et C) autres pays. Le groupe B a déjà terminé ses comparaisons avec le Gosstandart-VNIIFTRI (Moscou, URSS) comme laboratoire pilote.

Les autres domaines d'intérêt du groupe de travail comprennent les recherches sur les effets systématiques dus au fluide utilisé dans les mesures de pression absolue ou relative de 0,1 à 0,3 MPa, l'amélioration des étalons de transfert (capteurs et multiplicateurs), et la mesure des pressions dans des conditions dynamiques.

En ce qui concerne les variations de la surface du piston observées sur l'étalon de transfert au cours du temps, Mr Peters souligne que des effets analogues sont observés sur certains types de capteurs de force. On améliore la stabilité en faisant fonctionner ces capteurs à intervalles réguliers.

2.7. Moyennes pressions

Mr Stuart présente les documents CCM/88-2 et CCM/88-21. Le groupe de travail s'intéresse plus particulièrement aux pressions dans le domaine de 1 kPa à 1 MPa. L'activité initiale du groupe de travail était d'organiser des comparaisons internationales dans le domaine de 10 kPa à 100 kPa en mode absolu avec une option en pression relative. Ce domaine a été choisi en raison de son importance pour la science et l'industrie.

Les trois principaux centres d'intérêt en barométrie primaire, poursuit Mr Stuart, sont les suivants :

1. Mesure de la différence des hauteurs entre les surfaces de mercure en présence de vibrations ambiantes.
2. Réduction de l'inclinaison du baromètre lors du transfert du mercure entre les colonnes.
3. Mesure et régulation de la température moyenne du mercure (une erreur de 5 mK entraîne une erreur sur la pression de 1×10^{-6} à 100 kPa).

Les baromètres primaires des laboratoires qui ont déjà participé à la comparaison (NPL, BIPM, INM, CSMU, CSIRO et NBS) sont décrits. La comparaison des niveaux d'exactitude estimés de ces instruments nécessite le choix d'un étalon de transfert de bonne qualité. L'étalon de transfert utilisé était une balance de pression à gaz dont la base avait été spécialement conçue pour ces mesures. Mr Stuart déclare que d'après le laboratoire pilote (NPL), la stabilité finale de l'étalon de transfert est impressionnante.

Les résultats de la comparaison obtenus à ce jour sont passés en revue, ainsi que le graphique représentant les mesures de la surface

effective en fonction de la pression obtenue par les laboratoires participants (Fig. 6 du document CCM/88-21). Le graphique montre clairement qu'un participant a obtenu une erreur significative proportionnelle à la pression. Un second laboratoire, qui est en accord avec le laboratoire pilote dans le domaine des hautes pressions, diverge de façon significative lorsque la pression est plus basse. La présence de telles erreurs montre l'utilité de ces comparaisons. D'autres laboratoires participeront à cette comparaison.

Mr Stuart rend compte ensuite de la possibilité d'étendre les comparaisons jusqu'à une pression de 1 MPa ou jusqu'à 1 kPa. Dans le premier cas, le groupe de travail a identifié des étalons de transfert possibles mais aucun laboratoire n'a jusqu'à présent proposé d'être le laboratoire pilote. Dans le second cas, des recherches seront nécessaires pour trouver un étalon de transfert convenable.

Mr Stuart, en réponse à une question de Mr Quinn, indique qu'environ la moitié des laboratoires ont déjà participé aux comparaisons de 10 kPa à 100 kPa. La nature de ces mesures impose une limite pratique de quatre laboratoires participants par an.

Mr Riéty indique qu'il a étudié une jauge à piston dont le diamètre est supérieur à la moyenne et qui peut donc être mesurée avec une exactitude accrue. Ce dispositif présente une incertitude de 0,3 à 0,5 Pa en pression relative, ce qui conduit Mr Riéty à se demander si de tels instruments ne pourraient pas un jour remplacer les baromètres à mercure comme étalons primaires.

2.8. Basses pressions

Mr Tilford explique qu'aucun rapport écrit n'est disponible pour le moment, le groupe de travail s'étant réuni au début de la présente semaine, mais qu'il sera disponible prochainement [ce rapport, document CCM/88-22, a été reçu le 9 juin 1988]. Il rappelle au comité que ce groupe de travail, qui s'occupe du domaine de pression compris entre 1 Pa et 1 000 Pa, est d'un grand intérêt technique, en partie parce qu'il fait la transition entre les mesures de pression et les mesures de vide.

À l'origine, ce groupe de travail a été chargé d'organiser des comparaisons internationales, avec le NBS comme laboratoire pilote. Des jauges à diaphragme à variation de capacité (CDG) ont été choisies comme étalons de transfert. Cependant leur stabilité s'est révélée moins bonne que prévu, et plusieurs années ont été consacrées à étudier ce problème. Finalement, ces jauges se sont avérées suffisamment stables pour pouvoir commencer les comparaisons. Quatre laboratoires y ont participé ; deux d'entre eux se sont référés à des manomètres à mercure et les deux autres à des étalons à conductance.

Il n'a pas été possible pour chaque laboratoire de faire des mesures à toutes les pressions convenues. Aussi, afin de comparer les résultats, les données de chaque laboratoire ont d'abord été placées sur une

courbe. Toutefois, la non-linéarité des capteurs limite le succès de cette méthode. Il semble maintenant que celle-ci a permis de faire des comparaisons fiables entre les résultats seulement dans la limite supérieure du domaine de pression. Dans cette région, trois laboratoires sont en accord dans des limites de 0,1 à 0,3 %, tandis que le quatrième s'en écarte d'environ 0,4 % (environ trois écarts-types). Deux des laboratoires participants modifient actuellement leurs étalons avant de remesurer l'étalon de transfert.

Mr Jitschin demande si ce travail a fait l'objet d'une publication. Mr Tilford répond que le document CCM/88-22 résumera les mesures faites à ce jour.

2.9. Très basses pressions

Mr Jitschin explique qu'il assure la présidence de ce groupe de travail depuis le départ à la retraite de Mr Messer. Dans son rapport Mr Jitschin se réfère aux documents CCM/88-1, CCM/88-4 et CCM/88-19. Le groupe de travail s'est réuni le mardi 24 mai 1988. Au cours de ces dernières années, sa principale activité a été la réalisation d'une comparaison internationale de mesures de pression dans le domaine de 10^{-4} Pa à 1 Pa. Un projet de rapport final de cette comparaison a été préparé (document CCM/88-19).

Mr Jitschin résume alors les résultats de cette comparaison internationale. L'étalon de transfert utilisé est un ensemble de quatre jauges à rotor tournant. Les neuf laboratoires participants ont utilisé l'argon pour leurs mesures et, de plus, cinq laboratoires ont refait celles-ci avec de l'hydrogène. Puisqu'on s'attendait à ce que la stabilité de l'étalon de transfert soit inférieure à celle des étalons primaires, on a effectué une comparaison en étoile, c'est-à-dire que l'étalon de transfert était mesuré par le laboratoire pilote (PTB, Berlin) juste avant et après les mesures dans chaque laboratoire participant. Même ainsi, dans certains cas, le transport par mer des rotors a eu pour conséquence des changements excessifs dans leurs caractéristiques de fonctionnement. Le problème du transport a été étudié en détail et résolu, de sorte que les comparaisons sont maintenant achevées avec succès.

Tous les laboratoires sont en accord à ± 3 % près avec les valeurs du laboratoire pilote. La stabilité des étalons de transfert est meilleure, d'un ordre de grandeur. Bien que des différences systématiques soient observées dans les résultats entre laboratoires, elles se situent dans les limites des incertitudes.

Mr Jitschin dit que certains laboratoires seraient intéressés par une extension de cette comparaison à des pressions plus basses, mais il faudrait alors trouver un nouvel étalon de transfert. Il y a, à présent, deux possibilités : le NBS a offert d'étudier la possibilité d'utiliser une jauge du type Bayard-Alpert et la PTB étudie un système à extraction d'ions.

La discussion s'engage ensuite sur l'instabilité des étalons de transfert. Mr Jitschin pense que les surfaces des sphères peuvent avoir été altérées pendant le transport. Mr Tilford remarque la difficulté d'analyser les résultats du fait du haut degré de corrélation entre les dérives des étalons de transfert que l'on a observées.

3. Troisième vérification périodique des prototypes nationaux

Mr Girard présente le résumé suivant. Les quinzième, seizième et dix-septième Conférences générales des poids et mesures (CGPM) ont adopté des résolutions demandant aux laboratoires d'entreprendre des études pour améliorer la conservation et la dissémination de l'unité de masse. Un des objectifs de ces études, déjà prévu par la quinzième Conférence générale, est l'organisation d'une nouvelle vérification des prototypes nationaux. En 1987, la dix-huitième Conférence générale a reconnu que des progrès suffisants ont été faits pour la conservation et la dissémination de l'unité de masse pour permettre au BIPM de commencer une nouvelle comparaison des témoins et des étalons de travail du BIPM au prototype international. De plus, la Résolution 1 de la dix-huitième Conférence générale a annoncé la troisième vérification des prototypes nationaux. Le BIPM se prépare actuellement à cette troisième vérification qui commencera prochainement. Le prototype international, les témoins et les étalons de travail du BIPM seront comparés avant et après nettoyage-lavage. Les mesures demanderont plusieurs mois de travail et devraient être terminées au printemps 1989. Il a été proposé provisoirement que les laboratoires envoient leurs prototypes nationaux au BIPM à l'automne 1989 ; leur masse sera déterminée avant et après nettoyage-lavage.

