

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE
ET LES GRANDEURS APPARENTÉES

Rapport de la 2^e session
1985

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

NOTICE
SUR LES ORGANES
DE 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 (1).

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

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

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

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit 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.

(1) Au 31 décembre 1985, 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 13 144 000 francs-or (en 1985), soit environ 23 850 000 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 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. PERLSTAIN, Membre du Comité International des Poids et Mesures.

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 (Grande-Bretagne).

NATIONAL RESEARCH LABORATORY OF METROLOGY [NRLM], Ibaraki (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 2^e session

1. Ouverture de la session :

- Désignation d'un rapporteur.
- Approbation de l'ordre du jour.

2. Rapports des Groupes de travail :

- Mesure directe de la masse volumique de l'air.
- Conservation des étalons de masse.
- Étalons de masse en acier inoxydable.
- Masse volumique de liquides et solides.
- Force.
- Hautes pressions.
- Moyennes pressions.
- Basses pressions.
- Très basses pressions.

3. Exposés :

- Nouveautés dans le domaine des balances prototypes.
- Recherches sur des matériaux servant à la réalisation d'étalons de masse.

4. Questions relatives au kilogramme :

- Travail préparatoire en vue de la 3^e comparaison périodique.
- Définition du kilogramme.
- Sanction des prototypes.

5. Questions diverses :

- Publication des documents.
 - Rapport au CIPM et Recommandations.
 - Groupes de travail.
 - Réunions ultérieures.
-

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES
(2^e session — 1985)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par M. KOCHSIEK, rapporteur

Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) a tenu sa deuxième session au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres, les mardi 18 juin et mercredi 19 juin 1985.

Étaient présents :

A. PERLSTAIN, membre du CIPM, président du CCM.

Les délégués des laboratoires membres :

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

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Bratislava (R. SPURNY).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (L. MUNRO).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (D. B. PROWSE).

Institut de Métrologie D.I. Mendéléev [IMM], Leningrad (I. V. PAVLOV).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (Luo Diming).

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

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. S. DAVIS, V. BEAN).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (S. J. BENNETT, P. R. STUART).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Ibaraki (K. IIZUKA).

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

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invités :

Organisation Internationale de Métrologie Légale [OIML], Paris
(F. PETIK).

Assistaient aussi à la session : T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM ;
J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM ; G. GIRARD, J. BONHOURE,
Mme M.-J. COARASA [BIPM].

1. Ouverture de la session

Le président ouvre la séance et souhaite la bienvenue aux participants.
Mr Kochsiek est nommé rapporteur et l'ordre du jour est adopté
après quelques permutations dans le déroulement chronologique.

2. Rapports des Groupes de travail

Le deuxième point de l'ordre du jour concerne les rapports des
Groupes de travail. Le Président demande donc à Mr Prowse de
présenter le rapport de son Groupe de travail :

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

Mr Prowse présente le document CCM/85-8. Un questionnaire sur
la mesure directe de la masse volumique de l'air a été envoyé à
quarante-quatre laboratoires du monde entier. Vingt-quatre de ces
laboratoires ont répondu à ce questionnaire. Les principales conclusions
sont résumées ci-après :

a) Dix-neuf laboratoires ont des étalons du kilogramme en platine
iridié.

b) Tous les laboratoires calculent la masse volumique de l'air à
partir de mesures de sa pression, de sa température, de son hygrométrie
et de sa teneur en CO₂. La plupart des laboratoires utilisent la nouvelle
formule recommandée par le CIPM. Deux laboratoires seulement utilisent
d'autres formules, et deux laboratoires n'ont pas répondu à cette
question.

De nombreux instruments sont utilisés pour les mesures. Onze
laboratoires mesurent la teneur en CO₂ (principalement avec des
analyseurs infra-rouge). Les incertitudes des mesures individuelles couvrent
les domaines suivants :

pression : ± 1 à ± 100 Pa, température : ± 2 à ± 200 mK,
humidité : $\pm 0,5$ à ± 10 %, teneur en CO₂ : ± 10 à $\pm 50 \times 10^{-6}$.

Douze laboratoires considèrent que cela n'est pas suffisant pour
leurs besoins actuels et futurs d'exactitude. Pour cinq laboratoires
seulement cela est suffisant ; ces cinq laboratoires ont tous des étalons
en acier inoxydable qui ont été étalonnés ailleurs.

Sept laboratoires se préparent actuellement à mesurer directement la
masse volumique de l'air, ou projettent de le faire. Un laboratoire
utilise des mesures directes dans ses mesures de masse de très haute
précision.

Six des laboratoires qui obtiennent les valeurs de la masse volumique
de l'air par mesure directe ont indiqué qu'ils utilisaient une méthode
mettant en jeu deux objets de masse voisine mais de volume différent.
L'incertitude varie de 1×10^{-3} à 2 ou 3×10^{-5} environ. La différence
entre la méthode de mesure directe et le calcul théorique est d'environ
 1×10^{-4} .

c) Dix-neuf laboratoires estiment qu'il est nécessaire de continuer
les recherches sur la mesure de la masse volumique de l'air. Voici
quelques-unes des suggestions faites :

— Recherches pour déterminer la masse volumique de l'air par pesée
directe.

— Il est nécessaire d'avoir une balance sous une pression constante
pour éliminer les variations à court terme de la pression atmosphérique.

— Pesées avec une balance de 20 g de masses de volumes différents
(platine et pyrex).

— Mesure de l'indice de réfraction.

— Densimètres constitués d'un tube vibrant.

— Recherches sur la composition de l'air à retenir pour une région.

— Comparaisons limitées aux étalons de masse de faible masse volumique.

— Comparaisons de masses sous vide ou dans des gaz purs.

— Estimation de la masse volumique de l'air à partir d'une détermination
de haute précision de la constante des gaz, R .

— Comparaison de masses de volumes différents ou mesure de quelque
propriété de l'air liée à sa masse volumique, comme l'indice de réfraction
par exemple.

— Des recherches de ce genre devraient être associées à des études sur
les effets superficiels dus à l'humidité ambiante (il conviendrait d'inclure
un échantillonnage plus large des étalons de masse utilisés actuellement).

— Poursuite de la mise au point de la méthode pondérale et unification
des mesures.

d) À la question de savoir s'il convenait de concevoir quelque équipement (par exemple deux objets de masse voisine mais de volume différent) à envoyer aux laboratoires comme moyen d'évaluer leur possibilité de mesurer la masse volumique de l'air, la plupart des laboratoires ont répondu par l'affirmative.

Une question se pose : faut-il porter les efforts sur l'amélioration des mesures de la masse volumique de l'air ou faut-il remplacer l'étalon primaire en platine iridié par un étalon en acier inoxydable ? Même si l'on utilise davantage l'acier inoxydable, tous les laboratoires n'abandonneront pas le platine iridié (en particulier le BIPM) ; il sera donc encore nécessaire de faire des mesures précises de masse volumique de l'air. D'ailleurs, la correction pour la poussée de l'air reste nécessaire dans toutes les mesures de masse de haute précision, et le remplacement suggéré ne modifie pas sensiblement le problème.

Il ressort de la discussion que les points suivants peuvent constituer des domaines dans lesquels le Groupe de travail devrait agir au cours des toutes prochaines années :

1. Les nouvelles balances, qui permettent d'obtenir une exactitude de $1\ \mu\text{g}$ ou moins et qui sont construites par un certain nombre de laboratoires, exigent effectivement des mesures plus exactes de la masse volumique de l'air.
2. Il convient de déterminer expérimentalement les limites de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air recommandée par le CIPM.
3. Il est préconisé de poursuivre des travaux sur les méthodes pour déterminer la masse volumique de l'air.
4. Il convient de poursuivre l'étude des effets de l'humidité et de l'état de surface des masses dans les comparaisons de masses.

Au cours de la discussion il est aussi fait référence aux documents CCM/85-6, CCM/85-9 et CCM/85-23.

Le président demande ensuite à Mr Girard de présenter le rapport sur l'activité de son Groupe de travail :

2.2. Conservation des étalons de masse

Mr Girard présente le document CCM/85-17. Les travaux de ce Groupe de travail ont porté sur les questions suivantes : méthodes de nettoyage, enceinte pour la conservation des étalons, effet de l'humidité sur la masse des étalons, polissage des étalons, schémas de comparaisons, prototypes de balances pour comparaisons de haute précision.

Méthodes de nettoyage

La méthode de nettoyage utilisée au BIPM semble très efficace. Les prototypes sont nettoyés au benzène et à l'alcool à l'aide de peaux de

chamois ; ils sont ensuite lavés sous un jet de vapeur d'eau bidistillée. Les résultats présentés par le BIPM montrent qu'il est nécessaire de procéder à ce nettoyage au moins deux fois. Tous les autres participants ont des problèmes de nettoyage. Très souvent les prototypes sont seulement nettoyés à l'aide d'un pinceau doux car on manque d'expérience à long terme en la matière. Il semble aujourd'hui plus important que jamais d'améliorer le nettoyage, car la contamination superficielle, en particulier celle qui est due aux hydrocarbures, s'accroît d'année en année.

De nouvelles enceintes munies de filtres ayant des pores de $1\ \mu\text{m}$ ont été construites ; il est encore prématuré de tirer des conclusions de leur utilisation.

Effet de l'humidité

Deux laboratoires, le NRLM et la PTB, ont déterminé l'effet de l'humidité sur la masse des étalons. Il est recommandé d'étudier cet effet sur le matériau massif, en préparant des disques de platine iridié d'environ 50 g, et en leur faisant subir les mêmes traitements qu'aux étalons eux-mêmes.

Polissage des étalons

Pour réduire les effets de pollution de surface, on a cherché à améliorer le poli des étalons. Le BIPM utilise maintenant un outil à pointe de diamant pour la finition des étalons en platine iridié. L'INM a conçu un dispositif spécial pour obtenir un très bon poli même sur un cylindre.

Schéma des pesées

Quelques études tendant à améliorer les schémas des pesées ont été publiées.

Balances de haute précision

Ce Groupe de travail a estimé nécessaire de discuter au moins des tendances rencontrées dans les études de prototypes de balances, car ce sujet n'est traité par aucun des Groupes de travail. Plusieurs laboratoires ont amélioré la construction de leurs balances, en particulier le NRLM, le CSMU et l'INM. De nouveaux principes sont étudiés : le BIPM travaille sur une balance comportant des suspensions flexibles à la place des couteaux et des plans, la PTB s'est intéressée à un dispositif fondé sur le principe de l'hydrostatique. Ce dernier dispositif est déjà en service et l'écart-type d'une comparaison est inférieur à $5\ \mu\text{g}$ sur 1 kg.

Le CCM discute ensuite le rapport sur une comparaison d'étalons de masse de 1 kg, en platine iridié et en acier inoxydable, mesures faites au NBS et au BIPM (document CCM/85-15). Mr Quinn présente le procédé de fabrication de sept nouveaux prototypes en platine iridié

et en particulier la finition de la surface à l'aide d'un outil à pointe de diamant (document CCM/85-16). Mr Riéty rend compte du polissage et de l'ajustage des masses à l'INM (document CCM/85-21).

Le président demande ensuite à Mme Plassa de présenter le rapport sur les activités de son Groupe de travail :

2.3. Étalons de masse en acier inoxydable

Mme Plassa présente le document CCM/85-11. Le Groupe de travail a commencé à travailler à la fin de 1982, en adressant un questionnaire à tous les laboratoires membres du CCM ; ce questionnaire visait à rassembler des informations sur l'expérience nécessaire et les recherches en cours concernant des aciers inoxydables ou des alliages spéciaux qui conviennent pour construire des étalons de masse. Les douze réponses ont traité des principaux aspects suivants : propriétés magnétiques, stabilité dans le temps, effets du nettoyage, caractéristiques de surface, usinage.

Choix d'un matériau approprié

Dans le passé, divers aciers inoxydables ou alliages spéciaux au cobalt ou au nickel ont été étudiés et utilisés. Le Groupe de travail estime qu'il n'est pas essentiel d'avoir un matériau dont la masse volumique soit aussi proche que possible de $8\,000\text{ kg/m}^3$, mais qu'il est utile d'avoir une correction petite pour la poussée de l'air par rapport aux aciers inoxydables courants. Les caractéristiques les plus importantes paraissent être la stabilité dans le temps, la résistance aux agents agressifs et la susceptibilité magnétique.

Stabilité des étalons de masse

Certains laboratoires travaillent depuis de nombreuses années sur les étalons en acier inoxydable, mais l'étude de leur stabilité est limitée par les incertitudes dues à la correction de poussée de l'air et à l'écart-type des balances. Pour cette raison, les recherches portent surtout sur des essais accélérés de corrosion.

D'après les données dont on dispose jusqu'à maintenant, tous les matériaux étudiés font preuve d'une bonne stabilité mais les résultats obtenus avec tous les matériaux sont peut-être entachés d'une assez grande incertitude. En conséquence, il paraît indispensable de faire encore des essais systématiques et comparatifs sur les matériaux proposés avec une incertitude aussi faible que possible.

Dans les différents laboratoires on utilise les méthodes suivantes :

— Évaluation de la teneur en gaz par dégazage sous vide à température élevée ;

- Détermination de la composition superficielle par spectroscopie d'électrons Auger ;
- Étude métallographique des aciers inoxydables ;
- Essais de corrosion à l'aide d'agents chimiques ;
- Effets du polissage sur la susceptibilité.

Jusqu'à maintenant, tous les laboratoires ont travaillé chacun selon sa propre méthode. Il s'ensuit que les résultats ne sont pas directement comparables.

Le Groupe de travail a recommandé que certains laboratoires développent plus particulièrement certaines recherches : le NRLM et l'IMGC les essais de corrosion et les analyses de surface, et la PTB l'étude de surface par ellipsométrie. D'autres méthodes d'essai doivent être mises au point pour étudier les autres propriétés de ces matériaux.

