

20^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



**20^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES
(1995)**

**COMPTES RENDUS
PROCEEDINGS**

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

ISBN 92-822-2145-8
ISSN 1016-5893

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

LIST OF ACRONYMS USED IN THE PRESENT VOLUME

1. Sigles des laboratoires, commissions et conférences

Acronyms for laboratories, committees and conferences

AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
*ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Allemagne)
ASTM	American Society for Testing and Materials
*BCMN/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, IMMR-CCE, Geel (Belgique), voir IMMR/IRMM
BCR	Bureau communautaire de référence de la Communauté économique européenne/Community Bureau of Reference of the Commission of the European Communities
BEST	Bureau d'État de supervision technique, Beijing (Rép. pop. de Chine)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
*BIH	Bureau international de l'heure
BIML	Bureau international de métrologie légale
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau national de métrologie, Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
BNM-LNE	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais, Paris (France)
BNM-LPRI	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
BNM-LPTF	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
BRML	Bureau roumain de métrologie légale, Bucarest (Roumanie)
*CBNM	voir IMMR/IRMM
CCDM	Comité consultatif pour la définition du mètre
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde
CCE	Comité consultatif d'électricité
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCU	Comité consultatif des unités

* Les laboratoires ou organisations marqués d'un astérisque soit n'existent plus soit figurent sous un autre sigle.
Organizations marked with an asterisk either no longer exist or operate under a different acronym.

CEC	Commission des Communautés européennes/Commission of the European Communities
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CEM	Centre espagnol de métrologie/Centro Español de Metrologia, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrologia, Mexico (Mexique)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIPM	Comité international des poids et mesures
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSIR	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO	(ex NML) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), <i>voir</i> MSL
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
GOSSTANDART	Comité d'État de la fédération de Russie pour les normes/The State Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification, Moscou (Féd. de Russie)
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences/Working group on radiofrequency quantities
GUM	(ex PKNM) Office central des mesures/Glowny Urzad Miar, Varsovie (Pologne)
HP	Hewlett-Packard, Les Ulis (France)
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
IEC	<i>voir</i> CEI
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
ILAC	International Laboratory Accreditation Conference
IMEKO	International Measurement Confederation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
*IMM	<i>voir</i> VNIIM
IMMR/IRMM	(ex BCMN/CBNM) Institut des matériaux et mesures de référence/Institute for Reference Materials and Measurements, Geel (Belgique)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France), <i>voir</i> BNM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INPL	National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem (Israël)
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization
IPQ	Institut portugais pour la qualité/Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRL	Industrial Research Limited, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
IRMM	<i>voir</i> IMMR
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
ISO/TC12	Organisation internationale de normalisation, Comité technique 12 (grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion)/International Organization for Standardization, Technical Committee 12 (Quantities, units, symbols, conversion factors)

IUGG	<i>voir</i> UGGI
IUPAC	<i>voir</i> UICPA
IUPAP	<i>voir</i> UIPPA
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
KIAA	Korea Industrial Advancement Administration, Séoul (Rép. de Corée)
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), <i>voir</i> BNM
LEP	Laboratoires d'électronique Philips, Limeil-Brévannes (France)
LHA	Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay (France)
LNE	Laboratoire national d'essais, Paris (France), <i>voir</i> BNM
LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France), <i>voir</i> BNM
MITI	Ministry of International Trade and Industry, Tokyo (Japon)
MRI	Metrology Research Institute, Helsinki (Finlande)
MSL	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NIRH	<i>voir</i> SIS
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMi	(ex VSL) Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)
*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), <i>voir</i> CSIRO
NORAMET	North and Central American Cooperation
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud), <i>voir</i> CSIR
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
*NSIS	Norwegian Statens Institutt for Strålehygiene, Østerås (Norvège), <i>voir</i> SS
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OMS/WHO	Organisation mondiale de la santé/World Health Organization
ONU/UN	Organisation des Nations unies/United Nations
OP	Observatoire de Paris (France)
*PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miary i Jakości, Varsovie (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
SIS/NIRH	Statens Institut for Strålehygiejne/National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj (Danemark)
SISIR	Singapore Institute of Standards and Industrial Research, Singapour (Singapour)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SS	Statens Strålevern, Østerås (Norvège)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories

UGGI/IUGG	Union géodésique et géophysique internationale/International Union of Geodesy and Geophysics
UICPA/IUPAC	Union internationale de chimie pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Chemistry
UIPPA/IUPAP	Union internationale de physique pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Physics
UN	<i>voir</i> ONU
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (É.-U. d'Amérique)
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques/All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	(ex IMM) Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie)
VNIOFI	Institut de recherche de Russie pour les mesures en optique physique/All-Russian Research Institute for Optophysical Measurements, Moscou (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), <i>voir</i> NMi
WECC	Western European Calibration Cooperation
WHO	<i>voir</i> OMS

2. Sigles des termes scientifiques

Acronyms for scientific terms

ADN/DNA	Acide désoxyribonucléique/Deoxyribonucleic acid
ALGOS	Algorithme pour établir le TAI/Time-scale algorithm for TAI, BIPM
ARN/RNA	Acide ribonucléique/Ribonucleic acid
CVHT	Thermomètre à volume constant d'hélium/Constant-volume helium thermometer
DNA	<i>voir</i> ADN
EAL	Échelle atomique libre/Free atomic time scale
EIPT-68/IPTS-68	Échelle internationale pratique de température de 1968/International Practical Temperature Scale of 1968
EIT-90/ITS-90	Échelle internationale de température de 1990/International Temperature Scale of 1990
FTP	Protocole de transfert de fichiers (sur le réseau Internet)/File Transfer Protocol (on Internet)
GC	Chromatographie en phase gazeuse/Gas Chromatography
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HAMAS	Spectrométrie de masse de haute exactitude/High Accuracy Mass Spectrometry
IDMS	Spectrométrie de masse avec dilution isotopique/Isotope Dilution Mass Spectrometry
IGS	International GPS Service, <i>voir</i> GPS
IPTS-68	<i>voir</i> EIPT-68
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITS-90	<i>voir</i> EIT-90
LASSO	Laser Synchronization from Satellite Orbit
MOSFET	Transistor à effet de champ métal-oxyde-semiconducteur/Metal-oxyde-semiconductor field-effect transistor
NDIR	[Spectrométrie] infrarouge non-dispersive/Non-Dispersive Infrared [Spectrometry]
QHE	Effet Hall quantique/quantum Hall effect
QHR	Résistance de Hall quantifiée/quantum Hall resistance
RNA	<i>voir</i> ARN
SA	Accès sélectif/Selective availability

SI	Système international d'unités/International System of Units
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma/International Reference System for gamma-ray emitting radionuclides
SMOW	Standard Mean Ocean Water
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time
TT	Temps terrestre/Terrestrial Time
UTC	Temps universel coordonné/Coordinated Universal Time
UV	Ultraviolet/Ultra-violet
VLBI	Radio-interférométrie à très longue base/Very Long Baseline Interferometry

**COMPTES RENDUS DES SÉANCES
DE LA 20^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES**

Réunie à Paris en octobre 1995 sous la présidence de
Mme Marianne GRUNBERG-MANAGO
Président de l'Académie des sciences de l'Institut de France

Président par délégation
M. André BLANC-LAPIERRE
Membre de l'Académie des sciences de l'Institut de France

LISTE DES DÉLÉGUÉS ET DES INVITÉS

Mesdames, Messieurs les délégués des États signataires de la Convention du Mètre
(Les noms des membres du Comité international des poids et mesures
sont précédés d'un astérisque)

Afrique du Sud

Mme M.S.E. WIMMERS, directeur, National Measurement Laboratory, Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Pretoria.
O.A. KRÜGER, chef de la section de métrologie dimensionnelle, CSIR, Pretoria.
B.F. FOULIS, chef de section, CSIR, Pretoria.

Allemagne (République fédérale d')

E.O. GÖBEL, président, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig.
V. KOSE, vice-président, PTB, Braunschweig.
W. VON STACKELBERG, premier conseiller chargé des affaires scientifiques et technologiques à l'Ambassade, Paris.
*D. KIND, président du Comité international des poids et mesures.

Amérique (États-Unis d')

*Mme K.B. GEBBIE, directeur du Laboratoire de physique, National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg.
Mme E. WHEELER, Multilateral Affairs Officer, Bureau of International Organizations Affairs, Department of State, Washington.
B.S. CARPENTER, directeur, Office of International and Academic Affairs, NIST, Gaithersburg.

Argentine (République)

Non représentée.

Australie

B.D. INGLIS, Chief Standards Scientist, CSIRO National Measurement Laboratory, Lindfield.

*W.R. BLEVIN, CSIRO.

J.A. BIRCH, directeur exécutif, National Standards Commission, North Ride.

Autriche

G. FREISTETTER, représentant pour la métrologie légale, ministère fédéral pour les Affaires économiques, Vienne.

R. GALLE, directeur, Service de la métrologie, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Vienne.

Belgique

H. VOORHOF, inspecteur général, Service de la métrologie, ministère des Affaires économiques, Bruxelles.

*P. PÂQUET, directeur, Observatoire royal de Belgique, Bruxelles.

Brésil

G.J. GUIMARÃES DE MOURA, conseiller aux affaires de coopération technique, scientifique et éducative à l'Ambassade, Paris.

M. NOGUEIRA FROTA, directeur de la métrologie scientifique et industrielle, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Rio de Janeiro.

Mme L. CONTIER DE FREITAS, conseiller auprès du directeur de la métrologie scientifique et industrielle, INMETRO, Rio de Janeiro.

*G. MOSCATI, professeur à l'Institut de physique, Université de São Paulo.

Bulgarie

Non représentée.

Cameroun

Non représenté.

Canada

A.L. VANKOUGHNETT, directeur général, Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches du Canada (NRC), Ottawa.

H. PRESTON-THOMAS, conseiller auprès du NRC, Ottawa.

Mme A. BICHON, conseiller aux Services internationaux du NRC, Ottawa.

Chili

Non représenté.

Chine (République populaire de)

LI Baoguo, directeur général adjoint, Bureau d'État de supervision technique (BEST), Beijing.

LU Zhifang, directeur adjoint, Département de métrologie, BEST, Beijing.

FENG Liming, chef adjoint, Département de la coopération internationale, BEST, Beijing.

*GAO Jie, directeur, Joint Laboratory of High Technology, Metrology and Measurement, BEST ; conseiller, State Bureau of Technical Supervision of China, Beijing.