Mr Giacomo souligne que les mesures relatives à cette vérification périodique occuperont tout le temps disponible pour les étalonnages pendant trois ou quatre ans. Il ajoute que, suivant le nombre de pays participants, il sera nécessaire de séparer les prototypes nationaux en plusieurs groupes. Néanmoins, il y a de bonnes raisons métrologiques pour garder tous les étalons nationaux au BIPM jusqu'à la fin de cette vérification. Afin d'éviter des problèmes de douane, Mr Giacomo recommande que les prototypes nationaux soient envoyés par la valise diplomatique. Il souligne que les documents spéciaux habituellement utilisés pour faciliter les importations temporaires d'étalons ne sont valables qu'un an.

En réponse aux questions de plusieurs délégués, Mr Giacomo ajoute que la vérification sera limitée à un seul prototype par pays participant ; qu'il est encore prématuré de fixer la date à laquelle les prototypes seront rendus aux laboratoires d'origine ; que si un laboratoire national n'a pas la garde ou l'accès au prototype officiel de son pays, l'étalon

de masse *de facto* pourrait être envoyé au BIPM immédiatement après la fin de la vérification internationale.

Mr Quinn précise que les comparaisons de masse seront effectuées avec la balance NBS-2, qui a un écart-type inférieur à $1 \mu\text{g}$ et que le nombre de nettoyages-lavages à effectuer sur chaque prototype national ne peut pas être indiqué actuellement.

Mr Gläser souligne que les résultats de la deuxième vérification des prototypes nationaux ont été publiés dix ans plus tard ; il demande si les résultats de la troisième vérification seront disponibles dans un délai plus bref. Mr Girard explique que le retard dans la publication des résultats dont parle Mr Gläser ne concerne que le rapport détaillé de la deuxième vérification. L'information essentielle, c'est-à-dire la valeur de la masse de chacun des prototypes, a été communiquée au pays correspondant aussitôt l'étude terminée. La liste des nouvelles valeurs des prototypes a été sanctionnée par la 9^e CGPM en 1948 et par la 10^e CGPM en 1954.

4. Études sur les balances

Le président par intérim invite le comité à discuter maintenant des recherches et des progrès concernant les balances.

4.1. Balance de 10 kg de la PTB

Faisant référence au document CCM/88-6, Mr Gläser décrit la mise au point réussie, à la PTB, d'une balance de 10 kg à chargement par le haut. La balance utilise un fléau à suspensions flexibles asservi électromagnétiquement. L'écart-type d'une seule mesure se situe entre 5 et 10×10^{-9} . Un échangeur de masses spécial et une tare additionnelle de 5 kg sous le plateau permettent d'étalonner une série de masses de 1, 2, 5 et 10 kg. Toutes les comparaisons sont, bien sûr, effectuées à une charge nominale de 10 kg. Mr Gläser donne un exemple de ce type d'étalonnage. En réponse à une question de Mr Morris, Mr Gläser dit que la compagnie Sartorius fabrique actuellement une balance commerciale reproduisant un bon nombre des caractéristiques de la balance de la PTB.

4.2. Comparaison entre une balance asservie et non-asservie

Mr Davis passe en revue le document CCM/88-8, qui décrit les bénéfices obtenus en ajoutant un asservissement électromagnétique classique au comparateur primaire de masse du NBS. La conception mécanique de cette balance est voisine de celle de la balance NBS-2.

L'asservissement a eu deux effets : faire disparaître les perturbations habituellement attribuées à une déformation plastique des couteaux, et améliorer l'écart-type. Mr Davis ajoute que le gain en précision n'est probablement pas dû à l'asservissement lui-même mais au fait que celui-ci a permis d'automatiser entièrement la balance et de la régler de telle façon que la charge sur les couteaux soit plus constante.

4.3. Expérience sur l'existence de la cinquième force

Mr Quinn décrit ensuite les résultats remarquables que lui et Mr Speake (BIPM) ont obtenus avec une balance à suspensions flexibles. Faisant référence aux documents CCM/88-18 et 18bis, Mr Quinn explique que cet appareil a été utilisé pour mettre à l'épreuve l'hypothèse d'une « cinquième force » (le résultat obtenu est négatif). L'expérience acquise au cours de ces mesures est liée à la métrologie des masses de précision pour les deux raisons suivantes : 1) la balance permettait d'obtenir une précision de l'ordre de 7×10^{-12} , et 2) même à ce niveau jamais atteint jusqu'ici, les limites semblaient venir non de la balance elle-même mais des légers défauts d'uniformité de la température à l'intérieur de l'enceinte. Toutes les mesures ont été effectuées à une pression atmosphérique réduite d'environ 1 kPa.

En relation avec ce travail, les limites théoriques attendues des balances à fléau ont été étudiées (C. C. Speake, in *Proc. R. Soc. London A*, **414**, 1987, pp. 333-358) et l'anélasticité des suspensions flexibles aux très basses fréquences a été mesurée (T. J. Quinn et C. C. Speake, in *Rapport BIPM-87/3*).

4.4. Balance hydrostatique

Mme Plassa, faisant référence au document CCM/88-17, décrit les progrès effectués à l'IMGC sur une balance hydrostatique automatisée. Un asservissement a été ajouté à une balance commerciale modifiée d'une capacité de 100 g, permettant le chargement et le déchargement automatiques de la balance, dans l'air et dans l'eau. La balance fonctionne maintenant avec une précision meilleure que $10 \mu\text{g}$ pour des pesées dans l'air ou dans un liquide, ce qui est un progrès significatif par rapport à ses performances initiales. Ce succès aura pour conséquence de faciliter les déterminations de la masse volumique de petits échantillons. Par exemple, le même document rapporte la détermination de la masse volumique de deux échantillons de niobium : les échantillons ont un volume nominal de 2 cm^3 seulement et, en dépit de leur petite taille, leur masse volumique a été déterminée à 10×10^{-6} près. Les progrès se poursuivent avec l'étude des effets thermiques sur la balance.

4.5. Discussion

Mr Chapman rapporte qu'un comparateur automatique d'un kilogramme de portée est utilisé au NRC depuis juin 1987. Un schéma de pesée de Borda est utilisé sur une balance de Rueprecht qui a été équipée d'un interféromètre pour la mesure de la rotation du fléau. Les données sont généralement recueillies la nuit et en quantité suffisante pour que les résultats obtenus sous une pression atmosphérique stable puissent être sélectionnés.

Mr Wilson décrit un nouveau comparateur d'un kilogramme de portée en cours d'installation au NPL. Les plans et couteaux sont remplacés par des suspensions flexibles fournies par le BIPM. Un transporteur circulaire capable de porter huit étalons de 1 kg a été mis au point au NPL pour cette balance. Des masses particulières permettant une détermination gravimétrique de la masse volumique de l'air ont aussi été fabriquées spécialement pour cette balance. Mr Wilson espère qu'il sera en mesure d'indiquer, lors de la prochaine session, que le défaut de précision atteint par ce comparateur est inférieur à 10^{-9} .

Les différents phénomènes de surface relatifs aux mesures de masse de haute précision fournissent le sujet d'une discussion générale qui n'aboutit à aucune conclusion précise.

5. Groupes de travail

Le président par intérim attire l'attention du comité sur la composition et les tâches des différents groupes de travail.

Mr Giacomo note qu'il y a, à présent, neuf groupes de travail et suggère qu'il serait peut-être opportun d'en diminuer le nombre. Il rappelle aussi aux délégués que ce sont les laboratoires — et non les individus — qui sont membres de ces groupes. Ainsi, si une personne cesse d'être rattachée à un laboratoire, elle doit être remplacée. De plus, le BIPM doit être informé de tout changement de ce genre et doit recevoir copies de toute la correspondance échangée dans le cadre de l'activité de ces groupes.

Le décès prématuré de D. B. Prowse a laissé le Groupe de travail 2 (Mesure directe de la masse volumique de l'air) sans président. Le président par intérim suggère que les Groupes de travail 5 (Masse volumique de liquides et solides) et 2 soient fusionnés. Les délégués acceptent cette suggestion, le groupe de travail étant alors désigné sous le nom « Masse volumique ». Mr Masui dit, qu'en raison du départ de Mr Iizuka, il a accepté de présider le Groupe de travail 5 lors de cette session du CCM, mais qu'il ne souhaite pas continuer à le faire. Il propose que Mr Davis le remplace à la présidence du nouveau Groupe de travail « Masse volumique ». En l'absence d'un autre candidat, Mr Davis (NBS) accepte. À la demande de Mr Pendrill, le Statens

Provningsanstalt est accepté comme membre de ce groupe de travail. La liste des membres de ce groupe figure à la page G 21.