Le président demande ensuite à Mr Iizuka de présenter le rapport d'activité de son Groupe de travail :

2.4. Masse volumique de liquides et solides

Mr Iizuka présente le document CCM/85-26. Le Groupe de travail comporte sept membres. Il a commencé par rassembler des renseignements sur la mesure précise de la masse volumique de liquides et solides telle qu'elle est décrite dans ce document. Le questionnaire préparé par les membres du Groupe de travail a été adressé à 36 laboratoires en 1982 et 28 réponses ont été reçues. Ces réponses sont résumées à l'annexe 1 du document. L'accord s'est fait sur la proposition d'une comparaison internationale de mesures de la masse volumique d'objets solides et le NBS a accepté de jouer le rôle de laboratoire pilote.

Le Groupe de travail s'est réuni deux fois depuis sa création (à l'occasion de la Conférence IMEKO TC3 en septembre 1984, à Kobe et le 14 juin 1985 à l'IMGC, Turin).

Au cours des deux réunions, le Groupe de travail a discuté des comparaisons bilatérales de mesures de la masse volumique ; il a étudié le plan de la nouvelle comparaison internationale qu'il a envisagée et qui est préparée par le NBS en tant que laboratoire pilote ; enfin des informations ont été échangées sur les étalons et les mesures de masse volumique.

On peut résumer comme suit les résultats des discussions qui ont eu lieu à Turin :

Présentation des comparaisons bilatérales

Mlle Peuto a rendu compte de la comparaison en cours avec le NBS de son étalon de masse volumique et de la comparaison entre la PTB et le CSIRO d'étalons solides. Tous les résultats, y compris les

résultats préliminaires, ont fait apparaître un accord à $\pm 1 \times 10^{-6}$ près, tandis que les écarts par rapport à une table de masse volumique de l'eau ne dépassaient pas $\pm 2 \times 10^{-6}$. Mr Davis a également présenté le résultat d'une comparaison faite avec le CSIRO et portant sur des cristaux de silicium ; là aussi les mesures dans les laboratoires concordaient dans les limites de leurs incertitudes respectives, inférieures à $\pm 1 \times 10^{-6}$.

Plan d'une nouvelle comparaison internationale (le NBS étant laboratoire pilote)

Dans la comparaison envisagée il est prévu que chaque laboratoire membre du Groupe de travail fasse des mesures sur un cylindre en cristal de silicium de 800 g environ et un cylindre en acier inoxydable d'environ 1 kg. Deux séries d'objets ont été préparées et vont circuler entre les laboratoires qui sont répartis en deux groupes. Les membres du Groupe de travail ont étudié le protocole préparé par Mr Davis et l'ont modifié comme suit :

- Si nécessaire, utiliser la table de Bigg pour la dilatation de l'eau ;
- Utiliser la formule de Bignell pour corriger l'effet des gaz atmosphériques dissous ;
- Indiquer la méthode utilisée pour nettoyer l'objet.

Les mesures vont commencer en septembre 1985 et il est prévu qu'elles seront terminées d'ici un an si tout va bien. Le Groupe de travail reconsidérera la possibilité d'étendre la circulation des objets à d'autres laboratoires après avoir analysé les résultats des mesures faites par les sept laboratoires membres du Groupe de travail.

Examen de l'état actuel de la question des étalons de masse volumique

Mr Wagenbreth a rendu compte des études faites par la PTB, l'une sur l'effet des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau et l'autre sur la différence des masses volumiques de cristaux de silicium au moyen de deux versions différentes de la méthode du ludion. Dans la première étude, on a observé un maximum de l'effet des gaz dissous en fonction de la température, ce qui confirme le résultat de Marek. La PTB essaiera d'effectuer la mesure au-dessus de 8 °C.

Les membres du Groupe de travail ont aussi discuté la question du choix de l'eau comme étalon de masse volumique. Ils sont d'accord pour dire que l'incertitude sur la masse volumique de l'eau s'élève à 2 ou 3×10^{-6} , puisqu'il subsiste une incertitude appréciable sur l'effet de la température et des gaz dissous, même si l'incertitude due à la composition isotopique a été établie à un niveau satisfaisant.

La masse volumique du mercure constituait un autre point de discussion de la réunion et Mr Archbold a indiqué que le NPL avait commencé des travaux en vue d'une nouvelle détermination de cette masse volumique. Le CSIRO, le NBS et le NRLM ont fait part de

leurs soucis à propos de cette question. On a souligné la difficulté de déterminer les abondances isotopiques dans le mercure.

Le président demande ensuite à Mr Bray de présenter le rapport d'activité de son Groupe de travail :

2.5 Force

Mr Bray présente le document CCM/85-19. Les points suivants donnent une brève description des activités qui se sont développées dans la période allant de 1980 à 1985.

Conférences internationales et tables rondes

Certaines conférences et tables rondes ont été organisées par l'IMEKO Technical Committee TC-3 « Mesures de Force et de Masse » ; d'autres ont été organisées en coopération avec d'autres organisations. Les conférences se sont tenues séparément ou dans le cadre d'autres conférences internationales. En général les tables rondes se sont tenues pendant des conférences. Les documents soumis ont été publiés dans les comptes rendus de conférences, alors que les contributions aux tables rondes et les discussions ont en général fait l'objet de publications séparées.

Étalonnage de capteurs de force et de masse

L'activité d'étalonnage liée aux capteurs de masse et de force concerne, d'une part, les méthodes utilisées pour étalonner des capteurs à l'aide d'étalons primaires et, d'autre part, l'utilisation des capteurs pour vérifier les machines universelles d'essais.

La recommandation IR-60 « Réglementation métrologique des cellules de pesée » préparée par l'OIML énumère les principales caractéristiques métrologiques et les méthodes de vérification des cellules de pesée utilisées dans les mesures statiques de masse. Le projet « L'étalonnage des dispositifs de contrôle utilisés pour la vérification des machines d'essais » préparé par l'ISO concerne la vérification statique de ces machines.

Comparaisons internationales de machines étalons de force

Au cours de la période considérée plusieurs comparaisons internationales ont été entreprises ; certaines ont été organisées entre deux laboratoires, d'autres entre plusieurs laboratoires, l'un d'entre eux jouant le rôle de laboratoire pilote, d'autres ont été organisées par le Bureau Communautaire de Référence (BCR) de la Communauté Économique Européenne (CEE). Cette action vise à établir un réseau reliant les laboratoires de métrologie, avec comme but final l'harmonisation des caractéristiques des machines étalons primaires de force que l'on utilise pour étalonner les capteurs de force et de masse. Pour l'instant, et

grâce à ces comparaisons internationales, le réseau en question relie des laboratoires primaires d'Europe, des États-Unis d'Amérique, du Japon et de Chine.

Récents progrès des étalons de transfert de force

Cette activité se déploie selon deux directions, toutes deux concernant les méthodes et les techniques permettant de transférer des étalons de force. La première direction vise à améliorer l'exactitude des machines étalons, la seconde à élargir la gamme des étalons de transfert de force. Afin d'obtenir une meilleure exactitude, on a conçu et construit de nouveaux dynamomètres à composantes multiples qui mesurent les composantes parasites produites par une machine étalon. On peut transférer des forces dans un large domaine avec de nouveaux types de dynamomètres axiaux, parallèlement à l'accroissement de la capacité des machines étalons.

Travaux en cours

Pour faire face à la demande croissante d'étalonnage de capteurs de force, deux nouvelles machines étalons ont été installées : l'une au Laboratoire National d'Essais (LNE), Paris et l'autre à l'Office Fédéral de Métrologie (OFMET), Wabern. Ce sont toutes deux des machines à masse suspendue de haute capacité, respectivement de 500 kN et 450 kN. Leurs caractéristiques métrologiques seront évaluées sous peu.

Une autre tâche en cours porte sur la comparaison des certificats d'étalonnage fournis par les laboratoires primaires de la CEE. Pour cela deux cellules de pesée seront utilisées jusqu'à 1 MN et vont circuler dans plusieurs laboratoires. Cet « audit » patronné par le BCR permettra de comparer les méthodes et l'évaluation des résultats.

Mr Peters a rendu compte de l'état actuel des recherches métrologiques faites sur les résultats des comparaisons internationales. A l'avenir des capteurs à composantes multiples auront de plus en plus d'importance pour l'étude des composantes transversales dans les machines étalons de mesure de force.

Le président demande ensuite à Mr Molinar de présenter le rapport de son Groupe de travail :

2.6. Hautes pressions

Mr Molinar présente les documents CCM/85-2, 3 et 13. Une comparaison internationale de pression dans le domaine de 20 à 100 MPa est en cours conformément au programme soumis aux participants à la première session du CCM (1981). Le but principal de la comparaison est de vérifier l'incertitude avec laquelle chacun des treize laboratoires participants peut faire des mesures relatives de pression dans le domaine s'étendant de 20 à 100 MPa en milieu liquide et dans des conditions statiques.

La méthode employée dans cette comparaison consiste pour chaque participant à déterminer la surface effective A_0 à la pression atmosphérique et le coefficient de déformation λ de la surface effective du système piston-cylindre d'une balance de pression servant d'étalon de transfert.

Les mesures sont divisées en trois phases auxquelles prennent part, outre le laboratoire pilote, quatre laboratoires. À la fin de chaque phase de la comparaison, le laboratoire pilote, LNE (France), détermine à nouveau les grandeurs A_0 et λ .

Les résultats de la première phase sont donnés dans le Rapport BIPM-84/2. Un rapport du même type concernant la deuxième phase est en préparation. Il est prévu que les mesures de la troisième phase seront achevées en 1985.

Deux problèmes se posent déjà clairement :

- La stabilité des caractéristiques métrologiques du système piston-cylindre de l'étalon de transfert ne répond pas entièrement à l'attente.
- Il existe à l'évidence des désaccords importants entre laboratoires dans la détermination du coefficient de déformation λ .

Les variations observées dans les caractéristiques métrologiques du système piston-cylindre de transfert sont suffisamment faibles pour ne pas compromettre les résultats attendus de la comparaison ; de plus, on peut en tenir compte à l'aide de corrections appropriées dans l'évaluation finale. Il est par conséquent raisonnable de poursuivre les mesures.

Le manque d'accord entre les valeurs attribuées par les participants au coefficient de déformation du système piston-cylindre de transfert conduit à penser que le Groupe de travail devrait poursuivre l'étude de ce problème. Compte tenu des méthodes utilisées couramment pour réaliser l'échelle de pression dans le domaine supérieur à 100 MPa au moyen de mesures de comparaison à la balance de pression, ce problème a une grande importance.

Le Groupe de travail examinera la possibilité d'effectuer des mesures comparatives dans le domaine supérieur à 700 MPa. A cet égard la première question à élucider est celle de l'existence d'étalons de transfert convenables (étalons secondaires ou dispositifs multiplicateurs de pression) et de méthodes de mesure appropriées. Il est recommandé que soient poursuivies les études théoriques que chaque laboratoire a pu déjà entreprendre sur la question du coefficient de déformation.

Pour donner satisfaction aux demandes de laboratoires qui ne sont pas engagés jusqu'ici dans la comparaison, il est prévu qu'une quatrième phase suivra les trois premières déjà prévues dans le domaine de mesure s'étendant jusqu'à 100 MPa. Cette quatrième phase commencera en 1986. Rien n'est prévu ultérieurement.

Les participants à la discussion expriment le vœu que les informations

rassemblées par ce Groupe de travail soient communiquées à toute autre partie intéressée.

Le président demande ensuite à Mr Stuart de présenter le rapport de son Groupe de travail :

2.7. Moyennes pressions

En présentant son rapport Mr Stuart se réfère au document CCM/85-10. Ce rapport a été mis à jour pour inclure les tout récents résultats expérimentaux et les décisions prises lors de la réunion du Groupe de travail qui s'est tenue le 17 juin 1985.

Le Groupe de travail est responsable du domaine de pression compris entre 1 kPa et 1 MPa. Lors de sa première réunion en 1979 il a été convenu que la première priorité pour ce Groupe serait d'organiser une comparaison internationale dans le domaine de pression allant de 10 kPa à 110 kPa. À ce stade, 21 laboratoires et le BIPM lui-même ont tous exprimé le désir d'y participer. Depuis lors, 3 autres laboratoires ont demandé à y prendre part. L'organisation détaillée de cette comparaison avait fait l'objet d'une proposition (document CCM/81-34). Le laboratoire pilote est le NPL (Royaume-Uni).

Il était convenu que pour les premières étapes de la comparaison l'étalon de transfert le plus approprié serait une balance de pression à gaz (jauge à piston). Elle serait utilisée comme générateur de pression et on demanderait une reproductibilité meilleure que $\pm 0,5$ Pa. On n'a pas trouvé d'instrument de ce genre dans le commerce et il a fallu en réaliser un spécialement. La base de l'instrument et les masses en anneaux ont été conçues et construites par le CSIRO (Australie). Contrairement à la plupart des balances de pression que l'on trouve dans le commerce, l'entraînement du piston en rotation est symétrique et le moteur est monté à l'extérieur de l'unité de base pour réduire les effets dus à l'échauffement. Les masses en anneaux sont maintenues par un mécanisme monté au-dessous du plateau supérieur et peuvent être chargées et déchargées sans rompre le vide lorsqu'on travaille en mode absolu, réduisant ainsi nettement le temps nécessaire pour avoir une série complète d'observations. Deux ensembles piston-cylindre (dont un destiné à servir de réserve) ont été fournis par le NBS (États-Unis d'Amérique). Ils étaient de conception industrielle (CEC), mais sélectionnés pour leur qualité de répétabilité. Pour compléter le système, le NPL (Royaume-Uni) a fourni une jauge à vide, un variateur de volume pour le réglage fin de la pression et un thermomètre à thermistance, dont la sonde est encastrée dans la monture du cylindre.