Corée (République de)

CHOE Hong-Guhn, administrateur adjoint, Korea Industrial Advancement Administration (KIAA), Séoul.

CHUNG Myung Sai, président, Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS), Taejon.

SEKYUNG Lee, directeur de division, KRISS, Taejon.

KWON Tack Won, président, Korea Merchandise Testing and Research Institute, Séoul.

HONG Won-Joo, attaché commercial à l'Ambassade, Paris.

KIM Jae-Duk, directeur adjoint, KIAA, Séoul.

SHIN Jong-Hyun, directeur, Division de la métrologie, KIAA, Séoul.

Corée (République populaire démocratique de)

Non représentée.

Danemark

K. CARNEIRO, directeur, Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM), Lyngby.

P.C. JOHANSEN, chef, Division de métrologie, Danish Agency for Development of Trade and Industry, Ministry of Business and Industry, Copenhague.

J. KAAVÉ, conseiller technique, Danish Agency for Development of Trade and Industry, Ministry of Business and Industry, Copenhague.

Dominicaine (République)

Non représentée.

Égypte (République arabe d')

M.A.H. EL FEKI, président, National Institute for Standards (NIS), Le Caire.

M.R. MOUSSA, professeur de thermométrie et chef de la Division de thermométrie, NIS, Le Caire.

Espagne

A. GARCÍA SAN ROMAN, directeur, Centre espagnol de métrologie (CEM), Madrid.

M. MARTIN PEÑA, sous-directeur, CEM, Madrid.

Finlande

Mme U.A. LÄHTEENMÄKI, directeur, Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki.

J.T. PEUSSA, président, National Council of Metrology, Helsinki.

France

- *J. KOVALEVSKY, membre de l'Institut, président du Bureau national de métrologie (BNM), Paris.
- J.-R. GEHAN, sous-directeur des questions politiques, direction des Nations unies et des organisations internationales, ministère des Affaires étrangères, Paris.
- Mme F. CARBON, chargé de mission, direction des Nations unies et des organisations internationales, ministère des Affaires étrangères, Paris.
- A. KELLER, directeur, BNM, Paris.
- J. BAIXERAS, directeur, Laboratoire de génie électrique de Paris, Centre national de la recherche scientifique (CNRS), président du Conseil scientifique du BNM, Paris.
- Mlle M. CHAMBON, responsable des études et recherches, BNM, Paris.

Hongrie

- P. PÁKAY, président, Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), Budapest.
- P. PATAKI, vice-président, OMH, Budapest.
- A. SZILVÁSSY, chef de la Section des relations internationales, OMH, Budapest.
- Mme M. PÁNCZÉL, premier secrétaire chargé de la science et de la technologie à l'Ambassade, Paris.

Inde

- *E.S.R. GOPAL, directeur, National Physical Laboratory of India (NPLI), New Delhi.
- K. LAL, directeur, Materials Characterisation Division, NPLI, New Delhi.
- K.K. SHARMA, premier secrétaire d'Ambassade, Paris.

Indonésie

- MUHAIMIN Anwar, attaché commercial à l'Ambassade, Paris.

Iran

- Non représenté.

Irlande

- Non représentée.

Israël

- A. SHENHAR, directeur, National Physical Laboratory of Israel (INPL), Jérusalem.

Italie

- M. MURGO, président, Comité central métrique, Rome.
- * L. CROVINI, directeur, Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti (IMGC), Turin.
- P. SOARDO, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), Turin.

Japon

Y. KURITA, directeur général, National Research Laboratory of Metrology (NRLM), Tsukuba.
*K. IZUKA, conseiller, Agency of Industrial Science and Technology, Ministry of International Trade and Industry (MITI), Tokyo.
S. ISHIKAWA, conseiller technique, MITI, Tokyo.
Y. KATO, premier secrétaire d'Ambassade, Paris.

Mexique

J. GONZÁLEZ BASURTO, directeur général, Centre national de métrologie (CENAM), Mexico.
H.M. RODRIGUEZ ARELLANO, deuxième secrétaire d'Ambassade, Paris.

Norvège

H. KILDAL, directeur général, Norwegian Metrology and Accreditation Service, Oslo.

Nouvelle-Zélande

J.V. NICHOLAS, physicien, Industrial Research Limited (IRL), Lower Hutt.

Pakistan

Non représenté.

Pays-Bas

G.J. FABER, directeur général, Nederlands Meetinstituut (NMI), Delft.
*R. KAARLS, directeur des relations internationales, NMI, Delft.
T.M. PLANTENGA, directeur, Van Swinden Laboratorium (NMI-VSL), Delft.
Mme A. VAN SPRONSEN, conseiller au ministère des Affaires économiques, La Haye.

Pologne

K. MORDZINSKI, président, Office central des mesures (GUM), Varsovie.
W. KAMINSKI, vice-président, GUM, Varsovie.
Mme M. KLARNER-SNIADOWSKA, directeur, Bureau de la coopération avec l'étranger, GUM, Varsovie.

Portugal

M. VIDIGAL, vice-président, Institut portugais pour la qualité (IPQ), Lisbonne.
A. CRUZ, directeur, IPQ, Lisbonne.

Roumanie

D.G. STOICHITOIU, directeur général, Bureau roumain de métrologie légale (BRML), Bucarest.
P. KÖNIG-GEORGESCU, chef de laboratoire, Institut national de métrologie, Bucarest.

Royaume-Uni

*P.B. CLAPHAM, ancien directeur, National Physical Laboratory (NPL), Teddington.
A.J. WALLARD, directeur adjoint, NPL, Teddington.
R. HIRD, directeur, Department of Trade and Industry, Londres.

Russie (Fédération de)

*Y.V. TARBEÉV, directeur, Institut de métrologie D.I. Mendéléev (VNIIM), Saint-Pétersbourg.
S.I. EROFÉEV, chef, Département économique du GOSSTANDART de la Russie, Moscou.
Mme T.N. KORZAKOVA, chef, Département de coopération internationale, VNIIM, Saint-Pétersbourg.
A. KORNILOV, deuxième secrétaire d'Ambassade, Paris.

Singapour

V. TAN Khai Shuan, consultant, National Metrology Centre, Singapore Institute of Standards and Industrial Research (SISIR), Singapour.

Slovaque (République)

L. SUTEK, président, Office pour la normalisation et la métrologie, Bratislava.
*J. SKÁKALA, vice-président du Comité international des poids et mesures, professeur à l'université technique slovaque, Bratislava.
P. KNEPPO, directeur, Institut métrologique, Bratislava.

Suède

*K. SIEGBAHN, professeur, Institut de physique de l'université, Uppsala.
C. BANKVALL, directeur général, Swedish National Testing and Research Institute (SP), Borås.

Suisse

B. VAUCHER, chef de division, Office fédéral de métrologie (OFMET), Wabern.

Tchèque (République)

M. TOŠOVSKÝ, président, Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague.
J. KRAUS, directeur du département de métrologie, Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague.
F. JELÍNEK, sous-directeur, Institut métrologique tchèque, Prague.

Thaïlande

- S. YAMASMIT, directeur général, Département de l'enregistrement commercial, ministère du Commerce, Bangkok.
- C. KRISANAPAND, juriste, Département de l'enregistrement commercial, ministère du Commerce, Bangkok.
- V. VISUTTHATHAM, expert, Division des poids et mesures, Bureau central des poids et mesures, Bangkok.
- Y. KASETSUNTORN, Weights and Measures Officer, Département de l'enregistrement commercial, ministère du Commerce, Bangkok.
- P. TEMCHAROEN, Weights and Measures Officer, Département de l'enregistrement commercial, ministère du Commerce, Bangkok.

Turquie

M. SAHINLER, premier conseiller d'Ambassade, Paris.

Uruguay

Non représenté.

Venezuela

Non représenté.

Assistent à la Conférence

T.J. QUINN, directeur, Bureau international des poids et mesures (BIPM), Sèvres.

P. GIACOMO, directeur honoraire, BIPM, Sèvres.

Les représentants de l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), Paris (G.J. FABER, président de l'OIML, B. ATHANÉ, directeur du Bureau international de métrologie légale).

Le personnel scientifique du BIPM.

CONVOCAATION

La Vingtième Conférence générale des poids et mesures
est convoquée pour le lundi 9 octobre 1995

Constitution de la Conférence générale des poids et mesures

Convention du Mètre (1875) : article 3

« Le Bureau international fonctionnera sous la direction et la surveillance exclusives d'un *Comité international des poids et mesures*, placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence générale des poids et mesures*, formée de délégués de tous les Gouvernements contractants. »

Règlement annexé à la Convention du Mètre (1875) : article 7

« La Conférence générale, mentionnée à l'article 3 de la Convention, se réunira à Paris, sur la convocation du Comité international, au moins une fois tous les six ans.

« Elle a pour mission de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour la propagation et le perfectionnement du Système métrique, ainsi que de sanctionner les nouvelles déterminations métrologiques fondamentales qui auraient été faites dans l'intervalle de ses réunions. Elle reçoit le rapport du Comité international sur les travaux accomplis, et procède, au scrutin secret, au renouvellement par moitié du Comité international.

« Les votes, au sein de la Conférence générale, ont lieu par États ; chaque État a droit à une voix.

« Les membres du Comité international siègent de droit dans les réunions de la Conférence ; ils peuvent être en même temps délégués de leurs Gouvernements. »

Lieu et dates des séances

Toutes les séances se tiendront au
Centre de conférences internationales, 19, avenue Kléber, Paris 16^e,
dans une salle gracieusement offerte par le
Ministère des Affaires étrangères de France,
avec traduction simultanée en français, anglais et russe

Première	séance,	lundi 9 octobre 1995	à 10 h.
Deuxième	séance,	lundi 9 octobre 1995	à 15 h.
Troisième	séance,	mercredi 11 octobre 1995	à 15 h.
Quatrième	séance,	jeudi 12 octobre 1995	à 15 h.
Cinquième	séance,	vendredi 13 octobre 1995	à 10 h.
Sixième	séance,	vendredi 13 octobre 1995	à 15 h.

Une visite du Bureau international, suivie d'une réception au Pavillon de Breteuil, aura lieu le mardi 10 octobre 1995 à 15 h.