La possibilité de fusionner les Groupes de travail 3 (Conservation des étalons de masse) et 4 (Étalons de masse en acier inoxydable) est évoquée. Il serait également intéressant de réduire de quatre à trois le nombre des groupes de travail qui se partagent le domaine des pressions, mais aucune solution satisfaisante n'est trouvée. Il est finalement décidé que les Groupes 3 et 4 fusionnent et le nouveau groupe de travail est désigné sous le nom « Étalons de masse » ; Mme Plassa en assure la présidence (voir page G 21).

La composition des autres groupes est la suivante : Mr Peters reste président du Groupe de travail « Force », Mr Molinar reste président du Groupe de travail « Hautes pressions », Mr Stuart président du Groupe de travail « Moyennes pressions », mais il informe les délégués de son départ en retraite du NPL d'ici deux ans. Mr Tilford conserve la présidence du Groupe de travail « Basses pressions », l'IMGC et la PTB sont ajoutés au nombre des laboratoires membres de ce groupe. Mr Jitschin reste président du Groupe de travail « Très basses pressions » et le NBS est ajouté au nombre des laboratoires membres de ce groupe (voir page G 22).

Étant donnée l'importance du travail à effectuer sur les balances, certains délégués pensent qu'un nouveau groupe de travail consacré à la technologie des balances serait utile. Mr Giacomo rappelle aux délégués que le but des groupes de travail est de conseiller le CIPM et non d'échanger des informations. Mr Quinn suggère que, plutôt que de former un groupe de travail formel, il serait préférable de former un « Club » informel sur les balances, auquel toutes les parties intéressées pourraient prendre part. L'idée est acceptée, et les laboratoires suivants se déclarent intéressés : Bureau international des poids et mesures (BIPM), Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC), Statens Provningsanstalt (SP), Institut national de métrologie (INM), Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), Van Swinden Laboratorium (VSL), Conseil national de recherches du Canada (NRC), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO, Division of Applied Physics), National Physical Laboratory (NPL), National Research Laboratory of Metrology (NRLM), National Bureau of Standards (NBS), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) et Institut de métrologie D. I. Mendéléev (VNIIM).

6. Questions diverses

6.1. Publication des documents

Mr Giacomo rappelle aux délégués que les rapports finaux des comparaisons effectuées dans le cadre des groupes de travail sont généralement publiés. Il existe plusieurs possibilités de publication, les

plus utilisées étant, soit une Monographie BIPM, soit une annexe au rapport du CCM, soit un article dans *Metrologia*. Un document doit être soumis sous forme d'article prêt à être reproduit tel quel s'il doit être publié comme Monographie BIPM et, bien sûr, les unités SI doivent être utilisées. Même si les rapports ne sont pas publiés sous forme de Monographie BIPM, leur version finale doit être envoyée au BIPM pour y être archivée.

6.2. Rapport au CIPM et recommandations

Le rapport de la troisième session du CCM sera soumis au CIPM. Il ne contient aucune recommandation formelle à soumettre au CIPM.

6.3. Prochaine session

Il est convenu que le CCM devrait se réunir de nouveau d'ici environ trois ans. Mr Giacomo demande à tous les groupes de travail de remettre au BIPM un rapport sur l'état d'avancement des travaux d'ici au mois de décembre 1989 et il demande aux présidents des groupes de travail de prendre soin d'envoyer au BIPM une copie de tous les articles et rapports, ainsi que des notices et minutes des réunions des groupes de travail.

6.4. Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981)

Mr Davis remarque que la « Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981) » qui a été recommandée en juin 1981 par le CCM et approuvée par le CIPM en octobre 1981 fait intervenir la constante molaire des gaz R et la température thermodynamique T . Le CCM doit être informé des progrès suivants : le récent rapport du groupe de travail de CODATA sur les constantes fondamentales a légèrement modifié la valeur recommandée pour R ; l'échelle de température sera légèrement changée en 1990 (voir p. G 5) ; comme cela a été dit lors de la deuxième session du CCM, les coefficients du viriel relatifs à l'air sec ont été recalculés, ayant pour effet de modifier légèrement leurs valeurs par rapport à celles utilisées pour établir la formule en question. Toutefois, ces changements sont négligeables sur le plan expérimental pour les comparaisons d'étalons de masse. Après une brève discussion, les délégués décident à l'unanimité que ces changements ne nécessitent pas une révision de la « Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981) », mais que l'on doit continuer à surveiller les progrès expérimentaux et théoriques.

L'ordre du jour étant épuisé, Mr Giacomo clôt la troisième session du CCM.

Composition des groupes de travail du CCM (1988)

(L'astérisque indique le laboratoire qui assure la présidence du groupe de travail)

Groupe de travail « Étalons de masse »

Bureau international des poids et mesures [BIPM]
Československý Metrologický Ústav [CSMU], Tchécoslovaquie
Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], URSS
Institut national de métrologie [INM], France
*Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Italie
National Bureau of Standards [NBS] ⁽¹⁾, États-Unis d'Amérique
National Physical Laboratory [NPL], Royaume-Uni
National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Japon
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Rép. Féd. d'Allemagne
Van Swinden Laboratorium [VSL], Pays-Bas

Groupe de travail « Masse volumique »

Bureau international des poids et mesures [BIPM]
Československý Metrologický Ústav [CSMU], Tchécoslovaquie
CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Australie
Institut national de métrologie [NIM], Rép. Pop. de Chine
Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Italie
*National Bureau of Standards [NBS] ⁽¹⁾, États-Unis d'Amérique
National Physical Laboratory [NPL], Royaume-Uni
National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Japon
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Rép. Féd. d'Allemagne
Statens Provningsanstalt [SP], Suède

Groupe de travail « Force »

Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung [ASMW], Rép. Dém. Allemande
Československý Metrologický Ústav [CSMU], Tchécoslovaquie
Conseil national de recherches [NRC], Canada

⁽¹⁾ Depuis le 23 août 1988, ce laboratoire est devenu le National Institute of Standards and Technology [NIST].

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Australie
Dansk Institut for Proving og Justering, Danemark
Inspection générale de la métrologie, Belgique
Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], URSS
Institut national de métrologie [NIM], Rép. Pop. de Chine
Institute for Mechanical Engineering [TNO-IWECO], Pays-Bas
Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Italie
Laboratoire national d'essais [LNE], France
National Bureau of Standards [NBS] ⁽¹⁾, États-Unis d'Amérique
National Physical Laboratory [NPL], Royaume-Uni
National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Japon
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Hongrie
*Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Rép. Féd. d'Allemagne
Polski Komitet Normalizacji I Miar [PKNM], Pologne
Statens Provningsanstalt [SP], Suède
Technical Research Centre of Finland [TTK], Finlande
Van Swinden Laboratorium [VSL], Pays-Bas

Groupe de travail « Hautes pressions »

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [BEV], Autriche
Československý Metrologický Ústav [CSMU], Tchécoslovaquie
Comité d'État de l'URSS pour les normes [GOST], URSS
*Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Italie
Laboratoire national d'essais [LNE], France
National Bureau of Standards [NBS] ⁽¹⁾, États-Unis d'Amérique
National Physical Laboratory [NPL], Royaume-Uni
National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Japon
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Rép. Féd. d'Allemagne

Groupe de travail « Moyennes pressions »

Bureau international des poids et mesures [BIPM]
Československý Metrologický Ústav [CSMU], Tchécoslovaquie
CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Australie
Institut national de métrologie [INM], France
Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Italie
National Bureau of Standards [NBS] ⁽¹⁾, États-Unis d'Amérique
*National Physical Laboratory [NPL], Royaume-Uni
National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Japon

⁽¹⁾ Depuis le 23 août 1988, ce laboratoire est devenu le National Institute of Standards and Technology [NIST].

Groupe de travail « Basses pressions »

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [BEV], Autriche
Centre d'essais en vol [CEV], France
CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Australie
Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Italie
*National Bureau of Standards [NBS] ⁽¹⁾, États-Unis d'Amérique
National Physical Laboratory [NPL], Royaume-Uni
National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Japon
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Rép. Féd. d'Allemagne

Groupe de travail « Très basses pressions »

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Tchécoslovaquie
Institut national de métrologie [NIM], Rép. Pop. de Chine
Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Italie
Laboratoire national d'essais [LNE], France
National Bureau of Standards [NBS] ⁽¹⁾, États-Unis d'Amérique
National Physical Laboratory [NPL], Royaume-Uni
*Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Rép. Féd. d'Allemagne

⁽¹⁾ Depuis le 23 août 1988, ce laboratoire est devenu le National Institute of Standards and Technology [NIST].