Pendant les essais on a utilisé le baromètre étalon primaire du NPL pour faire des mesures répétées de la pression générée avec chacune des dix différentes combinaisons de masses en anneaux. Pour chaque combinaison on a évalué un écart-type ; la moyenne des écarts-types

était de 0,09 Pa, c'est-à-dire que, à la pression atmosphérique, l'écart-type relatif était inférieur à 1×10^{-6} . On a aussi mesuré au NPL le coefficient de température pour la surface effective de la section droite de l'ensemble piston-cylindre et on l'a trouvé très voisin de la valeur donnée par le fabricant.

Le premier circuit de la comparaison s'est déroulé entre novembre 1984 et février 1985 ; il a concerné les baromètres primaires du NPL, du BIPM et de l'INM. L'accord obtenu se trouve dans les limites de $\pm 0,5$ Pa sur la totalité du domaine de pression entre 11 et 101 kPa. Cet accord se situe dans les limites des sommes des incertitudes, au niveau de trois écarts-types, des trois participants pris deux à deux. La différence relative entre les valeurs de la surface effective de l'ensemble piston-cylindre déterminée au NPL avant et après le premier circuit était de $0,5 \times 10^{-6}$, équivalente à 0,05 Pa. Il est peu vraisemblable que des variations de l'étalonnage du thermomètre associé et de la jauge à vide de référence aient entraîné des erreurs additionnelles supérieures à 0,05 Pa chacune. Après quelques modifications mineures et vérifications au NPL, il est prévu que l'étalon de transfert commencera le second circuit qui doit comprendre le CSMU, le CSIRO et le NBS.

Le Groupe de travail s'est réuni le 17 juin 1985. On a discuté des résultats obtenus lors du premier circuit et on s'est accordé pour dire que l'étalon de transfert actuel fonctionnait bien et qu'aucun autre instrument de conception plus récente ne remplirait mieux son office. On a examiné plusieurs capteurs récemment mis au point pour voir s'ils constitueraient une solution de rechange plus commode et plus robuste, mais aucun n'est susceptible de répondre de façon satisfaisante aux exigences de bonne stabilité à long terme allant de pair avec un faible coefficient de température et une dérive nulle.

Le Groupe de travail a discuté du programme pour le troisième circuit et pour la suite. Comme l'expérience a montré qu'il faut deux à trois mois par participant pour l'utilisation et le transport de l'étalon de transfert, il a été convenu qu'il serait nécessaire de limiter le nombre des participants afin d'achever la comparaison dans des délais raisonnables. Il a été décidé, et le CCM approuve cette décision, que la participation à cette comparaison serait limitée aux laboratoires, environ treize en tout, dont les étalons primaires sont suffisamment exacts pour leur permettre d'apporter une contribution positive à la compréhension des incertitudes systématiques liées à ce type de mesure. On s'est mis d'accord pour dire que le but de la comparaison n'était pas de fournir des étalonnages d'instruments secondaires ou primaires de qualité inférieure. La possibilité d'activer la comparaison en mettant en service une seconde balance de pression comme étalon de transfert n'a pas été retenue, faute des moyens financiers et du personnel nécessaires.

Lors de sa réunion du 17 juin 1985 le Groupe de travail a aussi examiné l'opportunité d'entreprendre une comparaison internationale d'étalons pour la mesure des pressions relatives, c'est-à-dire des différences

de pression par rapport à la pression atmosphérique, dans le domaine de 0,1 à 1,0 MPa ou plus. La majorité des membres du Groupe de travail n'étaient pas très enthousiastes. Il a toutefois été convenu qu'un questionnaire serait diffusé pour se faire une meilleure idée du problème. Si les réponses au questionnaire font apparaître un intérêt suffisant, il sera peut-être difficile de trouver un laboratoire prêt à jouer le rôle de laboratoire pilote et aussi de trouver un laboratoire ou un fabricant désireux de prêter un étalon de transfert approprié.

Au cours de la discussion, Mr Riéty attire l'attention sur un nouveau baromètre pour déterminer la pression atmosphérique (document CCM/85-22). Entre autres sujets de discussion il est question des matériaux appropriés pour construire un ensemble piston-cylindre et des problèmes posés par la température et l'aimantation.

Le comité prend connaissance du rapport de Mr Tilford sur l'activité du Groupe de travail « Basses pressions » (document CCM/85-12).

2.8. Basses pressions

En vue de la comparaison internationale des mesures dans le domaine compris entre 0,1 Pa et 1 kPa on a choisi quatre jauges à diaphragme à variation de capacité et on les a équipées des instruments auxiliaires nécessaires.

Lors des mesures comparatives effectuées de 1980 à 1982 entre le NBS (États-Unis d'Amérique) et le NPL (Royaume-Uni) et destinées à éprouver la validité de la méthode de mesure choisie et la stabilité des étalons de transfert, les jauges de pression ont donné des signes de dérives d'un ordre de grandeur inattendu. Les différences qui en résultent entre les courbes d'étalonnage des deux laboratoires sont considérablement plus grandes que l'incertitude de mesure attendue pour cet étalon de transfert.

En conséquence, l'objectif réel de ces mesures comparatives ne pourra pas être atteint sans restrictions; néanmoins la comparaison doit se poursuivre, d'abord au CSIRO (Australie) puis à la PTB, puisque pour le moment aucun autre instrument n'est susceptible de remplacer les jauges à diaphragme à variation de capacité.

Le président demande ensuite à Mr Jäger de présenter le rapport du Groupe de travail « Très basses pressions » que préside Mr Messer :

2.9. Très basses pressions

Mr Jäger présente le document CCM/85-1. Les mesures de comparaison de pression avec une jauge à rotor tournant utilisée comme étalon de transfert ont commencé dans le domaine compris entre 10^{-4} Pa et 1 Pa. Jusqu'à maintenant, cinq laboratoires ainsi que le laboratoire pilote ont pris part à ces mesures.

Il s'agit pour les participants de déterminer les valeurs $\sigma_{0,eff}$ (coefficient efficace de transfert d'énergie et de moment tangentiel, valeur limite pour les basses pressions). Il est tenu compte des variations avec le temps de cette valeur, variations qui dépendent du rotor utilisé. La comparaison en étoile permet d'effectuer des contrôles réguliers dans le laboratoire pilote et d'apporter les corrections appropriées aux résultats des mesures.

Comme gaz de mesure on a utilisé l'argon et, pour la première fois dans une comparaison, l'hydrogène, bien que tous les participants n'aient pas été en mesure de faire des mesures avec l'hydrogène.

Les résultats connus à l'heure actuelle montrent que, selon le rotor utilisé, les valeurs de $\sigma_{0,eff}$ déterminées par les laboratoires participants ne s'écartent pas de la valeur moyenne de tous les laboratoires de plus de 1,5 % pour l'argon et 2 % pour l'hydrogène.

Par suite de quelques retards dans le déroulement de la comparaison il convient de souligner que le programme ne sera pas terminé en 1985 comme il était prévu; en conséquence, le laboratoire pilote ne sera vraisemblablement pas en mesure de soumettre un rapport final aux membres du Groupe de travail avant le printemps de 1986.

3. Exposés

Le point suivant de l'ordre du jour porte sur la présentation de travaux particuliers effectués dans quelques laboratoires. Le président demande tout d'abord à Mr Quinn de présenter son exposé sur :

3.1. La balance à suspensions flexibles du BIPM

On a construit au BIPM le prototype d'une balance à suspensions flexibles de conception nouvelle (document CCM/85-14). On vise principalement à mettre au point une balance à bras égaux, destinée à la comparaison d'étalons de masse de 1 kg avec la meilleure exactitude possible, en utilisant la méthode de substitution. Dans ce prototype, toutefois, rien n'a été prévu pour effectuer les substitutions; on peut seulement soulever la charge de l'un des plateaux et l'y reposer. Une butée réglable limite le mouvement du plateau lorsqu'on le décharge et maintient sa suspension flexible sous contrainte constante. On considère que cette opération, répétée un certain nombre de fois, suffit pour éprouver la balance de façon critique et évite la grande complication d'un échangeur de masses.

La balance comporte trois suspensions flexibles; celle du milieu supporte l'ensemble fléau, suspensions des plateaux et plateaux avec leur charge; celles des extrémités ne supportent que les suspensions des

plateaux, les plateaux et leur charge. Chaque lame flexible est réalisée à partir d'un bloc en alliage de bronze au béryllium (Cu-Be) durci.

Chaque suspension de plateau est constituée de trois sections reliées par des dispositifs de cardan à couteaux. Elle est conçue de façon à réduire le moment des forces appliquées sur la lame flexible de l'extrémité du fléau lorsque la charge est excentrée sur le plateau.

Le fléau est en alliage d'aluminium. Il a été usiné à partir d'un bloc massif. Pendant le fonctionnement, le fléau est asservi de façon à être maintenu dans une position donnée par rapport à la platine supérieure du bâti de la balance. Indépendamment du système d'asservissement, un interféromètre optique est situé à l'une des extrémités du fléau dont il indique la position. Ce dispositif s'est révélé être un instrument de diagnostic extrêmement précieux.

L'essai le plus critique auquel peut être soumise la balance prototype consiste à contrôler le courant d'asservissement pendant une série de chargements et de déchargements avec une masse de 1 kg. La répétabilité du courant d'asservissement moyen après chaque chargement est une indication de la fidélité de la balance. L'écart-type du courant par rapport à une courbe lisse pendant une série d'opérations de ce genre est une bonne indication de ce que l'on peut obtenir de mieux pendant une série de vraies pesées. Jusqu'à présent, le mieux que l'on ait obtenu est un écart-type équivalent à 0,28 μg pour une série de quinze chargements successifs d'une masse de 1 kg.

La principale composante du bruit du courant d'asservissement est celle due aux mouvements du sol, principalement aux mouvements de translation horizontale et d'inclinaison. La valeur efficace du bruit angulaire sur le fléau dans les meilleures conditions (le dimanche matin, de très bonne heure, en été) est d'environ 0,3 nrad ; elle est équivalente à environ 0,3 μg dans la bande de fréquences proche de 1 Hz. Pendant l'hiver, quand les vibrations du sol causées par l'océan et les conditions météorologiques sont beaucoup plus défavorables, le niveau de bruit peut être dix fois supérieur. On travaille actuellement à l'isolement par rapport aux mouvements horizontaux du sol.

Le président demande ensuite à Mr Kochsiek de faire son exposé sur :

3.2. Détermination de la masse d'étalons de 1 kg à l'aide d'une méthode de pesée hydrostatique

On a mis au point à la PTB un comparateur de masses de 1 kg (document CCM/85-24) utilisant la poussée hydrostatique agissant sur un flotteur pour compenser la force due à la pesanteur agissant sur un étalon de masse de 1 kg suspendu au flotteur. Cette méthode présente des avantages dus à la compensation directe de forces sans levier de transmission ni articulations mécaniques tels que des couteaux, ainsi

qu'à la suspension sans friction dans le liquide et à la faible sensibilité aux perturbations mécaniques.

Les variations de la force verticale agissant sur le flotteur dues aux variations de la masse qui lui est suspendue sont mesurées au moyen d'un système électromagnétique de compensation et de contrôle de la position, avec l'avantage supplémentaire d'éviter des causes d'erreur dues aux mouvements du flotteur dans le liquide.

L'échange des masses, la pesée et la mesure des paramètres de l'environnement tels que température, pression et humidité sont effectués automatiquement sous le contrôle d'un ordinateur, ce qui permet de faire des pesées avec des perturbations minimales. Chaque pesée est faite par double substitution et comporte une détermination de la sensibilité.

L'écart-type pour la comparaison d'étalons de 1 kg ayant presque la même masse volumique est maintenant d'environ 3 μg .

On n'a pas trouvé de différences systématiques entre les déterminations de masse faites avec la balance hydrostatique et avec une balance prototype du type traditionnel. La principale cause d'incertitude de la méthode hydrostatique est due aux petites variations, à court terme, de la pression atmosphérique qui modifient la poussée dans le liquide et dans l'air. Afin d'éliminer cette cause on construit pour la balance une enceinte à pression contrôlée. De cette façon, et avec le montage de l'ensemble sur un support ancré dans le sol, joint à des conditions améliorées d'environnement, on espère obtenir une nouvelle amélioration de l'exactitude.

Le président demande ensuite à Mr Riéty de faire son exposé sur :

3.3. Le comparateur d'étalons de masse de l'INM

Le comparateur d'étalons de masse installé récemment à l'INM possède les caractéristiques suivantes : balance à un seul plateau ; pesée par substitution en appliquant la méthode « à charge constante » pour l'échange des masses sur le plateau ; suspension du plateau à couteaux croisés et en deux parties articulées par un joint de cardan ; chargement et échange des masses (4 masses) sur le plateau à l'aide d'un transporteur circulaire ; asservissement en position du fléau de la balance et mesure électrique du déséquilibre ; fonctionnement entièrement automatique avec acquisition et traitement des données en temps réel ; possibilité de comparer aussi des masses de sous-multiples du kilogramme, telles que 500, 200 et 100 g.

Le fléau de la balance, avec le dispositif d'asservissement (capteur de déplacement et bobine d'asservissement), est d'une seule pièce, en alliage d'aluminium. Les différentes parties de la suspension sont faites

dans un alliage d'aluminium moulé très stable. Les articulations sont constituées de pivots en tungstène et de plans en saphir. L'alignement des différents éléments a été fait à l'aide d'un faisceau laser.

Le transporteur est un disque comportant quatre ouvertures oblongues, dont une partie est étroite tandis que l'autre est élargie. Au départ, les masses sont déposées au niveau de la partie étroite de l'ouverture. On tourne le transporteur de telle façon que la masse à peser se trouve directement au-dessus du plateau. Un piston, mû par une came et passant dans le trou central du plateau et l'ouverture du transporteur, soulève la masse. Le transporteur tourne de façon à dégager la partie élargie de l'ouverture et le piston dépose alors la masse sur le plateau de la balance. La rotation du transporteur se fait au moyen d'un moteur pas à pas commandé à distance et ayant une forte démultiplication, ce qui permet un positionnement très précis. La masse est placée sur le plateau très doucement, la bobine d'asservissement étant alimentée de façon à maintenir la partie supérieure de la suspension en butée pendant un court moment. Le dispositif d'asservissement n'est donc en circuit que lorsque la balance est pratiquement en équilibre, et le fléau arrive à sa position finale de façon très progressive et sans oscillation. Le comparateur est placé sur un dispositif antivibratoire.