ORDRE DU JOUR PROVISOIRE

1. Ouverture de la Conférence.
Discours de Son Excellence M. le Ministre des Affaires étrangères de la République française.
Réponse de M. le Président du Comité international des poids et mesures.
Discours de M. le Président de l'Académie des sciences de Paris, Président de la Conférence.
 2. Présentation des titres accédant les Délégués.
 3. Nomination du Secrétaire de la Conférence.
 4. Établissement de la liste des Délégués ayant pouvoir de voter.
 5. Approbation de l'ordre du jour.
 6. Rapport de M. le Président du Comité international sur les travaux accomplis.
 7. Longueur et définition du mètre.
 8. Masse et grandeurs apparentées : la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme.
 9. La seconde et le Temps atomique international.
 10. Étalons électriques.
 11. Température : Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90).
 12. Photométrie et radiométrie.
 13. La mole et les mesures de quantité de matière.
 14. Rayonnements ionisants.
 15. Le Système international d'unités (SI).
 16. Programme des travaux futurs du Bureau international des poids et mesures.
 17. Dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures.
 18. Propositions des Délégués.
 19. Renouvellement par moitié du Comité international.
 20. Questions diverses.
-

COMMENTAIRES SUR LES PRINCIPAUX POINTS DE L'ORDRE DU JOUR

1. Ouverture de la Conférence

La date d'ouverture de la 20^e Conférence générale des poids et mesures se situe quatre ans après l'ouverture de la Conférence précédente. Cet intervalle paraît convenable à notre époque où la métrologie évolue rapidement par suite des progrès des sciences et des techniques et où ces mêmes progrès doivent pouvoir s'appuyer sur une métrologie constamment mise à jour.

2. Présentation des titres accréditant les Délégués

Pour la bonne organisation de la Conférence, il est souhaitable que la composition de chaque délégation soit communiquée au Bureau international des poids et mesures (BIPM) au plus tard quinze jours avant l'ouverture de la Conférence.

À leur arrivée, les Délégués seront priés de présenter les titres accréditant leur délégation au secrétariat de la Conférence.

6. Rapport de M. le Président du Comité international des poids et mesures sur les travaux accomplis

L'article 19 du Règlement annexé à la Convention du Mètre stipule que « Le Président du Comité international rendra compte à la Conférence générale des travaux accomplis depuis l'époque de sa dernière réunion ».

Dans son rapport le président soulignera le rôle de plus en plus important que la métrologie joue maintenant dans le commerce international, dans les industries de haute technologie, dans la protection de l'environnement et pour la santé et la sécurité de l'homme. Dans tous ces domaines il est essentiel de disposer d'un système de mesures stable et aisément accessible au niveau mondial, fondé sur le Système international d'unités (SI). Cela est particulièrement important lorsqu'on cherche à déterminer les faibles variations de paramètres clés qui se produisent sur de longues durées. Cette question fait l'objet du Projet de résolution A.

Nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes

Projet de résolution A

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant que

— les effets des activités industrielles et commerciales ainsi que ceux de nombreuses autres activités humaines sur la géosphère et la biosphère et leurs conséquences sur la santé et le bien-être humains font l'objet d'importantes études dans le monde entier,

— les Gouvernements sont de plus en plus amenés à prendre des décisions réglementant ces activités, avec des répercussions économiques et politiques majeures,

— les choix politiques des Gouvernements sont influencés par les résultats d'études qui dépendent de manière critique de l'exactitude et de la cohérence de mesures pouvant nécessiter d'importants investissements économiques,

— de nombreuses preuves scientifiques importantes sur lesquelles s'appuient ces décisions sont issues de mesures de petites variations à long terme de certains paramètres clés, mesures qui s'étendent parfois sur plusieurs décennies,

— certaines mesures critiques ont été traditionnellement exprimées en utilisant des unités *ad hoc*, fondées sur des instruments et des méthodes spécifiques, et non pas les unités du SI, lesquelles sont bien définies et adoptées au niveau international,

— depuis de nombreuses années l'expérience montre que les mesures qui ne sont pas reliées directement au SI ne sont ni fiables à long terme, ni comparables aux mesures semblables faites ailleurs ni adaptées à la mise en évidence de relations avec les mesures faites dans d'autres domaines scientifiques,

recommande que les responsables des études sur les ressources terrestres, l'environnement, le bien-être humain et les problèmes connexes fassent le nécessaire pour que les mesures effectuées dans le cadre de leurs programmes soient exprimées en unités bien définies du SI afin d'en assurer la fiabilité à long terme, la cohérence mondiale et le rattachement aux autres domaines scientifiques et techniques grâce au système de mesures mondial établi et conservé dans le cadre de la Convention du Mètre.

Au cours des dernières années il est de plus en plus apparu comme nécessaire de pouvoir faire la preuve de la traçabilité des étalons de mesure, au niveau mondial, en particulier à cause de l'attention croissante portée à l'assurance de la qualité, celle-ci dépendant de l'exactitude métrologique. Pour répondre à cette demande, le BIPM et les comités consultatifs mettent de plus en plus l'accent sur les comparaisons internationales d'étalons au plus haut niveau entre les laboratoires nationaux de métrologie. Celles-ci sont choisies avec soin afin d'établir le lien non seulement entre les organismes participants mais aussi avec les groupes de laboratoires de métrologie dans les différentes régions du monde. Le rôle de ces comparaisons et de celles des groupes régionaux rassemblant des instituts de métrologie fait l'objet du projet de résolution B. Le président développera ce point dans son rapport à la Conférence générale.

Traçabilité des étalons au niveau mondial

Projet de résolution B

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— les exigences croissantes de traçabilité des mesures à différents niveaux d'exactitude pour les sciences, les techniques et le commerce international,

— l'existence de groupes au sein desquels collaborent des laboratoires nationaux de métrologie dans les différentes régions du monde,

— le besoin d'une reconnaissance à l'échelle mondiale de l'équivalence ou de la traçabilité des étalons entre les laboratoires nationaux et les groupes régionaux au sein desquels collaborent des laboratoires nationaux,

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

accueille favorablement la tendance des laboratoires nationaux de métrologie à former des groupes régionaux, en tant que méthode efficace pour développer la coopération et l'exécution de comparaisons régulières des étalons nationaux entre des laboratoires dont certains ne participent pas aux comparaisons effectuées par le BIPM ou les comités consultatifs,

reconnaît l'intérêt que présentent les liaisons entre les comparaisons organisées sous l'égide du BIPM et celles qu'effectuent ces groupes régionaux,

recommande

— que les laboratoires nationaux de métrologie, en collaboration avec le BIPM, fassent en sorte que les comparaisons nécessaires d'étalons nationaux soient effectuées en nombre suffisant pour assurer la traçabilité des étalons au niveau international,

— que des liaisons convenables soient maintenues entre les comparaisons exécutées sous l'égide du BIPM et celles qui sont effectuées par les groupes régionaux,

— et que les résultats des comparaisons effectuées par les groupes régionaux soient communiqués au BIPM sous une forme convenable pour publication par le BIPM afin qu'ils puissent ainsi bénéficier d'une reconnaissance au niveau international.

L'établissement d'étalons exacts et pratiques rattachés à des constantes fondamentales, satisfaisant l'étendue et la diversité des exigences de l'ensemble des sciences et des techniques modernes, constitue une entreprise primordiale. À l'exception de celui du kilogramme, rares sont les étalons des unités qui demeurent immuables : ceux de presque toutes les autres unités du SI ont cédé le pas à des étalons nouveaux au cours des dernières années afin de profiter des découvertes faites en physique. Les différents domaines de la métrologie, par exemple les longueurs, le temps et l'électricité sont beaucoup plus étroitement reliés entre eux que par le passé car ils font tous maintenant appel à la physique quantique et à la physique de l'état solide. C'est ce qui justifie le projet de résolution C.

Besoin de recherches métrologiques à long terme

Projet de résolution C

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,
considérant

- que les besoins des sciences, des techniques et du commerce international en matière d'exactitude et d'efficacité des mesures croissent de façon permanente,
- que la mise au point de meilleurs étalons et techniques de mesure doit être effectuée bien avant leur application dans les domaines scientifiques et industriels,
- que de tels progrès ne peuvent avoir lieu qu'à partir de bases solidement établies sur des recherches métrologiques à long terme, elles-mêmes étroitement liées aux progrès des sciences,

recommande que les laboratoires nationaux

- continuent à entreprendre des recherches métrologiques à long terme aussi bien qu'à répondre aux besoins plus immédiats des services métrologiques et
- informent régulièrement le Bureau international des poids et mesures des résultats des travaux liés à la métrologie fondamentale.

Depuis la précédente Conférence générale, le Comité international a abordé un important domaine de la métrologie, nouveau pour lui. Il s'agit des mesures de quantité de matière, grandeur dont l'unité est la mole. En créant un comité consultatif chargé de cette grandeur, le Comité international a répondu à une demande claire et rapidement croissante de coordination dans ce domaine au niveau mondial. L'une des missions principales de ce comité consultatif consistera à améliorer l'exactitude des mesures dans les laboratoires nationaux et ce faisant à amorcer un processus propre à établir la traçabilité des mesures chimiques au niveau mondial, traçabilité qui fait cruellement défaut aujourd'hui.

Outre le détail des travaux de laboratoire effectués au Bureau international, le Président rendra compte à la Conférence générale des mesures financières et autres prises par le Comité international en raison de la réduction soudaine des ressources disponibles à laquelle le Bureau international a dû faire face, peu après la 19^e Conférence générale, à la suite des événements politiques de portée mondiale qui ont affecté certains États membres de la Convention du Mètre.

7. Longueur et définition du mètre

Fournir des étalons de longueur hautement exacts, à des fins diverses, constitue l'une des tâches principales des laboratoires nationaux. Cela comprend non seulement les radiations étalons de longueur d'onde produites par des lasers mais aussi une grande variété d'étalons utilisés en mécanique, comme ceux que requièrent l'étalonnage et la vérification des machines à mesurer tridimensionnelles, les étalons à traits utilisés en micrométrie et les étalons d'angle. De nouvelles comparaisons internationales ont été entreprises dans ces domaines sous les auspices du Comité consultatif pour la définition du mètre ; on a veillé à inclure dans ces comparaisons des laboratoires qui font partie des principaux groupes régionaux de laboratoires nationaux dans le monde entier.