ANNEXE G 1

**Documents de travail
présentés à la 3^e session du CCM**

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

- | Document
CCM/ | |
|------------------|---|
| 88-1 | Report on the present status of the BIPM intercomparison in the very low pressure range, by W. Jitschin, 1 page. |
| 88-2 | CCM Medium Pressure Working Group: Chairman's Report. March 1988, by P. R. Stuart, 2 pages. |
| 88-3 | Rapport des travaux du Groupe de travail Masse-3 (conservation des étalons de masse), par G. Girard, 14 pages. |
| 88-4 | Report on the activities of the BIPM intercomparison group « very low pressures » from 1984 to 1987, by W. Jitschin, 2 pages. |
| 88-5 | INM (France). — Micromanomètre pour la mesure des pressions différentielles comprises entre 0 et 200 pascals, par P. Riéty et J.-L. Prigent, 3 pages. |
| 88-6 | PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — A 10 kg comparison balance with computer-controlled weight-changing mechanism, by R. Schwartz, M. Mecke and M. Firlus, 10 pages. |
| 88-7 | National Testing Institute, Weights and Measures (Suède). — Density of Moist Air Monitored by Laser Refractometry, by L. R. Pendrill (<i>Metrologia</i> , 25 , 1988, pp. 87-93). |
| 88-8 | NBS (États-Unis d'Amérique). — Addition of Servocontrol to a Single-Pan Kilogram Comparator, by R. S. Davis, 6 pages. |
| 88-9 | IMGC (Italie). — Report on the Activities of the « High Pressure » Working Group of CCM from June 1985 to May 1988, by G. F. Molinar, 16 pages. |
| 88-10 | IMM (URSS). — Stability Analysis of the Adsorbed Film Mass on the Surface of Standard Weights, by V. Ja. Kuzmin, V. S. Sniegov and A. P. Shchelkin, 7 pages. |
| 88-11 | IMM (URSS). — Precision Measurement Methods used for Mass Standard Comparisons, by V. Ja. Kuzmin and A. P. Shchelkin, 10 pages. |
| 88-12 | IMM (URSS). — Extension of the Force Measurement Range for the Transfer of Measurements from the National Primary Standards to Precision Standards, by I. V. Putschkov, N. S. Tchalenko and A. P. Shchelkin, 4 pages. |
| 88-13 | IMGC (Italie). — Niobium as a Possible Constituent of Mass Standards, by M. Plassa and E. Olzi, 6 pages. |
| 88-14 | Report of Working Group WG-M5 (The density of liquids and solids), by K. Iizuka and R. Masui, 2 pages. |
| 88-15 | Rapport des travaux du Groupe de travail Masse-4 (Étalons en acier inoxydable), par M. Plassa, 24 pages. |
| 88-16 | IMGC (Italie). — The surface stability of austenitic stainless steel for metrological applications, by M. Bergoglio, A. Calcatelli, M. Plassa and A. Torino, 14 pages. |
| 88-17 | IMGC (Italie). — Advance in density measurements by means of an automatic hydrostatic-weighing system of 100 g capacity, by G. Birello, A. Cappa, M. Mosca, S. Pettorruso and A. Peuto, 23 pages. |
| 88-18 | BIPM. — A search for a short-range, isospin coupling component of the fifth force using a beam balance, by C. C. Speake and T. J. Quinn (<i>Phys. Rev. Letters</i> , 61 , 1988, pp. 1340-1343). |
| 88-18 bis | BIPM. — Fifth-force experiment using the flexure-strip balance (Summary with additional figures), by C. C. Speake and T. J. Quinn, 8 pages. |
| 88-19 | Final report on the intercomparison of nine national high vacuum standards under the auspices of the Bureau International des Poids et Mesures, by W. Jitschin, 16 pages. |
| 88-20 | Report of Working Group Force, by M. Peters, 27 pages. |
| 88-21 | Primary Barometers and the BIPM International Intercomparison in the Pressure Region 10 kPa to 110 kPa, by P. R. Stuart, 9 pages. |
| 88-22 | Activities of the Low Pressure Working Group through May 1988, by C. R. Tilford, 3 pages. |

Notice for the reader of the English version

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

Avertissement au lecteur de la version anglaise

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

THE BIPM AND THE CONVENTION DU MÈTRE

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

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

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

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

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

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

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

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

The activities of BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement for electricity (1927), photometry (1937), and ionizing radiations (1960). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929 and two new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories.

* As of 31 December 1988 forty-seven States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia; Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, German Democratic Rep., Germany (Federal Rep. of), Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep.), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

Some forty physicists or technicians are working in the BIPM laboratories. They are mainly conducting metrological research, international comparisons of realizations of units and the checking of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in *Procès-Verbaux des séances du Comité International* gives the details of the work in progress. BIPM's annual appropriation is of the order of 17 000 000 gold francs, approximately 31 000 000 French francs (in 1988).

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

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

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

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

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

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

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

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

AGENDA
for the 3rd meeting

1. Opening of the meeting.
 2. Designation of a rapporteur.
 3. Approval of the agenda.
 4. Reports of the Mass Working Groups :
 - a) GT2 — Direct measurement of air density ;
 - b) GT3 — Maintenance of mass standards ;
 - c) GT4 — Stainless-steel mass standards ;
 - d) GT5 — Density of liquids and solids.
 5. Report of the Force Working Group.
 6. Reports of the Pressure Working Groups :
 - a) High pressures ;
 - b) Medium pressures ;
 - c) Low pressures ;
 - d) Very low pressures.
 7. Third periodic comparison of national prototypes.
 8. Developments of prototype balances.
 9. Working Groups membership.
 10. Miscellaneous :
 - a) Publication of documents ;
 - b) Report to the CIPM and Recommendations ;
 - c) Future meeting ;
 - d) Developments affecting the formula adopted by the CIPM in 1981 for the density of moist air.
-

REPORT
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES
(3rd Meeting — 1988)
TO THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
by R. S. DAVIS, Rapporteur

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) held its third meeting at the Bureau International des Poids et Mesures, at Sèvres, on Thursday the 26th and Friday the 27th of May, 1988.

Present :

In the absence of A. BRAY (excused), member of the CIPM and President of the CCM, Mr P. GIACOMO, Director of the BIPM and member by right of the CCM, presided over the meeting.

The delegates from member laboratories :

Bureau National de Métrologie, Paris: Institut National de Métrologie [INM] du Conservatoire National des Arts et Métiers (P. RIÉTY, C. MORILLON).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (E. C. MORRIS).

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Leningrad (A. P. SHVOLKIN, Yu. A. ATANOV).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (M. PLASSA, G. F. MOLINAR).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. S. DAVIS, C. R. TILFORD).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (R. WILSON, P. R. STUART).

National Research Council [NRC], Ottawa (G. D. CHAPMAN).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tsukuba (R. MASUI).

Office Fédéral de Métrologie [OFMET], Wabern (J.-G. ULRICH).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(M. PETERS, M. GLÄSER, W. JITSCHIN).
Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. MUIJLWIJK).

Invited :

Organisation Internationale de Métrologie Légale [OIML], Paris
(F. PETIK).
Statens Provningsanstalt [SP], Borås (L. R. PENDRILL).

Also attending the meeting :

Laboratoire National d'Essais [LNE], Paris (J. C. LEGRAS).
Országos Mérésügyi Hivatal [OMH], Budapest (P. BÖLÖNI).
T. J. QUINN, deputy director of the BIPM ; G. GIRARD, J. BONHOURE
[BIPM].

Excused :

A. Bray, President of the CCM.
Československý Metrologický Ústav, Bratislava (R. Spurný).

Absent :

National Institute of Metrology, Beijing.

1. Opening of the Meeting

Mr. Giacomo opens the meeting and announces that ill health prevents Mr. Bray from assuming his duties as president. At the request of Mr. Bray, Mr. Giacomo has agreed to preside over the meeting. The committee decides to send a telex to Mr. Bray wishing him well.

The Acting President then informs the committee of the death last February of D. B. Prowse (CSIRO). Mr. Prowse had, until his death, served as the delegate from the CSIRO and as chairman of Working Group 2. This sad news is acknowledged by a moment of silence.

The Acting President introduces the invited guests and observers to the committee after which Mr. Davis is nominated as rapporteur and the agenda is approved with minor amendments.

2. Reports of the Working Groups

In accordance with the agenda which has been adopted, the Acting President asks for the reports of the Working Groups.

2.1. Direct measurement of air density

Owing to the death of D. B. Prowse, there is no formal report from Working Group 2. However, the Acting President notes that Mr. Pendrill has submitted a document (CCM/88-7) which describes research pertinent to the Working Group. Mr. Pendrill then provides a summary of his work.

By means of laser refractometry, he has determined the density of air in order to make buoyancy corrections between the Swedish prototype kilogram and stainless-steel standards. The theoretical foundations for linking air density with the refractive index of air at the laser frequency have been examined. At present, the technique requires one independent measurement of air density. Subsequent changes in the air density are then conveniently monitored by laser refractometry as long as the changes in the relative humidity do not exceed 2 percent.

Mr. Pendrill concludes that use of the technique that he has developed leads to an uncertainty of about 0.01 mg in the buoyancy correction between 90/10 Pt-Ir and stainless-steel kilograms.

Mr. Wilson states that the NPL is constructing two artifacts which are intended for use in a direct determination of air density. The relative uncertainty in a measurement of air density near sea level is expected to be 10^{-5} .

2.2. Maintenance of mass standards

Mr. Girard refers to document CCM/88-3. In addition, the Working Group had met at the BIPM on the previous day (25 May 1988) and several topics were discussed, among them: methods of cleaning and storing the prototypes; effects of humidity; and stability of the prototypes. New developments in balances are also pertinent to this Working Group but this topic is specifically addressed later in the agenda.