Toutes les opérations de pesée sont commandées au moyen d'un microprocesseur et les résultats sont produits directement sous forme d'un tableau qui contient, outre la valeur finale de la masse corrigée de la poussée de l'air, toutes les indications qui permettent de reconstituer les conditions de la mesure.

3.4. Discussion

La discussion montre qu'il y a eu une forte activité au cours des toutes dernières années dans le domaine des prototypes de balances.

Trois principes différents sont présentés à cette occasion.

Mr Bennet indique que le NPL construit un prototype de balance, dont la conception est semblable à celle du BIPM, mais les oscillations du fléau seront enregistrées par une méthode optique et la masse volumique de l'air ambiant sera déterminée de façon directe.

Mr Pavlov signale les méthodes utilisées pour mesurer directement la masse volumique de l'air à l'IMM (document CCM/85-6).

Mr Iizuka parle de la balance de haute précision du NRLM (document CCM/85-4) et Mr Spurny d'une balance de 10 kg, récemment mise au point, qui peut aussi être utilisée pour comparer des sommes de masses disposées sur un transporteur tournant (document CCM/85-28).

Mr Davis fait un bref rapport sur la reconstruction d'une ancienne balance prototype de Volland, mais il n'a pas encore de résultats de mesures.

Le président demande alors à Mme Plassa de faire son exposé sur :

3.5. Analyse de surface de matériaux utilisés pour la construction des étalons de masse

Le but de la communication est de souligner le rôle joué par les phénomènes de surface dans la détermination de la stabilité des étalons de masse, de décrire quelques-unes des techniques d'analyse de surface permettant d'étudier ces phénomènes et de donner quelques résultats que l'IMGC a obtenus.

Les effets de surface les plus importants qui influencent la stabilité des étalons de masse, mis à part les réactions chimiques, sont l'adsorption (physique ou chimique) et la contamination. De plus, il faut rappeler que la composition de la surface des alliages est généralement très différente de la composition interne, à cause de la ségrégation superficielle des composants et que cette ségrégation est liée aux techniques de préparation.

Parmi la centaine de techniques modernes d'analyse de surface, la spectroscopie des électrons éjectés par des photons X (XPS ou ESCA) et la spectroscopie d'électrons Auger (AES) sont les plus utiles pour étudier la composition des surfaces métalliques, tant pour ce qui est des composants propres que pour les atomes étrangers liés à la surface. L'IMGC a utilisé ces méthodes pour étudier les propriétés de surface d'échantillons préparés de la même façon que des masses étalons, c'est-à-dire polis avec de la poudre de diamant. Quatre aciers inoxydables différents et deux alliages Ni-Cr de la série Nimonic ont été étudiés.

Les analyses XPS montrent que la surface est couverte d'atomes de carbone et d'oxygène (on ne peut déceler l'hydrogène), et que la première couche métallique est riche en chrome et pauvre en nickel. Le rapport de concentration entre la surface et l'intérieur varie de 1,4 à 2,8 pour le chrome, de 0,3 à 0,7 pour le nickel et de 0,6 à 1,1 pour le fer. Les déplacements chimiques des pics des différents éléments montrent que le chrome est oxydé en Cr_2O_3 , le nickel en NiO , le fer en Fe_2O_3 (dans la couche extérieure) et en FeO , et que l'oxygène est présent sous la forme non seulement d'oxydes, mais aussi de $-\text{OH}$.

L'analyse AES, associée à un bombardement ionique, permet non seulement d'étudier la concentration des éléments à la surface, mais aussi de déterminer ses variations en fonction de la profondeur. Les résultats montrent que les couches externes comportent, dans cet ordre, du carbone (sous forme d'hydrocarbures ou d'oxydes de carbone), de l'oxygène, une couche riche en chrome, une couche riche en nickel, une couche riche en carbone (contenant probablement des carbures) tandis que la concentration en fer augmente régulièrement jusqu'à sa valeur dans le matériau massif.

En bref, on trouve très peu d'atomes métalliques à une profondeur de 1 à 2 nm, et la surface comporte essentiellement des éléments de

contamination ou des substances adsorbées; entre 2 et 5 nm les composants de l'alliage sont présents avec des concentrations anormales, et c'est seulement à une profondeur d'environ 5 nm que la composition est celle de l'alliage massif.

Outre le carbone, on trouve à la surface d'autres éléments de contamination, comme Na, Ca, Cl, S, probablement adsorbés à partir de l'air, et Zn, apporté sur la surface pendant le polissage. On a observé une augmentation de la concentration d'ions étrangers avec le vieillissement, alors que l'on n'a décelé aucune différence significative dans la contamination par des substances organiques. Les résultats obtenus par d'autres auteurs montrent que les alliages Ni-Cr sont très actifs pour ce qui est de l'adsorption de vapeurs organiques, si bien qu'après quelques heures les surfaces sont fortement contaminées; toutefois, la contamination continue d'augmenter lentement dans les jours qui suivent.

L'épaisseur de la couche d'oxyde diffère suivant les alliages; elle est plus grande avec les aciers inoxydables qu'avec les alliages sans fer; de toute façon, elle augmente avec le temps. Comme la croissance de la couche d'oxyde est due à la chimisorption de l'oxygène de l'air, elle entraîne une augmentation de la masse du solide. En simplifiant les choses, on est arrivé à une estimation d'environ 20 µg pendant la première année pour l'accroissement de la masse d'un étalon de 1 kg en acier inoxydable.

On a aussi effectué des analyses préliminaires sur un échantillon de platine iridié usiné à l'outil à pointe de diamant par le BIPM. Les résultats montrent, à la surface, un enrichissement en platine, l'absence d'une couche oxydée, et la présence de carbone vraisemblablement due à la contamination par des substances organiques.

Les techniques d'analyse de surface ne peuvent généralement être utilisées qu'avec des échantillons spéciaux de faibles dimensions, ce qui exclut l'étude de la surface de véritables étalons de masse. Si l'on devait utiliser ces techniques pour étudier, par exemple, l'effet des conditions de conservation, il faudrait préparer et traiter des échantillons *ad hoc* de la même façon que les étalons de masse.

En conclusion les analyses XPS, AES et éventuellement d'autres techniques comparables constituent de puissants outils d'analyse pour l'étude des effets de surface dont on pense qu'ils influencent la stabilité des étalons de masse. En fait, ces techniques fournissent de multiples renseignements sur les surfaces et pourraient être avantageusement utilisées à l'avenir, compte tenu en particulier de la mise au point de balances très sensibles avec lesquelles le problème de la stabilité des étalons de masse deviendra de plus en plus critique.

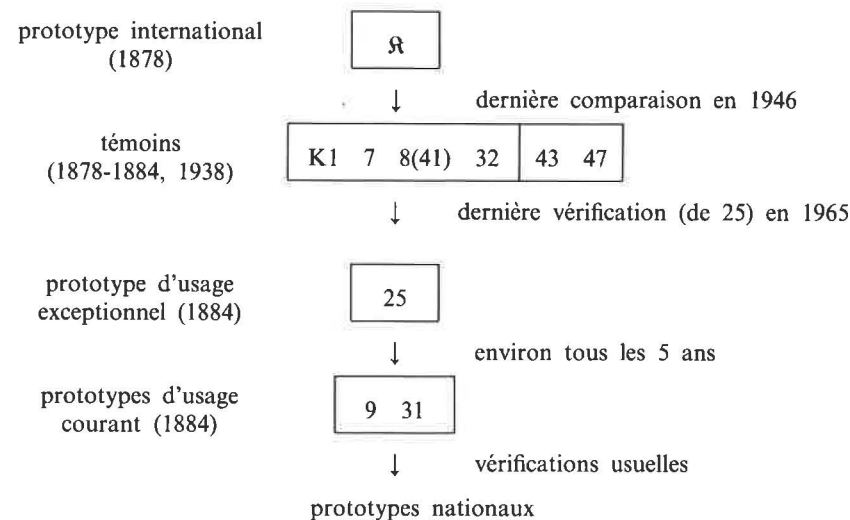
Au cours de la discussion, il apparaît à l'évidence que ces recherches ouvrent de nouveaux horizons. En conséquence, le Comité demande à Mme Plassa de faire un rapport détaillé sur ces recherches et de communiquer ce rapport aux participants.

4. Questions relatives au kilogramme

4.1. Préparation de la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux

La deuxième vérification périodique des prototypes nationaux s'est déroulée de 1948 à 1953 en plusieurs groupes comportant chacun deux des huit témoins comparés au prototype international \mathcal{K} en 1946.

L'ordre actuel de hiérarchie des prototypes que détient le BIPM est schématiquement le suivant :



Avant de pouvoir organiser la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux, il faut que les améliorations en cours des balances du BIPM soient terminées (entre autres la balance NBS-2 et la balance Rueprecht de portée 1 kg). Cela demandera environ deux ans. On n'a pas encore élucidé la question de savoir quelle méthode il conviendrait d'utiliser pour nettoyer le Prototype international du kilogramme \mathcal{K} .

La seule preuve directe que l'on puisse espérer de la stabilité de la masse de \mathcal{K} et des autres prototypes en platine iridié est la conservation à long terme des différences entre les masses de la plupart d'entre eux. En effet, une vérification plus directe supposerait l'existence d'autres étalons de masse, encore plus stables, étalons qui détrôneraient à bref délai les étalons actuels mais pour lesquels, auparavant, la démonstration de la stabilité de la masse poserait exactement le même problème.

Malheureusement les comparaisons, pour un prototype en platine iridié donné, sont peu fréquentes; les plus anciennes présentent des garanties réduites, dans la mesure où le nettoyage-lavage n'est effectué systématiquement, lors des vérifications au BIPM, que depuis 1946. Les pesées avant et après nettoyage-lavage ont en effet démontré que la

pollution de ces prototypes n'est pas un phénomène négligeable, tandis qu'on obtient, après répétition de ce traitement, une masse stable. Il faudrait encore s'assurer que le nettoyage-lavage lui-même n'est pas générateur de variations à long terme de la masse.

Il est possible qu'à l'avenir on dépose avec \mathcal{R} et ses témoins d'autres échantillons sur lesquels on pourrait faire, par exemple, des vérifications annuelles ; de cette façon, on pourrait étudier les effets à long terme sans mettre en péril la base de la définition du kilogramme. On recherche donc une méthode convenable pour vérifier la stabilité de la masse, ainsi que des critères pour les conditions d'environnement qui ne sont pas encore définies pour les comparaisons de masse à venir.

Il n'est pas possible d'élaborer de façon définitive, au cours de cette session, les modalités de la 3^e vérification périodique. Toutefois le CCM s'accorde pour rédiger une déclaration qui est devenue par la suite la Recommandation G2 (voir p. G 26).

4.2. La définition du kilogramme

Le président ouvre ensuite une brève discussion sur la définition du kilogramme. De nouvelles possibilités de réaliser et de définir l'unité de masse ont été suggérées, par exemple par des méthodes électriques fondées sur des effets quantiques. Le Comité estime que les méthodes en question n'ont pas atteint un degré suffisant de perfection et ne sont pas suffisamment précises. Un autre sujet de discussion est de savoir si l'unité de masse devrait à l'avenir être réalisée en faisant la moyenne des valeurs de plusieurs prototypes ou de tous les prototypes nationaux (actuellement au nombre d'une quarantaine), y compris \mathcal{R} . Le débat sur cette question est ajourné. Il pourra être repris après la fin de la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux et de la discussion de ses résultats.

4.3. Sanction des prototypes

Après discussion du document CCM/85-25 il est proposé que le BIPM rédige un Certificat après chaque nouvelle vérification d'un prototype en platine iridié au lieu d'attendre pour cela, suivant une décision du CIPM de 1895, que l'on ait constaté une variation de masse supérieure à 0,05 mg.

Il est également proposé que le rapport que présente le président du CCM à la Conférence Générale des Poids et Mesures contienne dorénavant la valeur des masses des prototypes en platine iridié vérifiées depuis la dernière CGPM.

5. Questions diverses

5.1. Publication des documents

Le rapport du CCM au CIPM est publié par le BIPM. Chaque président de Groupe de travail prépare un bref rapport annuel et un rapport plus long pour chaque réunion du CCM ou après l'achèvement d'une comparaison. Ceux-ci peuvent être publiés en annexe au rapport du CCM. Outre leur publication dans *Metrologia*, généralement sous forme abrégée, les rapports finaux des comparaisons et certains autres travaux peuvent être publiés comme Monographie BIPM. Le président attire l'attention des membres sur le fait que les documents soumis aux réunions du Comité Consultatif, même s'ils ne sont pas publiés en annexe au rapport de la session, sont conservés au BIPM et qu'il est toujours possible d'en obtenir des copies en faisant la demande au directeur.

5.2. Rapport au CIPM et Recommandations

Le rapport de la 2^e session du CCM sera soumis au CIPM. Il comportera la Recommandation G1 (1985) sur la conservation des étalons du kilogramme et la Recommandation G2 (1985) concernant la troisième vérification périodique des prototypes nationaux et sa préparation.

5.3. Groupes de travail

Les groupes de travail organisés lors de la première session du CCM en 1981 afin d'avoir une base de travail se sont avérés efficaces. Pour l'avenir, toutefois, on devrait tendre à en réduire le nombre, par exemple en fusionnant certains groupes de travail chargés de sujets voisins ou comparables. La création de nouveaux groupes de travail pour couvrir de nouveaux sujets ne devrait se faire que lorsque ces sujets ne peuvent être pris en charge par aucun des groupes de travail existants. À l'avenir, si un laboratoire ne fait preuve d'aucune activité dans un groupe de travail, il conviendra de le rayer de la liste de ce groupe de travail.