Depuis la précédente Conférence générale, le nombre de comparaisons effectuées par le BIPM a considérablement augmenté dans le domaine des longueurs d'onde et des fréquences de radiations étalons émises par des lasers. Cela traduit la nécessité accrue devant laquelle se trouvent les laboratoires nationaux de s'assurer de la concordance de leurs réalisations de la définition du mètre telle qu'elle est donnée dans le SI. Des mesures récentes, plus exactes, de la fréquence des principales radiations qui figuraient dans la mise en pratique de la définition du mètre adoptée par le Comité international en 1983, ont conduit le Comité consultatif pour la définition du mètre à proposer une révision qui a été approuvée par le Comité international en 1992. Il ressort des nouvelles mesures que l'exactitude des meilleures réalisations du mètre s'est améliorée de plus d'un facteur dix. Les progrès se poursuivent dans ce domaine et les recherches sur les étalons de longueur d'onde et de fréquence optique devraient permettre d'améliorer encore l'exactitude de la réalisation de la définition du mètre. Le projet de résolution D présenté à la Conférence générale se rapporte à la version révisée de la mise en pratique de la définition du mètre.

Révision de la mise en pratique de la définition du mètre

Projet de résolution D

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

rappelant

— que la 17^e Conférence générale des poids et mesures, en 1983, a adopté une nouvelle définition du mètre,

— que la même année, la Conférence générale a invité le Comité international des poids et mesures

— à établir des instructions pour la mise en pratique de cette définition,

— à choisir des radiations qui puissent être recommandées comme étalons de longueur d'onde pour les mesures de longueur par interférométrie et à donner les instructions nécessaires pour leur utilisation,

— à poursuivre les études nécessaires pour améliorer ces étalons et à étendre ou réviser ces instructions en temps utile,

— que, en conséquence, le Comité international a publié en 1983 une recommandation pour la mise en pratique de la définition du mètre,

considérant

— que les sciences et les techniques continuent à exiger une exactitude croissante des réalisations du mètre,

— que, depuis 1983, les travaux effectués dans les laboratoires nationaux, au Bureau international des poids et mesures et ailleurs ont amélioré de façon substantielle la reproductibilité des radiations qui peuvent être utilisées pour la mise en pratique de la définition du mètre,

— que ces travaux ont aussi permis de réduire notablement l'incertitude associée à la valeur de la fréquence et de la longueur d'onde de certaines de ces radiations,

accueille favorablement l'adoption par le Comité international d'une version révisée de la mise en pratique de la définition du mètre, qui tient compte des résultats de ces récents travaux,

et

recommande aux laboratoires nationaux de poursuivre leurs recherches sur les étalons de longueur d'onde et de fréquence optiques en vue d'améliorer encore la base expérimentale du Système international d'unités.

8. Masse et grandeurs apparentées : troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme

La troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme, qui avait commencé au mois de septembre 1989, s'est achevée au mois de novembre 1992. Trente-quatre pays membres de la Convention du Mètre ont fait parvenir au Bureau international leur prototype national en platine iridié. Avec le prototype international, ses témoins et les étalons de travail du BIPM, cinquante prototypes au total ont pris part à la comparaison. Un rapport complet présentant les résultats de cette vérification sera distribué à la Conférence générale. En résumé, les conclusions qui en ont été tirées sont les suivantes : premièrement, dans l'ensemble, la masse des prototypes nationaux continue d'augmenter par rapport à celle du prototype international ; cette augmentation est en moyenne d'environ 0,5 μg par an depuis la deuxième vérification qui s'est déroulée à la fin des années 1940 ; deuxièmement, la masse du prototype international et, probablement, de la plupart des autres prototypes, augmente d'environ 1 μg par mois au cours des quatre mois qui suivent immédiatement le nettoyage-lavage selon la méthode du BIPM ; troisièmement, la reproductibilité des pesées effectuées à l'aide de la balance NBS-2, d'environ 0,5 μg , est nettement meilleure que la stabilité de la masse de nombreux prototypes, qui est d'environ 2 μg . Finalement, la troisième vérification a mis en lumière la nécessité de disposer d'un moyen de relier la masse du prototype international du kilogramme à des constantes atomiques ou fondamentales.

Par rapport aux améliorations actuellement en cours qui permettent d'accroître l'exactitude de la réalisation de la plupart des autres unités de base du SI, l'absence d'une liaison solidement établie entre des constantes naturelles, intrinsèquement stables, et l'unité de masse devient une faiblesse réelle du SI. Dans le projet de résolution E, il est demandé à la Conférence générale d'appuyer la demande faite par le CIPM aux laboratoires nationaux de consacrer une partie de leurs efforts en métrologie fondamentale à mettre au point des méthodes pour contrôler la masse du prototype international à partir de constantes atomiques ou fondamentales. Une éventuelle redéfinition du kilogramme dépendrait des résultats d'expériences préliminaires, essentielles, de ce type. En attendant, le travail continue au BIPM et dans quelques laboratoires nationaux en vue de parvenir à une meilleure compréhension des processus qui conduisent à des variations de la masse des étalons en platine iridié. Ces recherches comprennent des pesées dans le vide et, à la pression atmosphérique, l'étude des effets dus aux variations de l'humidité relative ambiante, de la pression et de la température ainsi que des études au niveau microscopique de la surface des étalons afin de mieux comprendre les mécanismes de ces effets. Le programme de recherche du BIPM en vue d'améliorer l'exactitude des balances pour comparer des étalons du kilogramme se poursuit. L'objectif est de pouvoir mesurer, dans un délai raisonnablement court, les variations lentes de la masse des étalons qui n'ont pu jusqu'ici être mises en évidence qu'à long terme.

Le Comité international, par l'intermédiaire de son Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, continue de travailler pour améliorer l'exactitude et l'uniformité des mesures de force, de pression, de masse volumique et de l'accélération due à la pesanteur. Périodiquement des comparaisons internationales de gravimètres absolus ont lieu au BIPM et sont organisées en collaboration avec l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI).

Contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme

Projet de résolution E

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— les résultats de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme qui font apparaître des dérives de la masse des prototypes nationaux, des étalons de travail du Bureau international des poids et mesures et des témoins par rapport à celle du prototype international,

— l'impossibilité de tirer de ces résultats, de par leur nature, des conclusions catégoriques quant à la stabilité à long terme du prototype international et des autres prototypes,

— les résultats des recherches effectuées dans de nombreux laboratoires nationaux pour tenter de comprendre les phénomènes qui conduisent à l'instabilité des étalons de masse,

— les progrès actuels obtenus par divers laboratoires dans l'étude de méthodes indépendantes pour contrôler la stabilité des étalons de masse,

recommande que les laboratoires nationaux poursuivent les recherches entreprises et en explorent de nouvelles afin de contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme et, le moment venu, d'ouvrir la voie à une nouvelle définition de l'unité de masse fondée sur des constantes fondamentales ou atomiques.

9. La seconde et le Temps atomique international

Depuis le 1^{er} janvier 1988, date à laquelle le BIPM a pris la responsabilité du Temps atomique international (TAI) et de sa diffusion au moyen du Temps universel coordonné (UTC), de gros changements sont intervenus tant dans les techniques de comparaison horaire que dans le fonctionnement des horloges commerciales à césium. Alors que des progrès se poursuivent grâce aux recherches effectuées dans les laboratoires nationaux sur des conceptions nouvelles pour les étalons de fréquence, l'exactitude de la seconde du SI est toujours fondée, pour l'essentiel, sur les horloges primaires à césium d'un seul et même laboratoire. Ce n'est pas là une situation satisfaisante et le Comité international a attiré, à plusieurs reprises, l'attention sur les dangers qui en résultent.

L'adoption quasi générale du GPS (Global Positioning System) comme moyen de comparaison horaire pour fournir les données qui servent au calcul du TAI a entraîné une amélioration de la qualité de ces données par un facteur supérieur à dix. Cela, à son tour, a stimulé de nombreuses recherches faites au BIPM sur le fonctionnement du GPS. La mise en service, par l'US Department of Defence, de l'accès sélectif pour la majorité des satellites du GPS a conduit à prendre des mesures particulières pour éviter que soient dégradés les résultats des comparaisons horaires. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) a établi, en collaboration avec les fabricants d'équipements du GPS, une spécification détaillant les caractéristiques essentielles auxquelles doivent satisfaire ces équipements lorsqu'ils sont utilisés pour des comparaisons horaires de grande exactitude. À côté de l'utilisation courante du GPS, des recherches sont aussi en cours au BIPM et dans les laboratoires nationaux sur d'autres méthodes de comparaison horaire par satellite utilisant entre autres le système russe GLONASS (Global Navigation Satellite System), des techniques de comparaison horaire utilisant des lasers (LASSO) ou des satellites commerciaux de communication.

Grâce à des prêts généreux faits par des laboratoires nationaux et des fabricants, le BIPM a été en mesure de se constituer un équipement suffisant, comprenant deux horloges commerciales à césium, pour effectuer des expériences et prendre part à des programmes de comparaison horaire. Le CCDS a estimé que cela était essentiel afin d'entretenir au BIPM le savoir-faire nécessaire à l'établissement du TAI, ce qui constitue pour lui une tâche primordiale.

On peut envisager de nouvelles améliorations de la stabilité du TAI par suite de l'utilisation de plus en plus répandue de masers à hydrogène dont la stabilité, durant des périodes qui peuvent atteindre environ un mois, est nettement supérieure à celle des étalons à césium. La perspective de telles améliorations de stabilité et des améliorations de l'exactitude qui ne manqueront pas de résulter aussi, à terme, de l'utilisation des étalons de fréquence à ions piégés ou à atomes refroidis, a conduit le CIPM à créer un Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie. Ce groupe de travail a d'abord commencé à examiner l'application de la relativité générale aux comparaisons horaires au voisinage de la Terre lorsqu'on recherche des exactitudes relatives de l'ordre de quelques 10^{-16} .

Les applications pratiques des mesures de temps et de fréquence n'ont pas encore atteint ces niveaux, mais celles qui se situent aux limites des possibilités actuelles sont largement répandues. Les applications commerciales du GPS sont dès maintenant très étendues et une importante activité industrielle est consacrée à produire des équipements pour un marché croissant de professionnels et de particuliers. Il est vraisemblable que la navigation aérienne commerciale se fera prochainement à l'aide du GPS et le fait que le GPS est étroitement lié à l'UTC renforcera la reconnaissance de l'UTC comme référence fiable et stable à long terme. Le domaine des télécommunications internationales est l'autre utilisateur principal de mesures exactes de temps et de fréquence. La transmission d'un important volume de données à des cadences élevées, entre des systèmes nationaux de télécommunication reliés entre eux, est surtout limitée par les fluctuations relatives de phase entre les systèmes. L'emploi des transmissions par fibres optiques, dont la largeur de bande est plus grande, se répand et conduira à augmenter les exigences imposées aux étalons de fréquence, éléments essentiels de ce type de communication.