Methods of cleaning and conservation

The BIPM no longer uses benzene to clean the prototypes. Instead, a mixture of equal parts of alcohol and ether is used. This is, as before, followed by steam cleaning in a jet formed from bi-distilled water. It seems that a minimum of two weeks is required for the mass of a newly-cleaned prototype to stabilize.

Several laboratories (INM, NBS, BIPM) have reported use of a storage enclosure which only allows air exchange through a filter of fine porosity. Mr. Gläser reports that the PTB has also tried such a scheme but that after some time the air within the enclosure smelled stale and so the idea was abandoned. After some discussion, it was decided that a filtered enclosure should be designed, built, and used to

store two of the *témoins* to the international prototype. It will then be possible to test whether prototypes stored in the new enclosures are affected by surface pollution to the same extent as prototypes stored in the conventional enclosure.

Effect of humidity

The level of humidity in most national laboratories falls within a range from 20 to 60 percent. The effects of humidity on the measured difference between 90/10 Pt-Ir prototypes and stainless-steel kilograms have, in previous years, been studied by the PTB and the NRLM. New experimental results have been submitted to the Working Group by the VNIIM (CCM/88-10). In view of the collected body of experimental data, the Working Group has created a task force to recommend a formula which will correct mass comparisons between 90/10 Pt-Ir and stainless-steel kilograms to a nominal relative humidity of 50 percent.

Mass stability

Both the PTB and the NPL report that the mass of a prototype kilogram grows due to pollution by about $3 \mu\text{g}/\text{year}$ (CCM/88-3, Appendices 1 and 2). The BIPM has, for a number of years, made it a practice to determine the mass of a national prototype before it is cleaned and again after it is cleaned. The results of these measurements are summarized in Appendix 3 of CCM/88-3. The major conclusions of the BIPM studies are: 1. Prototypes which have a good surface finish and which are stored in a reasonably clean atmosphere gain mass at a rate of about $1 \mu\text{g}/\text{year}$. 2. The changes in mass are more rapid in the period immediately following a cleaning.

Mr. Girard concludes by recalling Resolution 2 of the 18th CGPM which recommends that laboratories undertake studies of the behaviour and composition of surfaces of 90/10 Pt-Ir alloy and other alloys used for mass standards.

Mr. Gläser adds that the Working Group also had a lengthy discussion of the links between electrical and mechanical units. He suggests that metrologists involved with precision mass and electrical measurements would benefit by a discussion of common problems and interests.

Mr. Quinn suggests that a review of the changes in the representations of electrical units scheduled for 1 January 1990 would be pertinent to this discussion. He explains that, although Josephson voltages and quantized Hall resistances can be measured with an imprecision of 1 to 3×10^{-8} , the SI realizations of the units of voltage and resistance are an order of magnitude less accurate. Therefore conventional values of $2e/h$ and h/e^2 will be defined. This procedure is roughly analogous to defining a practical temperature scale which can be realized with greater precision than thermodynamic temperature. Mr. Quinn also

makes the committee aware that on 1 January 1990 the IPTS-68 will be replaced by the ITS-90. The two temperature scales are identical at the triple point of water. At higher temperatures, the differences in the scales are approximately the following:

t	$T_{90} - T_{68}$
20 °C	— 5 mK
100 °C	— 25 mK

Tables relating the density of water or mercury to temperature on the IPTS-68 will, therefore, require a slight revision.

A great deal of discussion ensues concerning Mr. Gläser's suggestion that the committee take a formal interest in recent developments linking the electrical and mechanical units. Some members propose that a working group of the CCM or a joint working group of the CCM and the CCE (Comité Consultatif d'Électricité) be formed to explore the possibilities for realizing a mass standard by means of a current or voltage balance. Mr. Peters suggests that it would be useful at the very least to know what level of accuracy is now possible with voltage or current balances. Mr. Giacomo, however, points out that the purpose of the consultative committees is to make specific recommendations; not to serve as scientific conferences. He notes that the CCE will meet in September 1988 and proposes that we submit the report of our committee meeting to the CCE along with our wish that they also consider this matter.

2.3. Stainless-steel mass standards

Mrs. Plassa refers to the report of Working Group 4 (CCM/88-15) and related documents (CCM/88-13, CCM/88-16). The Working Group has not met recently but members have, nevertheless, kept in contact through exchanges of written information. Surface studies (including corrosion tests) of stainless-steel alloys and so-called superalloys have been carried out by several laboratories. In addition, new materials have been studied. These include stainless steels with tantalum ion implantation, and niobium.

Surface studies

From corrosion tests and other surface studies, it can be concluded that stainless steels with chromium and nickel content each greater than 20 percent have good mass stability. The stability of superalloys — specifically Alacrite and Nimonic 105 — is also good. There is no obvious reason, so far, to prefer any one of these materials.

Mrs. Plassa explains that there is a practical problem of correlating results of accelerated corrosion testing with behaviour under normal

laboratory conditions. With this preface, she reports preliminary results at the IMGCC which rank the alloys studied (in descending order of stability) as follows: Nimonic 105; stainless steels with sufficient nickel and chromium; Nimonic 80. Studies undertaken at the NRLM show that weights made of metal sheet are less stable than weights made of bulk metal.

Several laboratories have applied new techniques to surface studies of alloys used as mass standards. Auger spectroscopy (AES), electrochemistry, and heat treatment in vacuum have been used at the IMGCC. At the NPL, secondary-ion mass spectrometry (SIMS) has been used to study the surface contamination of machined platinum-iridium alloys. Ellipsometry measurements at the PTB, though preliminary, show promise of great utility. Ellipsometry is a non-destructive measurement which need not be made under vacuum conditions. Mr. Gläser adds that ellipsometry results which can be explained by a film growing on a metal surface correlate well with the observed mass increase. Ellipsometry measurements are seen to have higher sensitivity than analyses by weight.

New materials

Mrs. Plassa reports that research is being carried out at the NRLM on stainless-steel alloys subjected to tantalum ion implantation. Preliminary results of this study are not yet available.

Niobium (density $8\,600\text{ kg/m}^3$) has been selected for study at the IMGCC. Mrs. Plassa gives her opinion that either pure elements or binary alloys are good candidates for research because they can be manufactured in small lots at modest cost. She summarizes the physico-chemical properties of niobium as well as her plans to study the mass stability of the metal.

2.4. Density of liquids and solids

Mr. Masui begins by reviewing the numerous changes in the personnel of this Working Group. In particular, Mr. Iizuka has resigned his duties as chairman. In order that the activities of the Working Group proceed despite his resignation, Mr. Iizuka asked Mr. Masui to chair the meeting of the Working Group on Wednesday (25 May 1988) and to present this report to the committee. Mr. Masui refers to document CCM/88-14 which he supplements with reports from the Wednesday meeting:

Report of the Working Group meeting

Mrs. Peuto (IMGCC) presented results of a density round robin, involving seven laboratories, which was carried out within the framework of the Community Bureau of Reference (BCR) of the European

Economic Community (EEC). Results obtained indicate coincidence (within 10^{-6}) of values obtained by direct measurements of mass and length with values obtained by hydrostatic weighing referred to water density as given in the table of Bigg.

Mr. Gläser reviewed density comparisons between the PTB and the CSIRO. The object compared was a sphere of glass of very low coefficient of expansion. At the PTB, the volume of this object was determined against that of a cube of known density by means of hydrostatic weighing in a fluorinated liquid. The volume was also determined by direct dimensional measurement. The two volume measurements differed by about 0.6×10^{-6} and bracketed the results obtained at the CSIRO.

Mr. Morris reported that his laboratory (CSIRO) has compared the density of a sample of its mercury with a sample supplied by the NBS. Both samples were initially standardized by A. H. Cook at the NPL almost 30 years ago. The density difference measured by Cook is confirmed by the CSIRO to within Cook's uncertainty.

The density of water has been measured at the NRLM and these results were reviewed.

The density of water has now been measured over extended temperature ranges by the CSIRO and the NRLM. In view of this, Mr. Masui reports that the Working Group has established a task group which will compile a new table for the density of water based on these measurements and on the new practical temperature scale (ITS-90). The Working Group also recognizes the importance of mercury density to metrology and therefore encourages members and others to investigate this topic.

International comparisons

The chief activity of the Working Group has been a comparison of density measurements involving all the members, with NBS acting as pilot laboratory. Mr. Masui asks Mr. Davis to summarize the results of these measurements.

Mr. Davis explains that the following artifacts were made available to various participating laboratories: two stainless-steel cylinders (1 kg); two large silicon cylinders (800 g) and two small silicon cylinders (200 g). Using hydrostatic weighing, each laboratory measured the density of one stainless-steel artifact and one silicon artifact if these could be accommodated by existing apparatus. Measurements were referred to solid-object density standards if these were available at the laboratory. Water (Bigg's formula) was also used as a density standard, corrections being made for dissolved air, isotopic variation and pressure head.

An interim report was prepared for the Working Group; final results are not yet available. Nevertheless, the comparisons are sufficiently complete that two points can be made: 1. There is higher uniformity

among measurements of silicon density than among measurements of stainless-steel density and 2. Agreement between measurements based on water and measurements based on solid objects would have been significantly improved had the water densities found at either the CSIRO or the NRLM been used instead of Bigg's table. Mr. Davis notes, however, that this last observation is completely contradicted by the BCR results described above. A final report should be available within the next six months.