Les présidents des groupes de travail doivent veiller à tenir au courant le BIPM de toutes les activités des groupes.

Le NRLM souhaite faire aussi partie des Groupes de travail « Force » et « Moyennes pressions » et l'IMGC du Groupe de travail « Moyennes pressions ».

A propos des comparaisons, Mr. Giacomo attire l'attention sur le Rapport BIPM-84/4 « Commentaires sur l'organisation de comparaisons internationales ».

5.4. Prochaine session

Il est prévu que la prochaine session du CCM ait lieu en 1988. La date exacte sera fixée de façon à laisser suffisamment de temps pour que le projet de rapport du CCM puisse être soumis à la session suivante du CIPM.

Les laboratoires qui ne sont pas membres du CCM et qui désireraient y présenter des résultats de recherches ou des propositions sont invités à soumettre un document écrit en l'envoyant au président du Comité, par l'intermédiaire du BIPM.

Recommandations du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées présentées au Comité International des Poids et Mesures *

État superficiel des étalons de masse

RECOMMANDATION G 1 (1985)

Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées,
considérant

— que la stabilité à long terme est l'une des caractéristiques essentielles des étalons de masse,

— que les perfectionnements apportés aux balances permettent aujourd'hui de mettre en évidence des variations de masse de quelques microgrammes sur un kilogramme,

— que des variations de cet ordre ont été observées et ont pu être attribuées à des effets superficiels dus en particulier aux agents atmosphériques,

— que les méthodes utilisées pour nettoyer la surface des étalons de masse pourraient avoir des effets insoupçonnés,

— que diverses méthodes modernes permettent d'étudier le comportement superficiel des alliages dont sont constitués les étalons de masse,

— que des résultats importants ont déjà été obtenus à l'aide de ces méthodes concernant la contamination des surfaces,

recommande

que les laboratoires appliquent les diverses techniques maintenant disponibles pour étudier la composition et le comportement superficiels du platine allié à 10 % d'iridium et des autres alliages dont sont constitués les étalons de masse.

* Ces deux recommandations ont été approuvées par le CIPM à sa 74^e session (1985).

Vérification des prototypes du kilogramme du BIPM

RECOMMANDATION G2 (1985) **

Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, *rappelant* la Résolution 3 de la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures (1975), estime que le moment est venu de mettre en route la 3^e vérification périodique des étalons nationaux du kilogramme et

recommande, qu'en vue de cette vérification, le Kilogramme international et ses témoins ainsi que les prototypes d'usage du BIPM, soient préalablement comparés entre eux.

ANNEXE G 1

Documents de travail présentés à la 2^e session du CCM

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

Document CCM/

- 85-1 Report on the activities in the BIPM intercomparison group « very low pressures range 10^{-4} Pa to 1 Pa » from 1980 to 1984, 20 pages.
- 85-2 Comparaison internationale dans le domaine de pression 20 à 100 MPa (1^{re} phase) organisée par le Groupe de travail « Hautes pressions » du CCM, par J. C. Legras, V. Bean, J. Jäger, S. L. Lewis, G. F. Molinar. (Ce texte constitue le Rapport BIPM-84/2, version corrigée février 1985, 15 pages).
- 85-3 Comparaison internationale dans le domaine de pression 20 à 100 MPa (2^e phase) organisée par le Groupe de travail « Hautes pressions » du CCM, par J. C. Legras, A. Kepert, R. Lewisch, G. F. Molinar, L. Rydstrom et J.-G. Ulrich, 15 pages.
- 85-4 NRLM (Japon). — National Research Laboratory of Metrology One Kilogram Balance (NRLM-2), by Y. Kobayashi, Y. Nezu, K. Uchikawa, S. Ikeda and H. Yano, 21 pages. (Ce document est la traduction en anglais d'un article paru en japonais dans *Bulletin of NRLM*, 33, 2, 1984, pp. 7-18.)
- 85-5 NRLM (Japon). — Decimal Weights Series for Submultiples of Mass Standards to Decrease Adsorption Error using « Simple Comparisons », by S. Ikeda and Y. Kobayashi, 20 pages.

** Cette recommandation a été initialement rédigée par le CCM comme une simple déclaration. Elle a été discutée et adoptée par le CIPM comme une recommandation.

- 85-6 IMM (URSS). — Méthode de mesure directe de la masse volumique de l'air, par I. V. Pavlov, S. I. Toropine et V. S. Snégov, 8 pages.
- 85-7 IMM (URSS). — Méthode de détermination de la position d'équilibre du fléau de balance étalon pour une période d'oscillation, par I. V. Pavlov, S. I. Snégov et V. S. Toropine, 5 pages.
- 85-8 Report of Working Group-2 « Direct Measurement of Air Density » to the CCM, June 1985, by D. B. Prowse, 4 pages.
- 85-9 NBS (États-Unis d'Amérique). — Note on the new formulations of f , p_{sv} , and Z , by R. S. Davis, 11 pages.
- 85-10 CCM Medium Pressure Working Group Chairman's Report, April 1985, by P. R. Stuart, 2 pages.
- 85-11 Report on the work carried out by W. G. Mass-4 (Étalons en acier inoxydable), by M. Plassa, 19 pages (y compris 10 annexes).
- 85-11 bis IMGC (Italie). — Report on the meeting of WG-Mass 4, by M. Plassa, 2 pages (y compris 1 annexe).
- 85-12 Low Pressure Working Group Progress Report, April 1985, by C. R. Tilford, 8 pages (en annexe : Tilford, C. R. Zero stability and calibration results for a group of capacitance diaphragm gages, *J. Vac. Sci. Technol.* A3, 1985, pp. 1731-1737).
- 85-13 Report on the activity of the BIPM Working Group on « High Pressures » (Period : June 1981 — June 1985), by G. F. Molinar, 25 pages.
- 85-14 BIPM. — La balance à suspensions flexibles du BIPM, par T. J. Quinn et C. C. Speake, 9 pages (textes français et anglais).
- 85-15 NBS (États-Unis d'Amérique) et BIPM. — Rapport sur la comparaison d'étalons de masse de 1 kg en platine iridié et en acier inoxydable entre le National Bureau of Standards et le Bureau International des Poids et Mesures, par R. S. Davis et G. Girard, 11 pages.
- 85-16 BIPM. — La fabrication des étalons de masse de 1 kg en platine iridié, par T. J. Quinn, 6 pages (textes français et anglais).
- 85-17 Rapport des travaux du Groupe de travail Masse 3 « Conservation des étalons de masse », par G. Girard, 7 pages.

- 85-17 bis Rapport du Groupe de travail Masse 3, par G. Girard, 1 page.
- 85-18 BIPM. — Stabilité des Kilogrammes en platine iridié, par G. Girard, 2 pages.
- 85-19 Report on the activities of the « Force » Working Group of the CCM in the period 1980-1985, by A. Bray, 50 pages.
- 85-20 INM (France). — Quelques considérations sur l'étalonnage des boîtes de masses en série fermée, par P. Riéty, 3 pages.
- 85-21 INM (France). — Le polissage et l'ajustage des masses étalons à l'Institut National de Métrologie, par R. Foucart, 3 pages.
- 85-22 INM (France). — Baromètre à piston tournant asservi pour la mesure de la pression atmosphérique, par P. Riéty et P. Desbordes, 2 pages.
- 85-23 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Consideration of air buoyancy for mass measurements, 4 pages (en annexe : Balhorn, R. Experimentelle Bestimmung der Luftdichte durch Wägung beim Massevergleich, *PTB-Mitteilungen*, 93, 1983, pp. 303-308).
- 85-24 PTB (Rép. Féd. d'Allemagne). — Determination of 1 kg mass standards by use of a hydrostatic weighing method, 11 pages.
- 85-25 BIPM. — Note concernant le point 9a de l'Ordre du jour du CCM-1985, par G. Girard, 2 pages.
- 85-26 Report of CCM Working Group M5 on the density of liquids and solids, 17 pages (y compris 3 annexes).
- 85-27 NRLM (Japon). — Progress of the studies on the standards of mass and related quantities in NRLM, Tsukuba, since 1981, by K. Iizuka, 7 pages.
- 85-28 CSMU (Tchécoslovaquie). — 10 kg standard balance of the CSMU for calibration of working standards from 1 kg to 10 kg, by R. Spurny, 9 pages.
- 85-29 Working Group for High Pressure. — Meeting held at Laboratoire National d'Essais on 17 June 1985, 5 pages.
- 85-30 Report of the 1st meeting of CCM WG-M5 in Turin (revised), by K. Iizuka, 2 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.

NOTE
ON THE ORGANS OF
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 worldwide 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 1985 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 13 144 000 gold francs, approximately 23 850 000 French francs (in 1985).

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 worldwide 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 2nd meeting

1. Opening of the meeting :
 - Designation of a rapporteur.
 - Approval of the draft agenda.
 2. Reports of the Working Groups :
 - Direct measurement of air density.
 - Maintenance of mass standards.
 - Stainless-steel mass standards.
 - Density of liquids and solids.
 - Force.
 - High pressures.
 - Medium pressures.
 - Low pressures.
 - Very low pressures.
 3. Presentations of special work :
 - New developments of prototype balances.
 - Surface analysis of materials used for the construction of mass standards.
 4. Problems concerning the kilogram :
 - Preparation for the 3rd periodic comparison of national prototypes.
 - The definition of the kilogram.
 - Sanctioning of prototypes.
 5. Miscellaneous :
 - Publication of documents.
 - Report to the CIPM and Recommendations.
 - Working Groups.
 - Future meeting.
-

REPORT
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES
(2nd Meeting — 1985)
TO THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by M. KOCHSIEK, Rapporteur

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) held its second meeting at the Bureau International des Poids et Mesures, at Sèvres, on Tuesday 18th and Wednesday 19th of June 1985.

The following were present :

A. PERLSTAIN, member of the CIPM, president of the CCM.

The delegates from member laboratories :

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

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Bratislava (R. SPURNÝ).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (D. B. PROWSE).

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad (I. V. PAVLOV).

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

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. S. DAVIS, V. BEAN).

National Institute of Metrology [NIM], Beijing (LUO Diming).

National Research Council [NRC], Ottawa (L. MUNRO).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (S. J. BENNETT, P. R. STUART).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Ibaraki (K. IZUKA).

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

The Director of the BIPM (P. GIACOMO).

Invited guests:

International Organization for Legal Metrology [OIML], Paris
(F. PETIK).

Also attending the meeting: T. J. QUINN, deputy director of the
BIPM; J. TERRIEN, director emeritus of the BIPM; G. GIRARD,
J. BONHOURE, MME M.-J. COARASA [BIPM].

1. Opening of the Meeting

The President opens the session by welcoming the participants.
Mr. Kochsiek is nominated as rapporteur, and the agenda is approved
after a few changes in chronological order.

2. Reports of the Working Groups

The second item on the agenda being the reports of Working
Groups, the President asks Mr. Prowse to present the report of his
Working Group on:

2.1. Direct measurement of air density

Mr. Prowse refers to document CCM/85-8. A questionnaire on the
direct measurement of air density was sent to 44 laboratories around
the world. Replies were received from twenty-four of these laboratories.
The following is a summary of the main conclusions.

a) Nineteen laboratories have platinum-iridium kilograms.

b) All laboratories calculate the air density from measurements of
pressure, temperature, relative humidity and CO₂ content. Most
laboratories use the new equation recommended by the CIPM. Only
two laboratories use other formulas; two laboratories did not reply.

A variety of instruments are used for the measurement. Eleven
laboratories measure the CO₂ content (chiefly with infrared analysers).
The uncertainties in the individual measurements cover the following
ranges:

Pressure: ± 1 to ± 100 Pa, Temperature: ± 2 to ± 200 mK,
Humidity: $\pm 0,5$ to ± 10 %, CO₂ content: ± 10 to 50 parts in
10⁶.

For twelve laboratories this is not sufficiently accurate for their
present and future needs. Only for five laboratories is this sufficiently
accurate, all of which have stainless-steel standards calibrated elsewhere.

Seven laboratories are either preparing to measure air density directly,
or planning to. One laboratory is using direct measurement in its most
accurate mass work.

Six of the laboratories which obtain the values of air density by
direct measurement indicated that they were using a method that
depended on the difference in volume between two objects of similar
mass. The uncertainty ranged from 1 part in 10³ to about 2 or 3 parts
in 10⁵. The difference between the direct measurement method and the
theoretical calculation is quoted as about 1 part in 10⁴.

c) Nineteen laboratories considered that there was a need for further
research into the measurement of air density. Some of the suggestions
were:

- Research to determine the air density by direct weighing.
- Pressure-sealed balance is necessary to exclude short-term changes
in atmospheric pressure.
- Masses of different volume (platinum and Pyrex) weighed on a 20 g
balance.
- Measurement of refractive index.
- Vibrating-tube densitometers.
- Research on regionally applicable air composition.
- Compare only mass standards of moderate density.
- Compare masses in vacuum or in pure gases.
- Estimate the air density from a high-precision determination of the
gas constant, R .
- Compare masses of different volumes or measure some density-
related property such as the refractive index.
- Such research should be combined with studies of surface effects of
relative humidity (a larger sampling of mass standards in actual use
should be included).
- Further development of the gravitational method and unification of
measurements.

d) To the question as to whether there is any benefit in devising some equipment (for example, two dissimilar objects of about the same mass) to be sent to laboratories as a means of assessing the capability of measuring air density, most laboratories replied in the affirmative.

The question arises as to whether it is worth putting effort into improving air-density measurement or into changing the primary standard of mass from platinum-iridium to stainless steel. Even if stainless steel is used, not every laboratory will give up platinum-iridium (particularly the BIPM) and so there will still be some need for the precise measurement of air density. In any case, the air-buoyancy correction will continue to be necessary in all high-accuracy weighing and so such a change would in no way resolve this problem.