Le Comité international, par l'intermédiaire de son Comité consultatif pour la définition de la seconde, travaille avec les laboratoires nationaux à faire en sorte que le système métrologique mondial soit prêt à répondre à ces exigences lorsqu'elles deviendront courantes.

Comparaison d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites

Projet de résolution F

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— que l'on a besoin de comparaisons d'horloges distantes avec la meilleure exactitude possible,

— que des comparaisons d'horloges entre l'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord ont été réalisées, avec succès, et avec une précision de 100 ps, par l'expérience LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit), sur satellite géostationnaire,

— que l'exactitude des techniques de comparaison d'horloges, telles que celles qui utilisent les systèmes GPS (Global Positioning System), GLONASS (Global Navigation Satellite System) ou des méthodes bidirectionnelles par satellites, doit être confirmée par des méthodes indépendantes,

— que des solutions ont été proposées qui peuvent conduire à des comparaisons d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites à défilement,

rappelant la Résolution 4 de la 18^e Conférence générale en 1987, qui concerne aussi les comparaisons d'horloges au moyen de satellites,

recommande que les agences spatiales étudient l'installation sur leurs satellites d'équipements permettant d'effectuer des comparaisons d'horloges utilisant des techniques par laser visant des satellites.

10. Étalons électriques

La mise en œuvre au 1^{er} janvier 1990 des deux recommandations du CIPM, définissant des valeurs K_{J-90} et R_{K-90} attribuées par convention respectivement à la constante de Josephson K_J et à la constante de von Klitzing R_K , a conduit à une nette amélioration de l'uniformité des mesures électriques dans le monde entier. Les comparaisons internationales que le BIPM a effectuées en utilisant son dispositif transportable à effet Josephson ont montré que l'accord entre les réalisations de K_{J-90} de sept des principaux laboratoires nationaux du monde est de quelques 10^{-10} en valeur relative. Une expérience du même type est en cours avec un dispositif transportable pour réaliser R_{K-90} à partir de l'effet Hall quantique. Des étalons de référence de ce type permettent d'obtenir entre les laboratoires nationaux un accord qui dépasse l'exactitude accessible par rapport au SI. Pour les mesures électriques cela tient au fait que réaliser l'ampère ou le volt directement à partir de leur définition dans le SI fait appel à des expériences difficiles dans lesquelles on compare des énergies électriques et des énergies mécaniques. On peut difficilement envisager que de telles expériences puissent jamais être faites avec une exactitude qui soit comparable à la reproductibilité de l'effet Josephson ou de l'effet Hall quantique concrétisée par K_{J-90} ou R_{K-90} . En effet, comme la définition actuelle du kilogramme est fondée sur un étalon matériel qui n'est pas lui-même défini avec une précision suffisante, il n'est pas possible d'obtenir une exactitude de cet ordre lorsqu'on mesure une énergie mécanique. En conséquence, de plus en plus, l'effet Josephson et l'effet Hall quantique seront utilisés pour la conservation pratique des étalons électriques ; cela a pour conséquence de rendre caduque la hiérarchie des étalons de mesure que l'on trouve traditionnellement dans une chaîne d'étalonnage et qui va des étalons primaires nationaux, dont l'exactitude est la plus élevée, aux étalons industriels, d'exactitude relativement modeste. Les laboratoires nationaux et les services nationaux d'étalonnage doivent, par conséquent, adapter leurs méthodes pour tenir compte de ces étalons de référence indépendants, que l'on trouvera bientôt de façon aussi courante dans un laboratoire industriel que dans un laboratoire national.

Partant du fait que l'effet Josephson et l'effet Hall quantique fournissent des étalons électriques reproductibles, extrêmement stables, reliés directement à des constantes physiques fondamentales, le Comité consultatif d'électricité (CCE) a créé un groupe de travail chargé de conseiller le BIPM sur les expériences, dans le domaine de l'électricité, susceptibles de permettre un contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme. La nécessité de procéder à de telles expériences est maintenant clairement établie. En s'appuyant sur l'expérience acquise actuellement dans les laboratoires nationaux et avec la collaboration de ceux-ci, il paraît vraisemblable que le BIPM s'engagera dans cette direction. Tout en ne préjugant pas du résultat, il est évident que la connaissance de la stabilité du prototype international est une condition essentielle préalable à toute tentative de redéfinition de l'unité de masse.

Parallèlement à ces activités plus fondamentales, le CCE, avec son Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, et le BIPM continuent d'organiser les comparaisons internationales d'étalons électriques qui sont nécessaires pour établir et assurer l'uniformité des mesures électriques au niveau international.

11. Température : Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90)

La réunion du Comité consultatif de thermométrie (CCT), qui s'est tenue en 1993, était la première depuis l'entrée en vigueur de l'EIT-90 le 1^{er} janvier 1990. Le CCT a constaté avec satisfaction que l'EIT-90 a été rapidement adoptée en thermométrie pratique et que les utilisateurs ont très vite apprécié les nombreux avantages que présente cette nouvelle échelle par rapport à l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIPT-68) qui l'a précédée. On espère que les réalisations de l'EIT-90 qui sont actuellement faites dans les

laboratoires nationaux feront preuve d'une meilleure reproductibilité puisque l'on dispose de techniques améliorées pour réaliser les points fixes et de meilleurs instruments d'interpolation. De nouvelles études et des comparaisons internationales régulières demeureront toutefois nécessaires pour atteindre cet objectif. Des tables internationales de référence pour les types les plus courants de thermocouples ont été publiées sous les auspices du CCT et elles sont en voie d'adoption par les autorités nationales et internationales concernées. Le CCT a bien conscience de l'importance des mesures exactes en thermométrie pour de nombreux traitements industriels et les documents pratiques qui accompagnent l'EIT-90 seront périodiquement mis à jour en fonction de l'évolution des besoins de ces utilisateurs.

L'extension éventuelle de l'EIT-90 aux températures inférieures à sa présente limite située à 0,6 K est en discussion et il est vraisemblable qu'une proposition sera faite avant la 21^e Conférence générale en 1999. Bien que l'EIT-90 soit fondée sur les recherches fondamentales en thermométrie effectuées durant les dernières trente années, il subsiste quelques domaines de température où les mesures exactes de la température thermodynamique restent difficiles ; il s'ensuit qu'il faut poursuivre le travail de recherche. Dans sa Résolution 3, la 19^e Conférence générale avait attiré l'attention des laboratoires nationaux sur l'importance du maintien des recherches en thermométrie fondamentale. Cette résolution reste tout aussi valable aujourd'hui qu'à l'époque de la 19^e Conférence générale.

12. Photométrie et radiométrie

La plupart des laboratoires nationaux fondent aujourd'hui leur réalisation de l'unité de base photométrique, la candela, sur la radiométrie, elle-même fondée sur des récepteurs. C'est l'évolution qui avait été prévue à l'époque de l'adoption de la nouvelle définition de la candela par la 16^e Conférence générale, en 1979, et les progrès qui ont été effectués dans les années 1980 en radiométrie absolue et en spectroradiométrie permettent aujourd'hui d'atteindre beaucoup plus directement une exactitude élevée. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR) projette d'effectuer une de ses prochaines comparaisons internationales d'étalons nationaux photométriques en faisant circuler des récepteurs à photodiodes corrigés pour le chromatisme ; un groupe de travail en met au point les détails. Toutefois, les lampes de haute qualité continuent de jouer un rôle important comme étalons photométriques, et un autre groupe de travail du CCPR est chargé de coordonner une nouvelle comparaison internationale d'étalons d'intensité lumineuse et de flux lumineux.

Il est essentiel de disposer d'une base solide, bien reliée au SI, pour les mesures radiométriques en vue des applications techniques non seulement en photométrie et en matière d'éclairage mais encore dans de nombreux autres domaines, par exemple pour un large éventail d'applications dans les communications au moyen de fibres optiques, pour le contrôle des conditions d'environnement et pour le domaine de plus en plus important des mesures dans l'ultraviolet relatives à la santé et aux applications industrielles. Un groupe de travail du CCPR a préparé une étude générale sur la situation actuelle de la spectroradiométrie dans l'ultraviolet dans l'air ; il a prévu d'effectuer une comparaison internationale préliminaire de mesures de ce type dans le domaine de longueurs d'onde compris entre 200 nm et 400 nm. De plus, l'exactitude en radiométrie est aussi cruciale pour de nombreuses et importantes recherches faites depuis l'espace sur les ressources terrestres et l'étude du rayonnement solaire. La mesure des variations du rayonnement solaire ne peut être fiable que dans la mesure où les étalons radiométriques auxquels elle se réfère sont eux-mêmes stables à long terme, et pour cela il est impératif qu'ils soient solidement reliés au SI.

À la suite de l'installation au BIPM d'un laboratoire de radiométrie, ainsi que cela a été dit à la 19^e Conférence générale, le CCPR a achevé sa première comparaison en spectroradiométrie, le BIPM jouant le rôle de laboratoire pilote. Récemment, le BIPM a fait l'acquisition d'un radiomètre cryogénique pour servir de référence stable et exacte pour les travaux ultérieurs dans ce domaine ; il va organiser une comparaison internationale de mesures de flux énergétique avec ces instruments.

13. La mole et les mesures de quantité de matière

Lors de sa réunion en 1993 le Comité international a décidé de créer un Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) dont la mission est provisoirement définie comme suit :

- conseiller le CIPM sur les questions liées à l'exactitude des mesures quantitatives en chimie et à leur traçabilité aux unités du SI,
- coordonner les activités des laboratoires nationaux de métrologie en vue d'établir cette traçabilité au plus haut niveau,
- stimuler la compréhension du concept d'incertitude et de la nécessité d'associer la donnée d'une incertitude à la donnée du résultat d'une mesure chimique et, ce faisant, encourager l'établissement de la traçabilité, en tenant compte des initiatives prises par ailleurs au niveau régional ou international,
- examiner la nécessité éventuelle de mettre en œuvre un programme de travail au BIPM pour soutenir cette action.