2.5. Force

Mr. Peters refers to the written report of the Working Group, CCM/88-20. The Working Group met from 3 May to 5 May 1988 in Berlin, GDR. More than 20 delegates attended the meeting, which had as its topic «uncertainty in force measurements».

Mr. Peters explains that the Working Group has concentrated on comparison measurements in the range 100 kN to 1 MN because of the industrial importance of this region. The group was formed in 1978 and now includes 20 countries. At the last CCM meeting it was decided that comparison measurements between the PTB and the Amt für Standardisierung Messwesen und Warenprüfung (ASMW, Berlin) would effectively link measurements between members in western and eastern countries since they would then be traceable either to the PTB or the ASMW. Mr. Peters reports that this effort has been successfully completed.

In the course of the comparisons among countries, several new problems and effects have been elucidated. These include torques, side forces, rotations, and geometric imperfections interfering with the desired transducer response. In addition, Mr. Peters describes an «overlapping» effect whereby results from different transducers fail to agree within an overlapping range common to both instruments. It is necessary, he says, either to find the reason for this unexpected discrepancy or to agree on an expanded uncertainty.

Mr. Peters then illustrates all these effects by making reference to the figures in CCM/88-20. He adds that at the PTB every force transducer was loaded every week or every two weeks throughout a nine-year period. This conditioning is important for achieving good reproducibility. It is also necessary to make sure the transducer is loaded in the same manner every time it is used. Without any modifications to the equipment itself, a fivefold improvement in precision is possible by following the procedures outlined in the written report.

The Working Group has concluded that after 40 years of effort there is now world-wide agreement about the uncertainty of force-standard machines, as indicated in the following conclusions:

1. It has been found experimentally that there is an interaction between a force transducer and a force-standard machine.

2. Force-standard machines should produce forces in the direction coinciding with the mechanical axis of symmetry of the machine. This requirement may not be achieved in practice when a force transducer is positioned in a machine. As a result, a moment of force may act on the transducer and influence its output. The output depends also on the behaviour of the surfaces transferring the force from the machine to the transducer. These phenomena are generally called the interaction between the force transducer and the force-standard machine.
3. The output from a force transducer will not only be a function of the theoretically calculated force, but will depend also on this interaction.
4. The theoretical uncertainties of the deadweight force-standard machines in accordance with Recommendation 1 (CI-1986) given by the national laboratories were less than or equal to $\pm 2 \times 10^{-5}$.
5. Practical results from the comparisons of forces up to 1 MN made in the period 1980-1988 between 10 deadweight force-standard machines using the best available procedures and equipment showed relative differences from the mean value of $\pm 5 \times 10^{-5}$.
6. In practice, when deadweight force-standard machines are used to calibrate force transducers, differences between the results obtained in different machines will generally be significantly greater.
7. The theoretical uncertainties of lever and hydraulic-amplification force-standard machines given by the national laboratories varied between $\pm 1 \times 10^{-4}$ and $\pm 5 \times 10^{-4}$.
8. Comparisons of forces up to 1 MN were made in the period 1980-1988 between 8 lever and 7 hydraulic-amplification force-standard machines using the same procedure and equipment used for the comparison of the deadweight force-standard machines. The results showed relative differences of $\pm 5 \times 10^{-4}$ from the mean value obtained in the comparison of deadweight force-standard machines.
9. The uncertainties with which these comparisons were made were of the same order as for the deadweight machines — about $\pm 5 \times 10^{-5}$. The differences from the mean value were mainly due to errors in the lever and hydraulic machines.
10. Only two comparisons were made with «build up» systems. These results have shown that this method should be considered as a good method for intercomparisons with machines with

capacities greater than 1 MN and that further work should be undertaken. Attention must be given to the design, construction and calibration of build-up systems.

Mr Peters, noting the vast amount of effort necessary to support these conclusions, adds that the Working Group will publish a book-length report giving full details and support for all the major assertions given in CCM/88-20. This project should be complete by the end of 1988.

Future activities of the Working Group will focus on different machine technologies which can be used to produce larger forces than those previously studied.

In the following discussion Mr. Molinar, speaking on behalf of Mr. Bray, congratulates Mr. Peters and thanks him for his accomplishments since the last CCM meeting. Mr. Molinar then asks if uncertainties in force measurement have now achieved an adequate level. Mr. Peters replies that the greatest industrial interest is in the region studied, 100 kN to 1 MN. The needs of industry can, it seems, be met by deadweight machines in this region. Nevertheless, improved accuracy to 5 MN would be useful. Mr. Peters then explains some of the new technical and logistical problems which would be encountered in extending international comparisons above 1 MN.

2.6. High pressures

Mr. Molinar refers to the written report of his Working Group (CCM/88-9) and adds that this was, of necessity, written before the meeting of the Working Group earlier this week (24-25 May) at the LNE. Twenty-seven participants from 14 countries attended this meeting of the Working Group and a seminar. The 22 papers dealing with high-pressure metrology (piston-gauge comparisons, transfer standards, transducers, dynamic pressure measurements, fixed points) which were presented will be published as a monograph.

The principal activity of the Working Group has been an international round robin, involving four phases, which began in May 1981 and will end in 1988. The range of pressures studied is from 20 to 100 MPa. Results from the earlier phases have recently appeared in *Metrologia*, **25**, No 1, 1988, pp. 21-28. Mr. Molinar now reviews results obtained from the participating laboratories.

The transfer standard was an oil-operated pressure balance. The piston area extrapolated to zero applied pressure agreed among all laboratories to 204×10^{-6} . Nine of these results agree to within 53×10^{-6} . It is well known that the piston area at 100 MPa differs from that extrapolated to zero pressure. This difference may be formally treated by means of a pressure distortion coefficient. The overall agreement among participating laboratories for piston area at 100 MPa

was only within 414×10^{-6} although eight laboratories agree to within 78×10^{-6} . These results indicate that a better knowledge of the pressure distortion coefficient is required in order to improve the agreement among laboratories. An additional and unforeseen problem was that the area of the piston of the transfer standard changed with time. In order to compare results from various laboratories it was necessary to assume that these changes were continuous. The results of the pilot laboratory were fitted and used as references.

The Working Group has agreed that the following activities will now be pursued: 1. Completion of the comparisons in the range up to 100 MPa up to completion of the fourth phase. No other comparison phases will be organized in this pressure range; 2. Improvement of the experimental and theoretical understanding of the pressure distortion coefficient; and 3. Organization of an international comparison of pressures up to 700 MPa.

Mr. Molinar indicates that work on the third activity is already under way. Of the 21 laboratories that have been asked whether they wish to participate, 14 are interested. The interested laboratories have been organized into three regional groups, each with its own pilot laboratory and transfer standard. The three groups are: A. Western Europe; B. Eastern Europe; and C. Others. Group B has already completed its comparisons with the Gosstandart-VNIIFTRI (Moscow, USSR) acting as pilot.

Additional areas of interest to Working Group members include the investigation of systematic effects due to the pressure medium used in gauge and absolute pressure measurements up to 0.1 to 0.3 MPa, improvement of transfer standards (transducers and multipliers), and the measurement of pressures under dynamic conditions.

Concerning the observed areal changes in the transfer standard with respect to time, Mr. Peters points out that analogous effects are seen with some types of force transducers. Exercising these transducers at regular intervals improves their stability.

2.7. Medium pressures

Mr. Stuart refers to documents CCM/88-2 and CCM/88-21. The concern of this Working Group is the pressure range from 1 kPa to 1 MPa. The initial activity of the Working Group has been to organize international comparisons in the range 10 kPa to 100 kPa in the absolute mode with an option to work in the gauge mode. This decade was selected because of its scientific and commercial importance.

The three major problems in primary barometry, Mr. Stuart continues, are the following:

1. Measurement of the difference in heights of the mercury surfaces in the presence of ambient vibrations.

2. Minimizing the tilt of the barometer as mercury is transferred between columns.
3. Measurement and control of the mean temperature of the mercury. (A 5 mK error leads to a 1×10^{-6} error in pressure at 100 kPa.)

The primary barometers at the laboratories that have participated to date (NPL, BIPM, INM, CSMU, CSIRO, and NBS) are reviewed. Comparison of these devices at their estimated levels of accuracy puts stringent requirements on a transfer standard. The transfer standard used was a gas-operated piston gauge the base of which was specially constructed for these measurements. Mr. Stuart states that the ultimate stability of the transfer standard, as assessed by the pilot laboratory (NPL), is impressive.

The results of the comparison obtained thus far are then reviewed. A graphical representation of measurements of effective area as a function of pressure, obtained by the participating laboratories, is displayed (Fig. 6, CCM/88-21). The graph clearly indicates that one participant had a significant error which was proportional to pressure. A second laboratory agreed well with the pilot at high pressures but diverged significantly as pressure was reduced. The fact that such errors are seen to be present shows the utility of the comparisons. Other laboratories will participate in the future.

Mr. Stuart then reviews the possibility of extending comparisons up to a pressure of 1 MPa and/or down to a pressure of 1 kPa. In the former case, the Working Group has identified possible transfer standards but no laboratory has, as yet, agreed to pilot the comparisons. In the latter case, further research is required in order to find a suitable transfer standard.