Discussion resulted in the following points being presented as possible areas of activity for the Working Group in the next few years:

1. With the new balances, capable of accuracy of 1 μg or less, that are being constructed by a number of laboratories, there is a real need for more accurate measurements of air density.
2. The limits of the air-density equation recommended by the CIPM need to be determined experimentally.
3. Continued work on methods of determining air density was advocated.
4. The effects of humidity and surface state on the weighing of masses need further study.

During the discussion, reference was made to the documents CCM/85-6, CCM/85-9 and CCM/85-23.

The President then asks Mr. Girard to present his report on the activities of his Working Group:

2.2. Maintenance of mass standards

Mr. Girard refers to document CCM/85-17. This Working Group dealt with the following questions: methods of cleaning, containers for standards, effects of humidity on the mass of standards, polishing of standards, weighing schemes, balances for high-precision mass comparisons.

Methods of cleaning

The method of cleaning used by the BIPM seems to be very effective. The prototypes are first cleaned with benzine and then with

alcohol using a chamois leather; they are afterwards placed under a jet of steam from doubly-distilled water. The results presented by the BIPM show that it is necessary to do this at least twice. All other participants have problems with cleaning. Very often, prototypes are only cleaned with brushes as there is a lack of long-term experience. Nowadays, it seems more important than ever to ameliorate cleaning, as surface contamination, especially that caused by hydrocarbons, increases from year to year.

New containers fitted with 1 μm pore filters have been constructed; it is still too early to draw conclusions.

Effect of humidity

Two institutes, the NRLM and the PTB, have determined the effect of humidity on the mass of standards. It is recommended that this effect on bulk material be measured by producing 50 g wafers of platinum-iridium and subjecting them to the same treatment as used on the standards.

Polishing of standards

To reduce the effects of surface pollution, standards having an improved surface finish have been made. The BIPM uses diamond machining for platinum-iridium and the INM has made a special design for polishing, even on a cylindrical surface.

Weighing schemes

Some improvements in weighing schemes have been published.

High-precision balances

It seems necessary to discuss at least the trends in the research of prototype balances, because this field is not represented in any Working Group. Several institutes have improved the construction of their balances, e.g. NRLM, CSMU, INM. New principles are being investigated: the BIPM has been working on a balance using flexible strips instead of knives and planes, the PTB on a device based on the hydrostatic principle. The latter is already in use and has a standard deviation of a comparison of less than 5 μg in 1 kg.

A report on comparison measurements with 1 kg mass standards of platinum-iridium and stainless steel between the NBS and the BIPM is included in the discussion (document CCM/85-15). Mr. Quinn describes the production of seven new platinum-iridium prototypes and in

particular the surface treatment by means of diamond machining (document CCM/85-16). Mr. Riéty reports on the treatment of mass standards in the INM (document CCM/85-21).

The President then asks Mrs. Plassa to present her report on the activities of her Working Group.

2.3. Stainless-steel mass standards

Mrs. Plassa refers to document CCM/85-11. The Working Group started its activities at the end of 1982, with a questionnaire addressed to all the CCM member laboratories, the purpose of which was to collect information on the experience acquired and the investigations in progress concerning stainless steels or superalloys suitable for the construction of mass standards. The twelve replies dealt with the following main aspects: magnetic properties, stability in time, effects of cleaning, surface properties, machinability.

Selection of a suitable material

In the past, various stainless steels or cobalt or nickel superalloys have been both studied and used. In the opinion of the Working Group it is not essential to obtain a material with density as close to 8 000 kg/m³ as possible, as long as the correction for air buoyancy remains small for the usual stainless steels. More important characteristics seem to be stability in time, resistance to aggressive agents and magnetic susceptibility.

Stability of mass standards

Some institutes have been working on stainless-steel standards for years, but stability tests are limited by the uncertainties arising from the air-buoyancy correction and the standard deviation of the balances. Because of this, research is centred on the acceleration of corrosion tests.

According to the data so far available, all the materials investigated show good stability; but the data for all the materials are perhaps affected by greater measurement uncertainty. Therefore, additional systematic and comparative tests on the proposed materials with as small an uncertainty as possible seem indispensable.

The following methods are used by different institutes:

— Evaluation of gas contents by vacuum outgassing at high temperatures;

- Determination of surface composition by Auger electron spectroscopy;
- Metallographic characterization of stainless steels;
- Corrosion tests with chemical agents;
- Polishing effects on susceptibility.

Up to now, all institutes have been working with their own procedures, therefore results are not directly comparable.

The Working Group recommended that special research be carried out by certain institutes: the NRLM and IMGC corrosion tests and surface analyses and the PTB a surface study by ellipsometry. Other testing procedures should be developed to study other properties of the materials.

The President then asks Mr. Iizuka to present his report on the activities of his Working Group.

2.4. Density of liquids and solids

Mr. Iizuka refers to document CCM/85-26. The Working Group, consisting of seven members, has initiated its work by collecting information on the precise measurement of density of liquids and solids as described in document CCM/85-26. The questionnaire prepared by Working Group members was circulated among 36 institutes in 1982 and 28 of those sent replies. These are summarized in Appendix 1 of the document. There was agreement on the proposal for an international comparison of density measurement on solid objects and the NBS accepted the role of pilot laboratory.

The Working Group has met twice since its formation (on the occasion of the IMEKO TC3 Conference in Kobe in September 1984 and on 14th June 1985 at the IMGC, Turin).

In the two meetings, the Working Group reviewed bilateral comparisons of density measurement, examined the plan for the new international comparison organized by the Working Group and prepared by the NBS as the pilot laboratory, and exchanged information on density standards and measurements.

The results of the discussion in Turin can be summarized as follows:

A review of bilateral comparisons

Miss Peuto reported on the current intercomparisons of her density standard with the NBS, PTB and CSIRO using solid standards. All the results, including preliminary ones, showed agreements within

$\pm 1 \times 10^{-6}$, while the deviations from the density table of water were also within $\pm 2 \times 10^{-6}$. Mr. Davis also presented the result of an intercomparison with the CSIRO by using Si crystals which again showed an agreement within the uncertainty of measurement in the respective laboratories amounting to less than $\pm 1 \times 10^{-6}$.

Plan of a new international comparison (with the NBS as pilot laboratory)

The planned international comparison comprises the measurement of a silicon crystal cylinder of about 800 g and a stainless steel cylinder of about 1 kg by each laboratory of the Working Group members. Two sets of the objects were prepared and are to be circulated among the laboratories divided into two groups. The protocol prepared by Mr. Davis was examined by the members and modified on a few points as follows:

- Use of Bigg's table on the thermal expansion of water if needed;
- Use of Bignell's formula to correct for the effect of the dissolved atmospheric gas;
- Mention of the cleaning method used for the object.

The measurements will start in September 1985 and are expected to be finished within one year if everything goes well. The Working Group will reconsider the possibility of expanding the circulation of the objects among other laboratories after analysing the results of the measurements by the seven laboratories.

A review of the present state of the art of density standards

Mr. Wagenbreth reported PTB studies on the effect of dissolved atmospheric gases on the density of water and on the difference of silicon-crystal densities by means of two different versions of the flotation method. During the first study a maximum effect of dissolved gas as a function of temperature was observed, which confirms the results obtained by Marek. Mr. Wagenbreth said that the PTB will try to perform measurements above a temperature of 8 °C.

Working Group members also discussed the position of water as the density standard. They are in agreement with the view that the uncertainty of the density of water amounts to 2×10^{-6} to 3×10^{-6} , as there is still an appreciable uncertainty in the effect of the temperature and the dissolved gas, although that of the isotopic composition has been established to a satisfactory level.

The density of mercury was another topic of the meeting and Mr. Archbold stated that the NPL has initiated an investigation into the re-determination of the density. Some concerns on this subject were

voiced by the CSIRO, NBS and NRLM. The difficulty in determining the isotopic abundance in mercury was pointed out.

The President then asks Mr. Bray to present his report on the activities of his Working Group:

2.5. Force

In his report Mr. Bray refers to document CCM/85-19. The following points describe schematically the activities developed during the period 1980-1985.

International Conferences and Round Tables

Some of the Conferences and Round Tables were organized by the IMEKO Technical Committee TC-3 «Measurement of Force and Mass»; others were organized in cooperation with other organizations.

The conferences were held separately or as sections of other international conferences. The Round Tables generally took place during the Conferences. The papers presented were published in conference proceedings, whereas Round Table contributions and discussions were normally published separately.

Calibration of force and mass transducers

The standardization activity connected with mass and force transducers concerns, on the one hand, methods for transducer calibration by means of primary standards and, on the other hand, the use of transducers for the verification of universal testing machines.

Recommendation IR-60 «Metrological regulations for load cells» prepared by the OIML prescribes the main metrological characteristics and verification procedures for load cells employed in static mass measurements. The draft «The calibration of proving devices used for the verification of testing machines» prepared by ISO concerns the calibration of proving devices for the static verification of testing machines.

International intercomparisons of force-standard machines

During the period under consideration several intercomparisons were undertaken, some of them organized bilaterally, others among a number of laboratories, one among them acting as pilot laboratory; others have been organized by the Bureau Communautaire de Référence (BCR) of the European Economic Community (EEC). The purpose of this activity is to establish a network connecting metrological laboratories, with the final goal of harmonizing the characteristics of the primary

force-standard machines that are used to calibrate force and mass transducers. So far, owing to these intercomparisons, the network in question connects primary laboratories in Europe, the USA, Japan and China.

New developments in force transfer standards

This activity is developing along two lines, both concerning methods and techniques for force-standard transfer. The aim of the former line is the improvement of the accuracy of standard machines; that of the latter, an increase in the range of force transfer standards. In order to achieve better accuracy, new multi-component dynamometers have been designed and constructed which measure parasitic components generated by a standard machine. The transfer of force covering a wide range can be obtained by new types of axial dynamometers, following the increasing capacity of standard machines.

Work in progress

To meet the increasing demands for force transducer calibration, two new standard machines have been installed: one at the Laboratoire National d'Essais (LNE), Paris and the other at the Office Fédéral de Métrologie (OFMET), Wabern. Both are high-capacity deadweight machines of 500 kN and 450 kN, respectively. Their metrological characteristics will be evaluated in the near future.

Another task that is being carried out concerns the intercomparisons of calibration certificates issued by EEC primary laboratories. For this purpose, two load cells will be used up to 1 MN and circulated among several laboratories. This «audit», under the auspices of BCR, will make it possible to compare methods and data evaluation.

Mr. Peters reported on the actual state of the metrological investigations of international comparison measurements. In future, multicomponent transducers will be of increasing importance for the investigation of transverse forces on force-standard measuring machines.

The President then asks Mr. Molinar to present the report on the activities of his Working Group.

2.6. High pressures

In his report Mr. Molinar refers to documents CCM/85-2, 3 and 13. International pressure comparison measurements in the range from 20 to 100 MPa are being carried out in accordance with a program submitted to the participants of the 1st meeting of the CCM (1981). The main object of the comparison is a verification of the uncertainty within which each participating laboratory can make relative pressure measurements in the range from 20 to 100 MPa in a liquid medium in static conditions.

The method used in the comparison measurements consists of the determination by each participant of the effective area A_0 at atmospheric pressure and the pressure coefficient λ of the effective area of the piston-cylinder system (PC system) of a pressure balance serving as a transfer standard.

The measurements are divided into three phases in each of which, besides the pilot laboratory, four institutes participate. On completion of each phase of the comparison, there is a redetermination of the quantities A_0 and λ by the pilot laboratory, LNE (France).

The results of phase 1 are to be found in the Rapport BIPM-84/2. A corresponding report on phase 2 is in preparation. The measurements of the third phase are expected to be completed in 1985.

Two problems are already clearly recognizable:

- The stability of the metrological data of the transfer standard's piston-cylinder assembly does not completely fulfil expectations.
- Considerable discrepancies between laboratories in the determination of the pressure distortion coefficient λ are evident.

The variations observed in the metrological data of the transfer piston-cylinder assembly are sufficiently small not to endanger the overall results expected of the comparison measurements, and can moreover be taken into account by means of appropriate corrections in the overall evaluation. It is therefore expedient to continue the measurements.

The lack of agreement of the values assigned by the participants to the pressure distortion coefficient of the transfer piston-cylinder assembly suggests that this problem should be made the object of future investigations by the Working Group. In view of the usual methods of realizing the pressure scale by means of pressure-balance comparison measurements in the range above 100 MPa, this problem is of great significance.

The Working Group will check the possibility of carrying out comparison measurements in the measuring range above 700 MPa. In this connection, first the question of suitable transfer standards (secondary standards or pressure-multiplying devices) and appropriate measuring methods must be clarified. It is recommended that theoretical work of the individual institutes already started with respect to the question of the pressure distortion coefficient be continued.

In order to comply with the requests of institutes not involved so far, it is intended that a fourth phase shall follow the three phases of the comparison measurements in the measuring range up to 100 MPa so far planned. It will be begun in 1986. No further comparison phases have been planned.

The participants of the discussion expressed the wish to make the

information of this Working Group also available to other interested parties.

The President then asks Mr. Stuart to present the report on the activities of his Working Group.

2.7. Medium pressures

In presenting his report, Mr. Stuart refers to document CCM/85-10, which has been updated to include the latest experimental results and the decisions made at the meeting of the Working Group held on 17th June 1985.

The Working Group is responsible for the pressure range 1 kPa to 1 MPa. At its inaugural meeting in 1979 it was agreed that the Group's first priority should be the organization of an intercomparison in the pressure range 10 kPa to 110 kPa. At that stage, 21 countries and the BIPM itself all expressed a wish to participate. Since then, 3 more countries have enquired about participation. Detailed arrangements for an intercomparison were put forward in a proposal (document CCM/81-34). The pilot laboratory is the NPL (UK).