L'unité de base de quantité de matière dans le SI, la mole, a été adoptée par la 14^e Conférence générale en 1971 à la suite de demandes faites au Comité international par l'Union internationale de physique pure et appliquée (UIPPA), l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO). La définition de la mole est unique en ce que la définition elle-même spécifie la nature de la grandeur dont l'unité est la mole. Depuis l'époque de son adoption jusqu'à la fin des années 1980, le Comité international n'a pas estimé nécessaire d'entreprendre une action quelconque à l'égard des mesures de quantité de matière. Ce qui a maintenant changé en ce qui concerne ces mesures, autrement dit les mesures de chimie analytique, c'est que la mise en œuvre des lois et règlements relatifs au commerce international et à la protection de l'environnement exige une amélioration de leur compatibilité. Il s'ensuit qu'il y a maintenant de fortes pressions commerciales et publiques pour exiger la fiabilité des mesures chimiques. Il y a donc des exigences pour que les résultats des mesures chimiques soient aussi bien comparables au niveau international que stables à long terme. Comme pour tous les autres types de mesure, ces deux exigences ne peuvent être satisfaites qu'en reliant fermement les mesures aux constantes naturelles. Cela ne peut pas être mieux fait qu'en les reliant au SI.

De nombreuses difficultés surgissent pour établir un système de mesures dans le domaine de la chimie qui soit comparable à ce qui existe depuis longtemps pour les mesures en physique. Il y a à cela plusieurs raisons : certaines sont liées au fait que dans le passé la nécessité de constituer un système de ce genre n'a pas été perçue, d'autres sont liées à la difficulté intrinsèque dans de nombreux cas de faire des mesures chimiques exactes. Une grosse partie du travail de pionnier, tendant à mettre en avant cette nécessité de rendre comparables au niveau international les résultats d'analyses chimiques, a été faite dans les années 1970 et 1980 par ce qui était alors le Bureau communautaire de référence (BCR) et le Bureau central de mesures nucléaires (BCM), qui faisaient tous les deux partie de la Commission des Communautés européennes. Dans son rapport à la 19^e Conférence générale, le président du Comité international avait annoncé la création du Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie et le commencement de quelques comparaisons internationales restreintes dans ce domaine. La décision prise en 1993 de créer un comité consultatif est fondée sur plusieurs raisons : en premier lieu les laboratoires nationaux sont de plus en plus engagés dans l'établissement de la traçabilité au niveau international pour les mesures en chimie analytique, mais aussi, en créant un comité consultatif, le Comité international *a*) marque sa position de chef de file dans un domaine dont l'importance ne fera que croître, *b*) répond d'une façon appropriée et opportune à un besoin qui devient largement reconnu et *c*) dans le cadre du mandat du comité consultatif, établit les limites à l'intérieur desquelles s'inscrivent les responsabilités du CIPM. Un rapport sur les premières actions et le programme de travail du nouveau comité consultatif sera présenté à la 20^e Conférence générale.

Métrologie en chimie

Projet de résolution G

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— que la fiabilité des résultats d'analyses chimiques quantitatives est importante pour le commerce international, pour la protection de l'environnement, et pour la santé et la sécurité humaines,

— que la fiabilité implique l'uniformité mondiale et la stabilité à long terme et qu'elle ne peut être assurée qu'en reliant fermement les mesures au Système international d'unités,

— que d'énormes difficultés existent pour établir la traçabilité au niveau international pour les mesures chimiques,

— que les laboratoires nationaux de métrologie sont de plus en plus engagés dans l'établissement de cette traçabilité,

accueille favorablement la création par le Comité international d'un Comité consultatif pour la quantité de matière pour explorer ce domaine

et

invite les laboratoires nationaux et les autres organismes nationaux, régionaux ou internationaux compétents réunissant des spécialistes de la mesure en chimie à collaborer avec le Comité international et le nouveau comité consultatif en vue d'établir mondialement la traçabilité au plus haut niveau pour les mesures chimiques.

14. Rayonnements ionisants

Fournir des étalons pour les rayonnements ionisants est une tâche importante parmi celles dont le Comité international a la responsabilité car il lui incombe de fournir des références stables dans ce domaine aussi bien pour les usages médicaux, en diagnostic et en thérapie, que pour la radioprotection dans les secteurs industriels qui utilisent des rayonnements ionisants. Depuis plus de trente ans le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) et le laboratoire des rayonnements ionisants du BIPM ont joué un rôle clé dans la coordination de la recherche des laboratoires nationaux dans ce domaine. Le CCEMRI et le BIPM ont matériellement apporté leur contribution aux améliorations intervenues dans la métrologie des rayonnements ionisants au cours des trois dernières décennies. Comme dans la plupart des domaines de la métrologie, le moyen essentiel pour évaluer la fiabilité des méthodes actuelles et pour tester les nouvelles approches proposées est de faire des comparaisons internationales. Elles diffèrent énormément d'un type de radiation à l'autre et peuvent même être spécifiques pour un radionucléide donné ; les comparaisons continueront d'être au centre des activités du BIPM dans ce domaine.

En dosimétrie, on effectue des comparaisons des caractéristiques métrologiques d'instruments (tels que des dispositifs ionométriques ou calorimétriques) utilisés comme étalons pour une grandeur donnée. Les laboratoires d'étalonnage demandent de plus en plus de renforcer la traçabilité au BIPM. Un nouvel étalon, exact et très stable, pour mesurer la dose absorbée dans l'eau a récemment été mis au point et comparé avec succès à ceux des laboratoires nationaux. Le gain en exactitude obtenu grâce à ces étalons aura des répercussions tout au long de la chaîne d'étalonnage jusqu'au niveau de l'utilisateur. Dans le domaine des mesures neutroniques, plusieurs comparaisons ont conduit à établir des étalons de transfert fiables, normalement utilisés comme instruments de référence.

Pour les comparaisons, les radionucléides sont habituellement distribués en ampoules à partir desquelles les sources sont préparées par chaque participant. Au cours du temps, les radionucléides choisis ont évolué depuis des types simples, comme le ⁶⁰Co, jusqu'à des isotopes dont le schéma de désintégration est complexe, ce qui entraîne de sérieuses difficultés expérimentales. L'effort consacré à ce travail tant au BIPM que dans les laboratoires partici-

pants a eu pour conséquence de réduire de façon significative les incertitudes sur les mesures d'activité. Lors de ces comparaisons, qui font appel à des méthodes absolues, l'organisation et l'analyse des résultats sont compliquées et prennent beaucoup de temps ; en revanche, les mesures relatives peuvent être exécutées rapidement pour de nombreux nucléides émetteurs de rayonnement gamma, à l'aide d'une chambre d'ionisation qui sert de référence permanente (Système international de référence, SIR). Cette activité est devenue un service du BIPM dont l'utilité est universellement reconnue ; c'est un moyen efficace d'assurer la précision et l'uniformité. Cette activité doit continuer. Actuellement, le SIR concerne quelque 30 laboratoires et plus de 50 radionucléides ont été mesurés. En utilisant la technique des scintillateurs liquides, ce système s'étend maintenant aux émetteurs bêta.

Suite à la décision prise en 1985 par le CIPM de concentrer les efforts du BIPM dans le domaine des rayonnements ionisants sur la radioactivité et la dosimétrie des rayons x et γ , les recherches expérimentales sur les neutrons vont cesser en 1996. Les ressources financières et humaines ainsi dégagées seront reportées sur la dosimétrie des rayons x et γ , permettant d'assurer la poursuite à long terme des recherches dans ce domaine.

15. Le Système international d'unités (SI)

Depuis sa création en 1960 par la 11^e Conférence générale, le Système international d'unités a évolué. Une nouvelle unité de base, la mole, a été ajoutée à ce Système en 1971. Divers changements sont intervenus dans la définition de la seconde, du mètre, du kelvin et de la candela pour tenir compte de l'évolution de la métrologie consécutive aux progrès de la physique. La liste des préfixes SI a été allongée et de nombreuses modifications d'importance mineure ont été apportées au texte de la brochure sur le SI. Le SI a maintenant atteint un stade de développement tel que peu de modifications importantes devraient être nécessaires en dehors des modifications apportées à la définition des unités de base par suite des progrès de la physique. Toutefois, le Comité international, en réponse à une suggestion faite par l'ISO et après avoir pris l'avis de son Comité consultatif des unités, présente à la 20^e Conférence générale le projet de résolution H qui supprime la classe des unités supplémentaires et propose que le radian et le stéradian soient inclus dans la classe des unités dérivées du SI. Cette proposition est une conséquence logique de la position adoptée par le CIPM en 1980 consistant à considérer les unités supplémentaires du SI comme des unités dérivées sans dimension dont la CGPM autorise à mentionner ou à ne pas mentionner le nom dans l'expression des unités dérivées du SI. L'adoption du projet de résolution H par la 20^e Conférence générale revient ainsi, simultanément, à officialiser l'intention du CIPM telle que celui-ci l'a exprimée dans sa recommandation en 1980, à supprimer une petite incohérence entre l'interprétation faite par l'ISO de cette recommandation et la définition officielle donnée en 1960 par la CGPM des classes d'unités du SI, et à supprimer toute possibilité de malentendu pour les utilisateurs du SI.

Le président du CCU présentera un rapport devant la 20^e Conférence générale sur ce point précis et sur d'autres points mineurs du texte de la brochure sur le SI qui ont fait l'objet de discussions.

Suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI

Projet de résolution H

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— que la 11^e Conférence générale, en 1960, dans sa Résolution 12 établissant le Système international d'unités, SI, a distingué trois classes d'unités, celle des unités de base, celle des unités dérivées et celle des unités supplémentaires, cette dernière comprenant seulement le radian et le stéradian,

— que le statut des unités supplémentaires par rapport aux unités de base et aux unités dérivées a donné lieu à des discussions,

— que le Comité international des poids et mesures (CIPM), en 1980, constatant que le statut ambigu des unités supplémentaires compromet la cohérence interne du SI, a interprété dans sa Recommandation 1 (CI-1980) les unités supplémentaires, dans le SI, comme des unités dérivées sans dimension,

approuvant l'interprétation donnée par le CIPM en 1980,

décide

— d'interpréter les unités supplémentaires, dans le SI, c'est-à-dire le radian et le stéradian, comme des unités dérivées sans dimension dont les noms et les symboles peuvent être utilisés, mais pas nécessairement, dans les expressions d'autres unités dérivées SI, suivant les besoins,

— et, par conséquent, de supprimer la classe des unités supplémentaires en tant que classe séparée dans le SI.