In reply to a question posed by Mr. Quinn, Mr. Stuart indicates that the comparisons from 10 kPa to 100 kPa are now nearly half completed. The nature of these measurements imposes a practical limit of four participating laboratories per year.

Mr. Riéty notes that he has studied a piston gauge whose diameter is larger than usual and is thus able to be measured with increased accuracy. This device has an uncertainty of 0.3 to 0.5 Pa when operated in the gauge mode, leading Mr. Riéty to wonder whether such instruments may one day replace mercury barometers as primary standards.

2.8. Low pressures

Mr. Tilford explains that, as the Working Group met earlier in the week, a written report is not yet available but will be submitted in the near future [note: CCM/88-22 was received at the BIPM on 9 June 1988]. He reminds the committee that the pressure range of concern to the Working Group, 1 to 1000 Pa, has considerable technical interest.

In part, this is because this region represents the transition between « pressure » measurements and « vacuum » measurements.

Initial efforts of the Working Group were to organize comparisons with the NBS acting as pilot laboratory. Capacitance diaphragm gauges (CDGs) were chosen as transfer standards. The stability of these devices proved to be an order of magnitude worse than anticipated, however, so that several years were spent studying this problem. At the end of this period, the CDGs had stabilized sufficiently for comparisons to begin. Four laboratories participated. Two of these relied on mercury manometers and two on series-expansion standards.

It was not possible for each laboratory to make measurements at all the agreed-upon pressures. Thus, in order for results to be compared, data from individual laboratories were first fitted to a smooth curve. Non-linearities in the transducer limit the success of this strategy, however. It now appears that the fitting procedures have produced reliable comparisons only in the upper portion of the pressure range. In this region, three laboratories agree to within about 0.1-0.3 percent while the fourth departs by about 0.4 percent (about three standard deviations). Two of the participating laboratories are making modifications to their standards after which they will remeasure the transfer standard.

Mr. Jitschin asks if the work done to date has been documented. Mr. Tilford replies that a written report to the committee [*viz.* CCM/88-22] will summarize the measurements to date.

2.9. Very low pressures

Mr. Jitschin explains that he has assumed the chairmanship of the Working Group upon the retirement of Mr. Messer. In his report, Mr. Jitschin refers to documents CCM/88-1, -4, and -19. The Working Group met last Tuesday (24 May 1988). The major activity in recent years has been an international comparison of pressure measurements in the range 10^{-4} to 1 Pa. The final report of this activity has been prepared in draft form (*viz.* CCM/88-19).

Mr. Jitschin then summarizes the results of the comparison. The transfer standard which was used is an ensemble of four spinning-rotor gauges. All nine participating laboratories have made measurements using argon as the test gas and, in addition, five laboratories duplicated their measurements using H_2 . The stability of the transfer standard was expected to be inferior to that of primary standards so that a « star » comparison was used; that is, the transfer standard was measured by the pilot laboratory (PTB, Berlin) immediately before and after the measurements of each participating laboratory. Even so, in some cases overseas shipment of the rotor balls resulted in intolerable changes in their operating characteristics. The problem of shipping was subsequently studied and solved, so that the comparisons have now been successfully completed.

All laboratories agree to within 3 percent of the pilot-laboratory values. The stability of the transfer standard is an order of magnitude better than this number. Although some systematic differences are observed in results between laboratories, these differences are within the assigned uncertainties.

Mr. Jitschin reports that there is interest among some laboratories in extending the comparisons to lower pressures, but a new transfer standard must be found for this activity. There are, at present, two possibilities: the NBS has offered to look at the suitability of a Bayard-Alpert type gauge and the PTB is studying an ion-extraction device.

After the report there is some discussion of the observed instability in the transfer standards. Mr. Jitschin speculates that the surfaces of the spheres may have been changed during transport. Mr. Tilford notes that there are problems in analysing the data since the observed shifts in the transfer standards were highly correlated.

3. 3rd verification of national prototypes

Mr. Girard gives the following summary: The 15th, 16th and 17th CGPM adopted resolutions asking laboratories to undertake studies that would lead to improved conservation and dissemination of the mass unit. One goal of these studies, already anticipated by the 15th CGPM, is the organization of a new verification of the national prototypes. In 1987 the 18th CGPM recognized that progress in maintaining and disseminating the mass unit is now sufficient to permit the BIPM to begin a new comparison of the *témoins* and working standards with the international prototype. In addition, Resolution 1 of the 18th CGPM announced the 3rd verification of national prototypes. The BIPM, for its part, has devised the following plan in response to the CGPM recommendations: cleaning studies involving the international prototype will begin in the near future. These measurements require about five months of effort and thus should be completed by the spring of 1989. It is, therefore, tentatively proposed that laboratories send their national prototypes to the BIPM by the autumn of 1989. The mass of all artifacts will be determined both before and after cleaning (*nettoyage-lavage*).

Mr. Giacomo points out that measurements related to the verification will completely occupy the mass-calibration schedule of the BIPM for a period of three to four years. He adds that, depending on the number of participating countries, it might be necessary to divide the national prototypes into two groups. There are, nevertheless, good metrological reasons for holding all national standards at the BIPM until the end of the verification. In order to avoid customs difficulties, Mr. Giacomo recommends that the national prototypes be shipped under diplomatic

seal. He points out that the special documents normally used to facilitate temporary international transfers of equipment have a duration of only one year.

In response to questions from various delegates, Mr. Giacomo makes the following additional comments: the verification will be limited to a single prototype from each participating country; it is still premature to schedule the delivery of the national prototypes; if a national laboratory does not have custody of or access to its country's official prototype, the *de facto* mass standard should be sent to the BIPM immediately after the international verification has been completed.

Mr. Quinn specifies that the mass comparisons will be carried out on the NBS-2 balance, which currently has a standard deviation of less than 1 μg . A few technical matters, for instance the number of times each national prototype will be cleaned, are presently unresolved.

Mr. Gläser points out that there was a delay of ten years before publication of results from the 2nd verification of national prototypes. He asks whether results of the new verification will be available sooner. Mr. Girard explains that the delay referred to by Mr. Gläser involved only the detailed report of the 2nd verification. The essential information, i.e. the mass of each prototype, was communicated to the respective countries as soon as the work was completed. The list of the new values for the prototypes was ratified by the 9th CGPM in 1948 and the 10th CGPM in 1954.

4. Balance studies

The Acting President then directs the committee toward a discussion of research on and development of balances.

4.1. PTB 10 kg balance

Referring to document CCM/88-6, Mr. Gläser describes the successful development at the PTB of a new top-loading, 10 kg balance. The balance uses electromagnetic servocontrol of a beam having flexure pivots. The standard deviation of a single measurement is between 5 and 10×10^{-9} . A special weight-changing mechanism and the occasional addition of a 5 kg tare below the balance pan allow calibration of a set containing 1, 2, 5 and 10 kg weights. All comparisons are, of course, made at a nominal load of 10 kg. Mr. Gläser shows an example of such a calibration. In response to a question from Mr. Morris, Mr. Gläser says that the Sartorius company now manufactures a commercial balance with many of the features of the device reported by the PTB.

4.2. Comparison of a balance with and without servocontrol

Next, Mr. Davis reviews document CCM/88-8. This report describes the benefits gained from adding a conventional electromagnetic servocontrol to the NBS primary kilogram comparator. The mechanical design of this balance is qualitatively similar to that of NBS-2. Two major benefits were gained from the addition of the servocontrol system: annoying effects usually attributed to plastic deformation of the knife-edges are no longer evident; and the standard deviation has improved. Mr. Davis adds that the improvement in precision is probably not due to the servocontrol itself but rather to the fact the servocontrol has allowed the balance to be completely automated and to be adjusted so that the load on the knife-edges remains more nearly constant.

4.3. Fifth-force experiment

Mr. Quinn then describes the remarkable results that he and Mr. Speake (BIPM) have achieved using a flexure balance. Referring to documents CCM/88-18 and -18bis, Mr. Quinn explains that the apparatus was used to test for the existence of a « fifth force » (a null result was obtained). The experience gained in these measurements has relevance to precision mass metrology for the following two reasons: 1. The balance achieved an imprecision of 7×10^{-12} ; and, 2. Even at this unprecedented level, the limiting problem appears not to be the balance itself but rather slight non-uniformities in the temperature within the balance case. All measurements were carried out at reduced atmospheric pressure (about 1 kPa).

In conjunction with this work, the theoretical limits expected of beam balances were determined (Mr. Speake in *Proc. R. Soc. London A*, **414**, 1987, pp.333-358) and the anelasticity of flexures at low frequencies was measured (Mr. Quinn and Mr. Speake, in *Rapport BIPM-87/3*).

4.4. Hydrostatic balance

Mrs. Plassa, referring to document CCM/88-17, describes the development at IMGC of an automated hydrostatic balance. A servocontrol system was added to a modified commercial balance of 100 g capacity. Automatic loading and unloading of the balance both in air and in water have also been incorporated. The balance now operates with a precision of better than 10 µg for weighings either in air or in liquid, a significant improvement over its initial capability. The success of this balance will lead to an improvement in the ease with which the density of small samples may be determined. As an example, the report shows the density determination of two specimens

of niobium using the new hydrostatic balance. The samples have a nominal volume of only 2 cm³; in spite of their small size, their densities were measured to 10×10^{-6} using the new apparatus. Development is continuing with a study of thermal effects on the apparatus.