It was decided that for the first stages of the intercomparison the most suitable transfer standard would be a gas-operated pressure balance (piston gauge). This would be used as a pressure generator, and a reproducibility of better than $\pm 0,5$ Pa would be required. Such an instrument was not available commercially and had to be specially developed. The base of the instrument and the ring weights were designed and constructed by the CSIRO (Australia). Unlike most commercial pressure balances, the rotation drive for the piston is symmetrical and the drive motor is mounted outside the base unit to reduce heating effects. The ring weights are held by a mechanism mounted below the top plate and may be loaded and unloaded without breaking the vacuum when working in the absolute mode, thus greatly reducing the time required to obtain a complete set of observations. Two piston-cylinder assemblies (one to act as a reserve) were supplied by the NBS (USA). These were of a commercial design (CEC), but selected for repeatable performance. To complete the system, the NPL (UK) supplied a vacuum gauge, a volume displacer for the fine adjustment of pressure and a thermistor thermometer, the probe of which is embedded in the cylinder mounting.

During assessment, the NPL primary standard barometer was used to take repeated measurements of the pressure generated with each of 10 different ring/weight combinations. For each combination a standard deviation was evaluated; the mean of the standard deviations was

0,09 Pa, i.e. at atmospheric pressure the standard deviation was less than 1×10^{-6} . The temperature coefficient for the effective cross-sectional area of the piston-cylinder combination was also measured at the NPL and found to be very close to the manufacturer's stated value.

The first loop of the intercomparison took place between November 1984 and February 1985 and involved the primary barometers at the NPL, BIPM and INM. Agreement was obtained to within $\pm 0,5$ Pa throughout the pressure range 11 to 101 kPa. This agreement is within the sums of the uncertainties at the 3σ level of any two of the three participants. The difference between the values of effective area of the piston-cylinder assembly determined at the NPL before and after the first round was $0,5 \times 10^{-6}$, equivalent to 0,05 Pa. Changes in the calibration of the associated thermometer and reference vacuum gauge are unlikely to have produced additional errors greater than 0,05 Pa each. After minor modification and checking at the NPL the transfer standard is due to start on the second round, going to the CSMU, CSIRO and NBS.

The Working Group met on 17th June 1985. The results obtained in the first round were discussed and it was agreed that the present transfer standard was performing well and that no other more recently available instrument would be more suitable for the task. Several recently developed transducers have been examined to see whether they would provide a more easily usable and more robust alternative, but none is likely to meet satisfactorily the requirements of good long-term stability coupled with low temperature coefficients and zero drift.

The programme for the third and following rounds was discussed by the Working Group. Since experience has shown that using and transporting the transfer standard requires 2 to 3 months per participant, it was agreed that it would be necessary to limit the number of participants in order to complete the intercomparison in a reasonable time. It was decided, and subsequently endorsed by the CCM, that participation in the intercomparison should be limited to those laboratories, about 13 in all, whose primary standards are sufficiently accurate to enable them to make a positive contribution to the understanding of the systematic uncertainties associated with this type of measurement. It was agreed that it was not the function of the intercomparison to provide calibrations of secondary or inferior primary instruments. The possibility of speeding up the intercomparison by bringing a second pressure-balance transfer standard into use was considered to be impracticable due to lack of money and staff time.

At its meeting on 17th June 1985 the Working Group also considered whether it would be desirable to initiate an intercomparison of standards for measuring «gauge pressures», i.e. pressures referred to ambient

atmospheric pressure, in the range 0,1 to 1,0 MPa or above. The majority of the members of the Working Group were not very enthusiastic but nevertheless it was agreed that a questionnaire should be sent out in order to obtain a broader view. If the response to the questionnaire does indicate sufficient interest, it might be difficult to find a laboratory willing to act as pilot laboratory and also to find a laboratory or manufacturer willing to lend a suitable transfer standard.

During the discussion, Mr. Riéty draws attention to a new barometer for the determination of atmospheric pressure (document CCM/85-22). Other subjects of discussion refer to suitable materials for the piston/cylinder assembly and related influences such as temperature and magnetization.

The President then proposes that the CCM take note of the report of Mr. Tilford on the work of the Working Group « Low pressures » (document CCM/85-12).

2.8. Low pressures

Four capacitance diaphragm gauges were selected and equipped with the necessary auxiliary instruments for the international comparison measurements planned in the measuring range between 0,1 Pa and 1 kPa.

In the comparison measurements carried out from 1980 to 1982 between the NBS (USA) and the NPL (UK), which were intended to demonstrate the suitability of the selected measuring method and the stability of the transfer standards, the pressure gauges showed indications of unexpectedly large drifts. The differences caused by this between the calibration curves measured in both institutes are considerably greater than the measurement uncertainty expected for the standard.

Even though, as a result of this, the real objective of the comparison measurements cannot be achieved without limitations, they are to be continued, first at the CSIRO (Australia) and then at the PTB, since at present, no alternative to the capacitance diaphragm gauges is in sight.

The President then asks Mr. Jäger to present the report on the activities of the Working Group on Very Low Pressures (Chairman Mr. Messer).

2.9. Very low pressures

In his report Mr. Jäger refers to document CCM/85-1. Pressure comparison measurements with a spinning rotor gauge used as a transfer standard were begun in the measuring range between 10^{-4} Pa and 1 Pa. Up to now, five institutes as well as the pilot laboratory have participated in these measurements.

The comparison measurements are based on the participants' determination of the values $\sigma_{0,\text{eff}}$ (effective coefficient of energy and tangential momentum transfer, the limiting value for low pressures). Changes with time of this value, which are a characteristic of the rotors used, are taken into account in a star-shaped organization of the comparison measurements. This enables regular measurement checks to be carried out in the pilot laboratory and the relevant corrections of the comparison results to be made.

Argon and — for the first time in comparison measurements — hydrogen were used as measuring gases, though measurements with hydrogen were not possible for all the participants.

The results at present available show that, according to the rotors used, the values $\sigma_{0,\text{eff}}$ determined by the participating laboratories do not deviate from the mean value of all laboratories by more than 1,5 % for argon and 2 % for hydrogen.

Due to some new delays in the performance of the intercomparison measurements it is to be noticed that the project cannot be concluded in 1985 as previously expected; therefore the pilot laboratory will probably be able to submit for discussion a final report to the members of the Working Group not earlier than spring 1986.

3. Presentations of work

The next item on the agenda being the presentation of work being carried out in a number of laboratories, the President asks Mr. Quinn to report on:

3.1. The BIPM flexure-strip balance

At the BIPM a prototype of a novel design of flexure-strip balance has been built (document CCM/85-11). The main aim is to produce an equal-arm balance, having flexure-strip suspensions, for the comparison to the highest accuracy of 1 kg mass standards using the substitution method. In this prototype, however, no provision is made for substitution but only for lifting one of the masses from a pan and replacing it again. An adjustable stop limits the movement of the suspension during this operation so that the flexure strips remain under constant tension. It is considered that this operation, repeated a number of times, is a sufficiently critical test of the balance while avoiding the considerable complication of a mass exchanger.

The balance incorporates three flexure-strip suspensions, a central one which supports the whole of the beam and pan assemblies and

two end suspensions supporting just the pan assemblies. Each flexure strip is made from a block of precipitation-hardened Cu-Be alloy.

The pan suspensions are made in three sections linked by a novel form of knife-edge gimbal. The suspensions are designed to minimize the torque on the end flexure strip due to eccentric loading of the pan.

The beam is made from an aluminium alloy and machined from a single block of material. During operation the beam is servo-controlled to maintain it in a given position relative to the upper base plate of the balance. Independent of the servo-system, an optical interferometer at one end of the beam provides information on its position. This has turned out to be an invaluable diagnostic tool.

The most critical test for which the prototype balance has been designed is that in which the servo current is monitored during a series of raisings and lowerings of a kilogram. The repeatability of the mean servo current after each raising and lowering operation is an indication of the repeatability of the balance. The standard deviation of the means about a smooth curve during a series of such operations is a good indication of the best that might be achieved during a real series of weighings. So far, the best that has been achieved is a standard deviation equivalent to $0,28 \mu\text{g}$ for a set of fifteen raisings and lowerings of a 1 kg mass.

The principal component in the noise on the servo current is that due to ground movements, mainly horizontal movement and tilt. The rms angular noise in the beam under the quietest conditions is about $0,3 \text{ nrad}$, equivalent to about $0,3 \mu\text{g}$ in the frequency band near 1 Hz. During the winter, when ocean-driven ground vibrations and meteorological conditions are much worse, the noise level can be ten times greater than this. Work is at present under way aimed at providing some isolation from horizontal ground vibrations.

The President then asks Mr. Kochsiek to present his report on :

3.2. Determination of 1 kg mass standards by use of a hydrostatic weighing method

A 1 kg mass comparator has been developed in the PTB (document CCM/85-24) by use of the hydrostatic force acting upon a float to compensate the force due to gravity acting upon a 1 kg mass standard loaded into the float. This method offers advantages due to the direct force compensation without any lever transmission and mechanical joints

such as knife edges, as well as frictionless bearing in the liquid and low sensitivity to mechanical disturbances.

The changes of the vertical force acting on the float due to changes of the loaded mass are measured by an electromagnetic system of compensation and position control, with the additional advantage of preventing error influences due to motions of the float in the liquid.

The exchange of masses, the weighing procedure and the measurements of the surrounding influences due to temperature, pressure and humidity are performed automatically by computer control, which yields weighings with a minimum of disturbances. The weighings are performed in the double-substitution manner, including the sensitivity determination.

The standard deviation for the comparison of 1 kg standards with almost the same density is now about $3 \mu\text{g}$.

No systematic differences between mass comparisons made with the hydrostatic balance and with a conventional prototype balance were found. The main uncertainty influence of the hydrostatic method is due to small, short-term variations of atmospheric pressure, changing the buoyancy in the liquid and in air. To eliminate this influence a pressure-tight housing is being prepared for the balance. By this means, together with the mounting of the set-up under improved environmental conditions on the ground-floor of the building, a further increase in accuracy is expected.

The President then asks Mr. Riéty to present a report on :

3.3. The INM mass comparator

The mass comparator recently installed at the INM has the following characteristics : balance of the single-pan type ; weighing by substitution by applying the « constant load » method for exchanging the masses on the pan ; hanger suspended from crossed knife edges and in two parts pivoted by means of a gimbal joint ; placing and exchanging of the masses on the pan by means of a circular conveyor carrying up to 4 masses ; servo-positioning of the balance beam and electrical measurement of the disequilibrium ; fully automatic operation ; possibility of also comparing masses in submultiples of 500, 200 and 100 g.

The balance beam with the control device (displacement sensor and servo-control coil) is a massive beam made of aluminium alloy. The various parts of the hanger, exactly tailored as to mass, are made of

a very stable aluminium casting alloy. The bearings consist of tungsten pivots and sapphire planes. The different elements were aligned using a laser beam.

The conveyor consists of an annular disk with 4 oblong openings, one part of which is narrow whereas the other part is widened. At the beginning, the masses are deposited in locations at the level of the narrow part of the opening. The conveyor is then turned in such a way that the mass to be weighed is directly above the pan. A piston which is driven by a cam plate and passes through the centre hole of the pan and the conveyor opening lifts up the mass. The conveyor turns in such a way that the widened part of the opening is set free and now the piston deposits the mass on the pan of the balance. The rotation of the conveyor takes place by means of a remote-controlled stepping motor with a reduction gear of very large ratio, thus ensuring a very precise positioning. The mass is placed on the pan very gently, the coil being fed in such a way as to retain the upper part of the hanger engaged for a short period of time. The control device is thus only connected when the balance is practically in equilibrium, and the beam arrives at its final position smoothly and without any oscillation. The comparator is mounted on an anti-vibration table.

All weighing operations are programmed by means of a microprocessor and the results are put out directly in the form of a table which contains, in addition to the final mass value corrected for the air buoyancy, all information which allows the measurement conditions to be reproduced.

3.4. Discussion

The discussion shows that there has been much activity in the last few years in the field of high-precision balances. Three different principles are explained on this occasion.

Mr. Bennet mentions that the NPL is constructing a high-precision balance, the design of which is similar to the balance in the BIPM. In this connection, beam oscillations will be optically registered and the density of the ambient air will be directly determined.

Mr. Pavlov refers to the procedures for the direct determination of the air density in the IMM (document CCM/85-6).

Mr. Iizuka reports on the high-precision balance in the NRLM (document CCM/85-4), Mr. Spurny on a newly-developed 10 kg balance which can also be used for mass comparison of several weights with the aid of a rotating table (document CCM/85-28).

Mr. Davis gives a short report on the reconstitution of an older Voland prototype balance. Measurement results are not yet available.

The President then asks Mrs. Plassa to present her report on:

3.5. Surface analysis of materials used for the construction of mass standards

The purpose of the communication was to stress the role played by surface phenomena in determining the mass stability of mass standards, to describe some of the techniques of surface analysis applicable to the study of these phenomena, and to report some results obtained by the IMGC.

The most important surface effects that influence mass stability, apart from chemical reactions, are adsorption (physical or chemical), and contamination. Moreover, it must be remembered that the surface composition of alloys is usually very different from the bulk composition, because of surface segregation of components, and that surface segregation is affected by preparation methods.

Of the more than a hundred modern techniques of surface analysis, X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS or ESCA) and Auger Electron Spectroscopy (AES) are the most useful to study the composition of metal surfaces, both for actual components and for the foreign atoms bonded to the surface. These methods have been applied at the IMGC to study the surface properties of specimens prepared in the same way as standard mass standards, i.e., polished with diamond powder. Four different stainless steels and two Ni-Cr alloys of the Nimonic series have been analysed.

XPS analyses show that the surface is covered with carbon and oxygen atoms (hydrogen cannot be detected), and that the first metal layer is chromium-enriched and nickel-depleted. The ratio of the surface-to-bulk concentration varies for chromium from 1,4 to 2,8, for nickel from 0,3 to 0,7, and for iron from 0,6 to 1,1. The chemical shifts of the peaks of the different elements show that Cr is oxidized to Cr_2O_3 , Ni to NiO, Fe to Fe_2O_3 (in the outer layer) and to FeO, and that oxygen is present not only in the form of oxide, but also as -OH.