16. Programme des travaux futurs du BIPM

Un programme détaillé des travaux du BIPM pour les années 1997 à 2000 sera proposé par le Comité international dans un document intitulé « Programme de travail et budget du Bureau international des poids et mesures pour les années 1997-2000 » ; il sera envoyé en complément de la présente convocation.

17. Dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures

La 19^e Conférence générale des poids et mesures, en octobre 1991, a décidé d'accroître la dotation annuelle du Bureau international de 6 % par an durant la période de 1993 à 1996. Peu après la 19^e Conférence générale, toutefois, de graves événements politiques affectant certains États membres de la Convention du Mètre ont entraîné de sérieuses inquiétudes pour le financement ultérieur du Bureau international. En septembre 1992, le CIPM a donc adopté un plan financier, pour les années 1992 à 1996, visant à réduire progressivement les dépenses générales et à parvenir à un budget en équilibre en 1996. Bien que la situation financière du BIPM soit nettement meilleure que celle qui avait été envisagée au mois de septembre 1992, l'essentiel du plan élaboré à l'époque est encore en vigueur. Des réductions sont imposées aux dépenses ; elles consistent principalement à limiter provisoirement le remplacement du personnel permanent partant en retraite et à freiner les augmentations annuelles des traitements et des pensions, pour la part de ces augmentations qui est normalement liée à la cherté de vie en lui imposant un plafond. Ces mesures limiteront l'augmentation totale des dépenses salariales à environ 8,5 % pour la période comprise entre 1992 et 1996. Cela représente une diminution significative par rapport à ce qui avait été prévu lors de la 19^e Conférence générale. Tous les efforts sont faits pour maintenir les dépenses d'investissement des laboratoires à un niveau convenable et assurer l'entretien du gros-oeuvre des bâtiments. Ces dispositions, associées à des mesures destinées à améliorer l'efficacité, devraient permettre dans toute la mesure du possible de réaliser le programme de travail adopté par la 19^e Conférence générale. En tout cela nous avons été aidés par le faible niveau d'inflation des prix en France depuis 1991.

La traversée de cette période perturbée renforce l'avis du Comité international selon lequel il est essentiel de disposer de réserves financières à un niveau équivalent à une fraction voisine d'une année entière de dépenses.

En présentant des propositions à la Conférence générale pour le montant de la dotation pour les années 1997 à 2000, le Comité international souhaite attirer l'attention des Gouvernements des États membres sur le fait que la dotation doit couvrir la totalité des frais de fonctionnement du Bureau international. Cela inclut non seulement les dépenses annuelles de fonctionnement des laboratoires mais aussi des postes tels que retraites, assurance maladie, entretien du domaine et des bâtiments ainsi que, occasionnellement, des travaux importants de rénovation ou de construction de bâtiments, l'acquisition d'équipements lourds et le démarrage de nouveaux pro-

grammes. À titre d'exemple, les dépenses faites récemment pour les nouveaux bâtiments (bâtiment des lasers en 1984 et Nouveau Pavillon en 1988) ont été financées exclusivement à partir des dotations annuelles ; il en a été de même pour l'installation des systèmes à effet Josephson et à effet Hall quantique pour les mesures électriques, l'installation d'une nouvelle source de ^{60}Co pour les travaux dans le domaine des rayonnements ionisants, la prise en charge de la responsabilité du Temps atomique international et le développement de la radiométrie. De plus, les fonds de la caisse de retraite du BIPM ont dû être considérablement accrus au cours des dix dernières années et doivent l'être encore pour faire face au doublement du nombre des retraités du BIPM qui va se produire d'ici à 2010. Même si elle ne se répète pas pour les mêmes domaines, il faut s'attendre à ce que la nécessité d'effectuer des dépenses importantes du même genre se renouvelle. Il faut y faire face si le BIPM doit continuer à remplir le rôle qui est le sien d'assurer les fondations du système métrologique mondial.

Il ressort de ce qui précède que la viabilité à long terme du BIPM ne peut être assurée que s'il existe une marge raisonnable entre les recettes et les dépenses annuelles de fonctionnement. Le Comité considère que la dotation votée par la 19^e Conférence générale n'est pas suffisante actuellement pour assurer cette marge ; c'est pourquoi il demande à la présente Conférence générale d'augmenter la dotation d'un taux supérieur à celui de l'inflation des prix en France. Depuis le début des années 1980, période pour laquelle les montants des dotations ont été votés par les 16^e, 17^e et 18^e Conférences générales, l'inflation en France a diminué. Elle a maintenant atteint un niveau tel qu'il est improbable qu'elle diminue encore de façon significative. Le Comité international souhaite, néanmoins, attirer l'attention des gouvernements des États membres sur les forts arguments qui existent, même dans cette période actuelle de faible inflation, pour voter des augmentations annuelles de dotation supérieures à l'inflation prévue en France pour la période de 1997 à 2000.

Les arguments pour continuer à assurer le financement du BIPM à un niveau permettant de maintenir la diversité et la qualité actuelles des travaux ou même de les étendre doivent, bien évidemment, comporter la justification de ces travaux eux-mêmes et les raisons pour lesquelles ceux-ci doivent être faits au BIPM. Ces arguments seront présentés et développés dans le rapport du président du Comité international à la 20^e Conférence générale ; en bref, ce sont les suivants :

— Le commerce international, la fabrication de produits de haute technologie, la recherche scientifique, y compris dans les domaines de pointe comme la recherche spatiale et l'océanographie, la protection de l'environnement et les nombreux problèmes posés pour la santé et la sécurité, dépendent de plus en plus de l'exactitude des mesures et demandent d'avoir un accès facile à un système de mesures stable et mondial. Cette exigence est satisfaite grâce au Système international d'unités, conservé par l'ensemble des laboratoires nationaux de métrologie en collaboration avec le BIPM sous les auspices de la Convention du Mètre.

— Le BIPM constitue un moyen efficace et rentable pour assurer les nombreux liens indispensables pour garantir l'équivalence des étalons conservés par les laboratoires nationaux et pour fournir la traçabilité au niveau international. Dans le même temps il assure certains services uniques et essentiels, tels que l'étalonnage d'étalons de masse par rapport au prototype international du kilogramme et l'établissement de l'échelle mondiale de temps UTC. Les services d'étalonnage du BIPM constituent un lien essentiel avec la métrologie mondiale pour certains services métrologiques d'États membres de la Convention du Mètre.

— L'obligation de plus en plus fréquente de se conformer strictement à des critères de performance dans le domaine de l'assurance de la qualité et de l'accréditation de laboratoires pré suppose l'existence du système de mesures mondial conservé dans le cadre de la Convention du Mètre. Pour les États membres de la Convention les activités du BIPM constituent un moyen important et efficace d'assurer cette base pour les mesures.

— Pour remplir ce rôle, les travaux scientifiques du BIPM, et par conséquent la compétence professionnelle de son personnel, les installations de ses laboratoires et leurs équipements doivent être maintenus au niveau des progrès les plus récents mis en œuvre dans les laboratoires nationaux.

En résumé, la proposition que le Comité international présente maintenant pour accroître la dotation, pour la période de 1997 à 2000, est fondée sur les objectifs suivants :

(i) poursuivre le développement du travail scientifique dans les laboratoires, afin de rester au niveau des progrès et des avancées techniques, mis au point surtout dans les laboratoires nationaux mais suscités par les progrès de la physique et les besoins de l'industrie et des États.

Il est à prévoir que les demandes déjà nombreuses de comparaisons internationales continueront d'augmenter par suite des pressions exercées sur les laboratoires nationaux pour qu'ils fournissent la preuve de l'équivalence et de la traçabilité au niveau international non seulement dans les domaines traditionnels de la métrologie mais aussi dans de nouveaux domaines, tels que la métrologie en chimie. Il convient de noter que, selon les prévisions, l'effectif total du personnel permanent au BIPM en l'an 2000 ne dépassera pas ce qu'il était en 1992.

— coût : prévision de l'inflation en France plus une somme complémentaire annuelle de 390 000 francs-or pour des développements scientifiques imprévus, de nouvelles comparaisons internationales et la poursuite de l'automatisation des services d'étalonnage, équivalant à un accroissement de 1,5 % par rapport à la dotation prévue pour 1996,

(ii) revenir à un niveau convenable de dépenses pour l'entretien des bâtiments et moderniser l'infrastructure des laboratoires :

— coût : une somme complémentaire de 200 000 francs-or, équivalant à un accroissement de 0,8 % par rapport la dotation prévue pour 1996.

(iii) renforcer les fonds de la caisse de retraite pour faire face aux besoins des versements qui devront être assurés vers la fin des années 1990 et au cours de la première décennie du prochain siècle :

— coût : 320 000 francs-or supplémentaires par an en plus des versements annuels à la caisse de retraite, correspondant actuellement à 16 % de la masse salariale annuelle (plus 9 % des salaires versés par le personnel) et équivalant à une augmentation annuelle de 1,2 % par rapport à la dotation prévue pour 1996. Une nouvelle augmentation sera vraisemblablement demandée à la 21^e Conférence générale en 1999.

Une attention permanente sera toujours apportée à réduire les dépenses en accroissant l'efficacité. Toutefois, même dans cette perspective, faire face aux besoins qui viennent d'être mentionnés correspond à une augmentation annuelle de 3,5 % au-dessus du taux d'inflation en France. En supposant que ce taux d'inflation ne dépassera pas une moyenne annuelle de 2 % durant la fin de la présente décennie, cela conduit à une augmentation totale de 5,5 % par an. Il faut toutefois souligner que le chiffre de 2 % par an qui a été retenu pour l'inflation en France au cours des prochaines années se situe à la limite inférieure des prévisions actuelles.

Pour calculer la dotation annuelle pour les années 1997 à 2000, le Comité propose comme point de départ un montant de 25 975 000 francs-or. Cette somme correspond au montant de la dotation votée par la 19^e Conférence générale pour 1996, soit 25 918 000 francs-or, augmenté de 0,22 %, cette augmentation résultant d'une diminution due à la disparition de la Yougoslavie et de la Tchécoslovaquie et d'une augmentation due à l'adhésion des Républiques Slovaque et Tchèque et de Singapour. Sur cette base le Comité demande à la Conférence générale d'accroître la dotation pour les années 1997 à 2000 en adoptant les montants qui figurent dans le projet de résolution I.