4.5. Discussion

Mr. Chapman reports that an automated kilogram comparator has been in use at the NRC since June 1987. A Borda weighing scheme is used on a Rüprecht balance which has been fitted with an angle interferometer. Data are usually collected at night and in sufficient quantity so that results obtained during conditions of stable barometric pressure may be selected.

Mr. Wilson describes a new kilogram comparator being installed at the NPL. Its beam and pans are pivoted by means of flexure strips supplied by the BIPM. A weight table capable of holding eight kilograms has been developed by the NPL for use with this balance. Special weights designed to achieve a gravimetric determination of air density are also being fabricated for use with the balance. By the next meeting, Mr. Wilson expects to report that the imprecision of the balance is below 10^{-9} .

An inconclusive discussion then ensues concerning various surface phenomena which might be relevant to high-precision mass metrology.

5. Working Groups

The Acting President directs the committee's attention to re-establishing the composition and tasks of the various working groups.

Mr. Giacomo notes that there are, at present, nine Working Groups and suggests that this number may be too large. He also reminds the delegates that laboratories — not individuals — are members of the Working Groups. Thus, if a person loses his laboratory affiliation through retirement, a replacement must be found. In addition, the BIPM must be kept informed of changes in personnel within the Working Groups and should also receive copies of all correspondence carried out within the framework of the Working Groups.

The untimely death of D. B. Prowse has left Working Group 2 (Direct measurement of air density) without a chairman. The Acting President suggests that Working Groups 5 (Density of liquids and solids) and 2 can be merged. The delegates accept this plan, with Working Group 2 henceforth being designated « Density. » Mr. Masui states that, due to the retirement of Mr. Iizuka, he agreed to chair Working Group 5 through this meeting of the CCM; he has no wish, however, to remain chairman. Rather, he proposes that Mr. Davis

become chairman of the new Working Group 2. There being no other candidates for the chair, Mr. Davis accepts. It is agreed, upon Mr. Pendrill's request, that the Swedish National Testing Institute be added to the membership of Working Group 2 (*see* page G 21).

The possibility of merging Working Groups 3 (Maintenance of mass standards) and 4 (Stainless-steel mass standards) is raised. There is also some interest in reducing the number of the pressure Working Groups from four to three, but no acceptable way to do this is found.

It is ultimately decided that Working Groups 3 and 4 will merge and that Mrs. Plassa will become chairman of the combined group designed as « Mass standards » (*see* page G 21).

The disposition of the other established Working Groups is as follows : Mr. Peters remains chairman of Force. Mr. Molinar remains chairman of High Pressures. Mr. Stuart remains chairman of Medium Pressures, although he warns the delegates that his retirement from the NPL will take place in two years' time. Mr. Tilford retains the chair of Low Pressures and the IMGc and the PTB are added to the membership. Mr. Jitschin remains chairman of Very Low Pressures and the NBS is added as a member (*see* page G 22).

In view of the extensive work being done on balance development, some delegates believe a new Working Group devoted to balance technology would be helpful. Mr. Giacomo reminds the delegates that the purpose of the Working Groups is to advise the CIPM and not to exchange information. Mr. Quinn suggests that, rather than a formal Working Group, an informal balance « club » could be formed with membership open to all interested parties. This idea is accepted, with interest shown by the following laboratories : BIPM, IMGc, SP, INM, OMH, VSL, NRC, CSIRO, NPL, NRLM, NBS, PTB, and IMM.

6. Miscellaneous

6.1. Publication of documents

Mr. Giacomo reminds the delegates that final reports of comparisons which are carried out within the framework of the Working Groups are usually published. There are several possible avenues of publication, the most popular being : as a BIPM monograph ; as an appendix to the CCM report ; as an article in *Metrologia*. A document must be submitted as camera-ready copy if it is to be published as a BIPM monograph and, of course, SI units must be used. Even if not published as a BIPM monograph, final reports must be sent to the BIPM for its records.

6.2. Report to the CIPM and recommendations

The report of the 3rd meeting of the CCM will be submitted to the CIPM. The report does not include any specific recommendations for consideration by the CIPM.

6.3. Future Meeting

It is agreed that the CCM should meet again in approximately three years. Mr. Giacomo requests that all Working Groups provide an interim report to the BIPM by December 1989 and that the chairmen of Working Groups take care to send pertinent papers and reports to the BIPM, as well as notices and minutes of Working Group meetings.

6.4. Developments affecting the formula adopted by the CIPM in 1981 for the density of moist air

Mr. Davis notes that the equation-of-state for moist air which was recommended in 1981 by the CCM and approved by the CIPM (designated CIPM-81) contains the universal gas constant R and the thermodynamic temperature T . The CCM should be aware of the following developments : the recent report of the CODATA task group on fundamental constants has shifted the recommended value of R slightly ; the temperature scale will change slightly in 1990 (*see* p. G 37) : as noted at the 2nd meeting of the CCM, a recomputation of the pertinent virial coefficients has shifted their values slightly from those used to derive the CIPM-81 equation. All these changes are, however, experimentally negligible in comparisons of mass standards. After a brief discussion, it is the unanimous view of the delegates that these changes do not yet necessitate a revision of the CIPM-81 but pertinent experimental and theoretical developments should continue to be watched.

There being no other topics on the agenda, Mr. Giacomo closes the 3rd meeting of the CCM.

Members of the Working Groups of the CCM (1988)

See the complete list at the end of the French version of the report (page G 21).

APPENDIX G1

Working documents
submitted to the CCM at its 3rd Meeting
(*see* the list of documents on page G 24)

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES

3^e session (1988)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le volume	V
Le BIPM et la Convention du Mètre	VII
Liste des membres	IX
Ordre du jour	XII
Rapport au Comité international des poids et mesures, par R. S. Davis	G1
Ouverture de la session	2
Rapports des groupes de travail	2
Mesure directe de la masse volumique de l'air (réfractomètre laser)	3
Conservation des étalons de masse (méthodes de nettoyage ; effet de l'humidité, groupe d'étude ; stabilité des étalons de masse ; unités électriques et mécaniques)	3
Étalons de masse en acier inoxydable (analyse de surface ; nouveaux matériaux)	5
Masse volumique de liquides et solides (présentation de comparaisons bilatérales ; masse volumique du mercure ; masse volumique de l'eau, groupe chargé d'établir une table ; comparaisons internationales avec des étalons en acier inoxydable et en cristal de silicium)	7
Force (séminaire « Incertitude des mesures de force »)	8
Hautes pressions (séminaire ; comparaison internationale circulaire)	11
Moyennes pressions (comparaison en cours)	12
Basses pressions (comparaison en cours)	13
Très basses pressions (comparaison internationale, rapport final)	14
Troisième vérification périodique des prototypes nationaux	15
Études sur les balances	16
Balance de 10 kg de la PTB	16
Comparaison entre une balance asservie et non asservie	16
Expérience sur la cinquième force	17

Balance hydrostatique	17
Discussion (comparateur utilisé au NRC, au NPL)	18
Groupes de travail	18
Réorganisation ; Club sur les balances	19
Questions diverses	19
Publication des documents	19
Rapport au CIPM	20
Prochaine session du CCM	20
Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981).	20
Composition des groupes de travail du CCM	21
 Annexe	
G 1. Documents de travail présentés à la 3 ^e session du CCM	24
Notice for the reader of the English version. Avertissement au lecteur de la version anglaise	27
The BIPM and the Convention du Mètre	29
Agenda	32
Report to the Comité International des Poids et Mesures, by R. S. Davis	33
Opening of the meeting	34
Reports of the Working Groups	34
Direct measurement of air density (laser refractometer)	35
Maintenance of mass standards (methods of cleaning ; effect of humidity, study group ; stability of mass standards ; electrical and mechanical units).	35
Stainless-steel mass standards (surface studies ; new materials)	37
Density of liquids and solids (a review of bilateral comparisons ; density of mercury ; density of water, group to establish a table ; international comparisons with stainless-steel and silicon-crystal standards)	38
Force (seminar « Uncertainty in force measurements »)	40
High pressures (seminar ; international circular comparison).	42
Medium pressures (comparison in progress)	43
Low pressures (comparison in progress)	44
Very low pressures (international comparison, final report)	45
Third periodical verification of national prototypes	46
Balance studies	47
PTB 10 kg balance	47
Comparison of a balance with and without servocontrol	48
Fifth-force experiment	48
Hydrostatic balance	48
Discussion (comparator in use at the NRC, at the NPL)	49
Working Groups	49
Reorganization ; balance Club	50

Miscellaneous	50
Publication of documents	50
Report to the CIPM	51
Future meeting	51
Formula for the determination of density of moist air (1981)	51
Members of the Working Groups of the CCM	52

Appendix

G 1. Working documents submitted to the CCM at its 3rd meeting (<i>see page G 24</i>)	53
---	----