AES analysis, associated with ion bombardment, allows not only the elemental concentration at the surface to be studied, but also its variation to be determined as a function of depth. Results show that the outer layers, in this order, consist of carbon (in the form of hydrocarbons or carbon oxides), oxygen, a chromium-enriched layer, a nickel-enriched layer and a carbon-enriched layer (probably containing carbides), while the iron concentration increases smoothly up to its bulk value.

In short, very few metal atoms are found within a depth of 1 or 2 nm, and the surface consists mainly of contaminants or adsorbed

substances; from 2 to 5 nm the alloy components are present in anomalous concentrations, and only at a depth of about 5 nm is the composition the same as that of the bulk.

Besides carbon, other contaminants are found on the surfaces, such as Na, Ca, Cl, S, probably absorbed from the air, and Zn, brought to the surface during polishing. An increase of foreign-ion concentration has been observed during ageing, while no significant difference has been detected in the contamination by organic substances. Results obtained by other authors show that Ni-Cr alloys are very active in the adsorption of organic vapours, so that after some hours surfaces are strongly contaminated; contamination continues to increase slowly in subsequent days.

The thickness of the oxide layer is different with different alloys, being higher with stainless steels than with iron-free alloys; in any case, it increases with time. As the growth of the oxide layer is due to chemisorption of oxygen from the air, it brings about an increase of the mass of the solid. On the basis of simplifying assumptions, a mass increase of about 20 µg in the first year has been estimated for stainless-steel kilograms.

Preliminary analyses have been carried out also on a platinum-iridium specimen diamond-machined by the BIPM. Results show a platinum enrichment at the surface, the absence of an oxide layer, and the presence of carbon, probably due to contamination by organic substances.

The fact that surface-analysis techniques can be generally applied only to special small-size specimens represents a limitation, excluding surface studies on actual mass standards. Should they be applied, for instance, to investigate the effect of storage conditions, *ad hoc* specimens ought to be prepared and treated in the same way as mass standards.

The conclusion is that XPS, AES and possibly other similar techniques are very powerful analytical tools for the study of surface effects that are thought to influence the stability of mass standards. In fact, these techniques provide different kinds of information on surfaces and could profitably be applied in the future, especially in view of the development of very sensitive balances, which will make the problem of stability of mass standards increasingly critical.

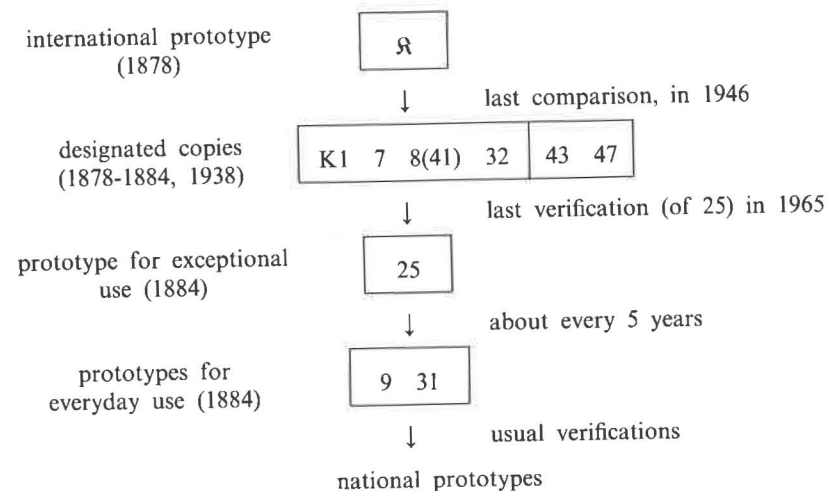
During the discussion it became obvious that new ground was broken in the course of these investigations. Mrs. Plassa was asked to report in detail on this investigation and to make her report available to the participants.

4. Questions concerning the kilogram

4.1. Preparation for the 3rd periodic verification of national prototypes

The 2nd verification of national prototypes took place between 1948 and 1953 in a number of groups, each including two of the eight designated copies (« témoins ») which were compared with the international prototype \mathfrak{K} in 1946.

The present order of priority and verification of prototypes held by BIPM is :



Before the 3rd periodic verification can be arranged, the improvements under way in the BIPM's balances (NBS-2 and the Rueprecht balance) must be completed. About two years will be needed for this. The question of what method should be used to clean the international prototype of the kilogram \mathfrak{K} has also not yet been clarified.

The only direct evidence of the stability of the mass of \mathfrak{K} and the other prototypes made of platinum-iridium is the long-term stability of the differences in mass between them. Any more direct test would suppose the existence of other mass standards which were even more stable. For these in turn the question would arise as to their mass stability in just the same way.

Unfortunately, comparisons of given individual prototypes of platinum-iridium are infrequent; the earliest are less reliable to the extent that it is only since 1946 that regular washing/cleaning of prototypes has been practised at BIPM. Weighings before washing/cleaning

show that pollution of prototypes is a non-negligible phenomenon, although after repeated washing/cleaning a stable mass is obtained. It remains to be confirmed that the washing/cleaning is not itself a cause of long-term variations in mass.

It is possible that in the future we shall have, in addition to \mathcal{R} and its designated copies, other masses for which we might make, for example, annual verifications; in this way, we might be able to study long-term effects without endangering the base of the definition of the kilogram. We are looking, therefore, for a convenient way of verifying the stability of a mass, as well as criteria for environmental conditions which are not yet established for future mass comparisons.

It is not possible, during this session, to lay down the detailed procedures for the 3rd periodic verification. However, the CCM agrees on the text of a declaration which later becomes Recommendation G2 (see p. G 62).

4.2. The definition of the kilogram

The President then opens a short discussion on the definition of the kilogram. New possibilities of realizing and defining the unit of mass were discussed (e.g. electrical methods using quantum effects). The Committee is of the opinion that the methods in question have not been perfected and are not sufficiently precise. Another subject of discussion is whether the unit of mass should in future be realized by taking the mean value of only some or all of the existing national prototypes (about forty), including the international prototype \mathcal{R} . The closing debate on this is postponed, awaiting the results and discussion of the 3rd periodic verification of national prototypes.

4.3. Sanctioning of prototypes

After a discussion of document CCM/85-25 on the present practice of sanctioning prototypes, it is proposed that the BIPM issue a Certificate after every new verification of a platinum-iridium prototype. This would be instead of (following a 1895 CIPM decision) doing so only if the mass had changed by more than 0,05 mg.

It is also proposed that the Report of the President of the CCM made to each CGPM should contain the values of mass of each platinum-iridium prototype verified since the previous CGPM.

5. Miscellaneous

5.1. Publication of documents

The report of the CCM to the CIPM is published by the BIPM. The chairmen of the Working Groups prepare short reports annually and longer ones for the CCM meetings after completion of certain work. The latter can be added as appendices to the CCM report. Besides publication in *Metrologia*, generally in an abridged form, final reports of comparisons and other work may also be published as BIPM monographs. The President drew the attention of the members to the fact that Consultative Committee documents, although not necessarily published in the report of the meeting, are kept at BIPM and copies may always be obtained on application to the Director.

5.2. Report to the CIPM and Recommendations

The report of the 2nd meeting of the CCM will be presented to the CIPM. It will comprise the two proposed Recommendations: G1 (1985) concerning the maintenance of kilogram standards and G2 (1985) concerning the preparation of the 3rd verification of national standards of the kilogram.

5.3. Working Groups

The division into groups fixed at the 1st CCM meeting in 1981 for the purpose of forming a working basis has proved effective. For future work, however, it should be considered to what extent a merging of various Working Groups with the same or similar topics would be expedient. An expansion of the groups to encompass new topics should only then take place when these topics cannot be taken on by other groups. In future, the membership of a laboratory will expire if no activities of any kind can be shown.

The chairmen of the Working Groups should make a point of informing the BIPM of all the groups' activities.

The NRLM also wishes to participate in the « Force » and « Medium pressures » Working Groups, and the IMGC in the « Medium pressures » Working Group.

In comparison measurements, Mr. Giacomo requests that attention be paid to the Rapport BIPM-84/4 « Commentaires sur l'organisation de comparaisons internationales ».

5.4. Future meeting

The next CCM meeting is planned for 1988. The exact date will be so fixed as to allow sufficient time afterwards for the drafting of a CCM report to be submitted to the subsequent CIPM meeting.

Written documents such as research reports or proposals for action from non-member laboratories are also welcome and will be considered.

Recommendations of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées submitted to the Comité International des Poids et Mesures *

Surface condition of mass standards

RECOMMENDATION G 1 (1985)

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées,
considering

— that long-term stability is one of the essential characteristics of mass standards,

— that improvements in balances now allow variations in mass of only a few micrograms in a kilogram to be observed,

— that variations of this order have been observed and have been attributed to surface effects due in particular to atmospheric agents,

— that present methods of cleaning the surfaces of mass standards may have unsuspected effects,

— that a wide range of methods now exist for the study of the surfaces of alloys used in mass standards,

— that important results have already been obtained using these methods for the study of the surface contamination of mass standards,

recommends

— that laboratories apply the wide range of techniques now available for the study of surface composition and behaviour to platinum/10 % iridium and other alloys used in mass standards.

* These two Recommendations were approved by the CIPM at its 74 th meeting (1985)

Verification of the kilogram standards of the BIPM

RECOMMENDATION G 2 (1985) **

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, recalling Resolution 3 of the 15th Conférence Générale des Poids et Mesures (1975) is of the opinion that the time has now come to carry out the 3rd periodic verification of national standards of the kilogram and

recommends that, with this verification in view, the international prototype of the kilogram and its copies as well as the working prototypes of the BIPM be first compared with each other.

** This recommendation was first drawn up as an agreed statement of the CCM. It was considered and adopted as a recommendation by the CIPM, as well as Recommendation G 1.

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES

2^e session (1985)

	Pages
Notice sur les organes de la Convention du Mètre	v
Liste des membres	vii
Ordre du jour	x
Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par M. Kochsiek	G 1
Ouverture de la session	2
Rapports des Groupes de travail	2
Mesure directe de la masse volumique de l'air	2
Conservation des étalons de masse (méthodes de nettoyage ; effet de l'humidité ; polissage des étalons ; schéma des pesées ; balances de haute précision)	4
Étalons de masse en acier inoxydable (choix d'un matériau approprié, stabilité des étalons de masse)	6
Masse volumique de liquides et solides (présentation des comparaisons bilatérales ; plan d'une nouvelle comparaison internationale ; examen de l'état actuel de la question des étalons de masse volumique)	7
Force (conférences internationales et tables rondes ; étalonnage de capteurs de force et de masse ; comparaisons internationales de machines étalons de force ; récents progrès des étalons de transfert de force ; travaux en cours)	9
Hautes pressions	10
Moyennes pressions	12
Basses pressions	14
Très basses pressions	14
Exposés	15
La balance à suspensions flexibles du BIPM	15
Détermination de la masse d'étalons de 1 kg à l'aide d'une méthode de pesée hydrostatique	16
Le comparateur d'étalons de masse de l'INM	17
Discussion	18
Analyse de surface de matériaux utilisés pour la construction des étalons de masse	19

Questions relatives au kilogramme.....	21
Préparation de la 3 ^e vérification périodique des prototypes nationaux.....	21
La définition du kilogramme.....	22
Sanction des prototypes (le rapport du président du CCM à la CGPM devra dorénavant contenir la valeur des masses des prototypes en platine iridié vérifiées depuis la dernière CGPM).....	22
Questions diverses.....	23
Publication des documents.....	23
Rapport au CIPM et Recommandations.....	23
Groupes de travail.....	23
Prochaine session du CCM.....	24
Recommandations présentées au Comité International des Poids et Mesures ..	25
Recommandation G 1 (1985): État superficiel des étalons de masse.....	25
Recommandation G 2 (1985): Vérification des prototypes du kilogramme du BIPM.....	26

Annexe

G 1. Documents de travail présentés à la 2 ^e session du CCM	27
Notice for the reader of the English version. Avertissement au lecteur de la version anglaise.....	31
Notes on the organs of the Convention du Mètre	33
Agenda.....	36
Report to the Comité International des Poids et Mesures, by M. Kochsiek	37
Opening of the meeting	38
Reports of the Working Groups.....	38
Direct measurement of air density.....	38
Maintenance of mass standards (methods of cleaning; effect of humidity; polishing of standards; weighing schemes; high-precision balances).....	40
Stainless-steel mass standards (selection of a suitable material; stability of mass standards).....	42
Density of liquids and solids (a review of bilateral comparisons; plan of a new international comparison; a review of the present state of the art of density standards)	43
Force (international conferences and round tables; calibration of force and mass transducers; international intercomparisons of force-standard machines; new developments in force transfer standards; work in progress).....	45
High pressures	46
Medium pressures.....	48
Low pressures.....	50
Very low pressures	50
Presentations of work.....	51
The BIPM flexure-strip balance	51
Determination of 1 kg mass standards by use of a hydrostatic weighing method.....	52
The INM mass comparator.....	53
Discussion	54
Surface analysis of material used for the construction of mass standards	55

Questions concerning the kilogram	57
Preparation for the 3rd periodic verification of national prototypes	57
The definition of the kilogram.....	58
Sanctioning of prototypes (report of the president of the CCM to each CGPM should contain the values of mass of each platinum-iridium prototype verified since the previous CGPM).....	58
Miscellaneous.....	59
Publication of documents	59
Report to the CIPM and Recommendations.....	59
Working Groups.....	59
Future meeting.....	60
Recommendations submitted to the Comité International des Poids et Mesures	61
Recommendation G 1 (1985): Surface condition of mass standards.....	61
Recommendation G 2 (1985): Verification of the kilogram standards of the BIPM.....	62

Appendix

G 1. Working documents submitted to the CCM at its 2nd meeting (<i>see page G 27</i>).
--

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCÉ)

Dépôt légal, Imprimeur, 1986, n° 5363
ISBN 92-822-2094-X

ACHEVÉ D'IMPRIMER : MAI 1986

Imprimé en France