Dotation du BIPM*Projet de résolution I*

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— l'importance des travaux effectués par le Bureau international des poids et mesures et les services que celui-ci rend aux États membres de la Convention du Mètre,

— la nécessité de lui assurer les ressources suffisantes pour qu'il puisse accomplir de façon satisfaisante les tâches que lui prescrit la Conférence générale,

décide que la partie fixe de la dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures sera augmentée de telle façon que l'ensemble de la partie fixe et de la partie complémentaire (définie à l'Article 6 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre de 1875) soit, pour les États parties à la Convention à l'époque de la 20^e Conférence générale des poids et mesures, portée à

27 404 000 francs-or en 1997
28 911 000 francs-or en 1998
30 501 000 francs-or en 1999
32 178 000 francs-or en 2000.

18. Propositions des Délégués

Les délégations des États sont priées de faire connaître au Comité international les vœux ou propositions qu'elles désirent soumettre à la Conférence générale aussi rapidement que possible et en tout cas au moins six mois avant la Conférence, conformément à la décision de la 7^e Conférence générale (1948) : « les vœux ou propositions ainsi déposés seront transmis par le bureau du Comité à tous les États adhérents à la Convention, au moins quatre mois avant l'ouverture de la Conférence, afin que les Délégués puissent recevoir les instructions et pouvoirs nécessaires. Tout autre vœu ou proposition ne sera présenté à la Conférence qu'à la condition que le Comité ait eu le temps nécessaire de l'étudier et l'aura approuvé ».

19. Renouvellement par moitié du Comité international

Conformément aux articles 7 (1875) et 8 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre, la Conférence procède, au scrutin secret, au renouvellement par moitié du Comité international. Les membres sortants sont d'abord ceux qui, en cas de vacances, ont été élus provisoirement dans l'intervalle de deux sessions de la Conférence, les autres sont désignés par le sort. Les membres sortants sont rééligibles.

Décembre 1994

Pour le Comité international des poids et mesures,
Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex

Le Secrétaire,
J. KOVALEVSKY

Le Président,
D. KIND

ORDRE DU JOUR DE LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE

20^e Session — 1995

L'ordre du jour provisoire (*voir* page 20) a été adopté comme
Ordre du jour définitif

après l'adjonction du point suivant :

6a. Futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale.

20^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

1. Ouverture de la Conférence

Discours de Son Excellence M. le Ministre de l'Industrie de la République française

Monsieur Philippe KASPI, conseiller technique auprès du ministre de l'Industrie chargé des Affaires internationales, ouvre la séance inaugurale de la Conférence en prononçant l'allocution suivante :

MADAME LE PRÉSIDENT, MESDAMES ET MESSIEURS LES DÉLÉGUÉS,

Je représente ici Monsieur Yves GALLAND, le ministre français de l'Industrie, qui avait prévu d'ouvrir cette conférence jusqu'au moment où un impératif gouvernemental l'en a empêché. Il vous prie de bien vouloir l'excuser.

Voici cent vingt ans, exactement le 20 mai 1875, était signée la Convention du Mètre qui créait le Bureau international des poids et mesures et le Comité international des poids et mesures chargé d'en assurer la direction et la surveillance. Lui-même était — et demeure — placé sous la haute autorité de la Conférence générale des poids et mesures. J'ai le grand honneur et le plaisir, au nom du Gouvernement de la République française, de vous accueillir aujourd'hui et de déclarer ouverte la Conférence générale des poids et mesures.

À cet anniversaire s'ajoute le fait que cette conférence est la vingtième à se tenir depuis 1875. Je profite de cette coïncidence pour retracer rapidement l'histoire de ce qui est l'un des traités internationaux les plus anciens qui soient toujours en vigueur, non seulement sur le papier, mais bien vivant, développant la coopération entre une cinquantaine de pays et assurant une harmonisation bénéfique à l'industrie et au commerce du monde entier.

L'histoire du Bureau international des poids et mesures est le reflet du développement scientifique et industriel qui a marqué les cent vingt dernières années. Deux unités ont justifié sa création : le mètre et le kilogramme. La troisième unité — la seconde — était alors aux mains des astronomes puisque la mesure du temps était le résultat des observations de passage des étoiles au méridien. Il a fallu quatorze années pour que les étalons du mètre et du kilogramme soient construits en nombre suffisant, comparés et distribués par la première Conférence générale des poids et mesures en 1889. Sept autres Conférences générales eurent lieu jusqu'à la Seconde Guerre mondiale. Après celle-ci, le rythme s'est accéléré et à partir de 1960, la périodicité de quatre ans s'est établie jusqu'à nos jours. La grande œuvre des années 1950 aura été l'établissement d'un système pratique cohérent d'unités de mesure fondé non plus sur trois, mais sur sept unités des grandeurs suivantes : longueur, masse, temps, intensité du courant électrique, température thermodynamique, quantité de matière et intensité lumineuse. C'est le « Système international d'unités » qui est la base de vos travaux de métrologues, mais qui est surtout l'instrument privilégié de la coopération internationale partout où

la mesure est présente, c'est-à-dire dans les domaines aussi divers que la science, l'industrie, l'environnement, le commerce, la santé, etc.

Ce Système international d'unités n'est pourtant pas un ensemble rigide. Il constitue un cadre qui permet de suivre les progrès de la science et de la technique et d'améliorer constamment la réalisation des unités de base, de leurs multiples et sous-multiples et de toutes les unités dérivées qui sont parfois d'un emploi plus fréquent que les unités de base elles-mêmes, tels le volt, le watt, l'ohm, le mètre par seconde ou le pascal. Le rôle du Bureau international des poids et mesures et des principaux laboratoires nationaux de métrologie est déterminant dans cette évolution. Dans un certain nombre de cas, de nouvelles procédures expérimentales permettent d'améliorer considérablement la précision avec laquelle les unités sont réalisées. À cette conférence on vous présentera de nouvelles procédures de mise en pratique de la définition du mètre qui auront pour effet d'augmenter l'exactitude des mesures. Le Comité international des poids et mesures a procédé de la même manière il y a sept ans pour le volt et l'ohm et vous l'avez approuvé il y a quatre ans.

Mais parfois aussi, le phénomène physique utilisé pour définir une unité ne permettait plus de satisfaire les besoins croissants d'exactitude. La Conférence générale a ainsi redéfini le mètre en 1960 et 1983, la seconde en 1960 et 1967, la candela en 1967 et 1979. Mais à chaque fois, vous avez pris soin de faire en sorte que la nouvelle définition soit strictement compatible avec l'ancienne si bien que les mesures faites avant et après la nouvelle définition restent parfaitement comparables : on n'a pas à préciser quelle définition de l'unité on a utilisé.

Ces progrès ne sont pas seulement des performances remarquables, ils sont indispensables pour satisfaire les besoins des industries de pointe aussi bien que ceux de la santé ou de la protection de l'environnement. La France a toujours soutenu et continue à soutenir sans réserve les travaux du Bureau international des poids et mesures et à développer en parallèle les laboratoires primaires français regroupés au sein du Bureau national de métrologie (BNM). Cette année, le ministère de l'Industrie et le ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Insertion professionnelle ont réuni leurs forces pour donner une nouvelle impulsion à la métrologie française en créant une nouvelle structure à la fois unificatrice et plus souple : le concept français de « Groupement d'intérêt public BNM » dont l'objectif est de se transformer à terme en un Établissement public de métrologie.

Mais on ne doit pas ignorer les vœux des utilisateurs de la métrologie qui sont de plus en plus nombreux et exigeants. Ils sont servis à la fois par les chaînes d'étalonnage dans le cadre du Comité français d'accréditation et les services de métrologie légale. Les coopérations internationales entre les métrologues français et leurs confrères étrangers sont multiples. De nombreux accords ont été passés entre le Bureau national de métrologie et ses correspondants étrangers pour assurer une reconnaissance réciproque de la qualité des étalonnages. Dans le domaine de la recherche, des dizaines de programmes de travail en commun avec d'autres pays sont exécutés dans le cadre d'EUROMET.

En Europe occidentale, l'organisme de coopération pour les étalonnages, Western European Calibration Cooperation (WECC), a joué un rôle important dans la coordination des accréditations des laboratoires d'étalonnage. D'autres organismes régionaux analogues existent ailleurs dans le monde. En fait, il y a une synergie des besoins et des moyens entre la métrologie scientifique, les étalonnages, les essais et les vérifications.

Aussi bien on peut se demander dans quelle mesure cette synergie qui se retrouve dans tous les pays ne devrait pas avoir un pendant international et si des relations beaucoup plus étroites ne devraient pas être établies entre le Bureau international des poids et mesures et l'Organisation internationale de métrologie légale.

C'est pourquoi le Gouvernement français propose à cette Conférence générale une réflexion dans ce sens, qui pourrait être prolongée par des contacts directs entre les bureaux des deux organisations.

Quelle que soit l'issue de ces propositions et la nature des relations futures entre les deux organismes, la métrologie scientifique reste condamnée à continuer à faire des progrès pour remplir, dans ce monde en évolution technologique rapide, son rôle de soutien de base des activités humaines. Les vœux du Gouvernement français vous accompagnent dans cette tâche et je souhaite un aboutissement heureux des délibérations qui auront lieu au cours de cette Conférence générale et, lorsque vous retournerez dans vos pays respectifs, un plein succès pour les travaux de vos instituts nationaux de métrologie.

Réponse de M. le Président du Comité international des poids et mesures

M. D. KIND, président du Comité international des poids et mesures, répond en ces termes :

MONSIEUR LE CONSEILLER,

Je vous remercie pour ce discours inaugural et tous vos vœux de succès. Cent vingt ans après la signature de la Convention du Mètre, cette 20^e Conférence générale des poids et mesures a un poids tout particulier. J'ai grand plaisir à vous répondre que les organes et les États membres de la Convention du Mètre ont toujours reçu le soutien total du Gouvernement français. La protection du Gouvernement français leur a été fort utile pour les aider à accomplir les tâches qui leur ont été imparties ces dix dernières années, afin de répondre aux besoins de la métrologie dans le monde. Au nom du Comité international des poids et mesures, je tiens à vous remercier pour le soutien sans faille que le Gouvernement français nous a toujours témoigné.

Discours de Mme le Président de l'Académie des sciences de Paris, Président de la Conférence

Madame M. GRUNBERG-MANAGO, président de l'Académie des sciences de Paris, et président de la Conférence, prononce l'allocution suivante :

MONSIEUR LE CONSEILLER, MONSIEUR LE PRÉSIDENT, MESDAMES ET MESSIEURS,

Quand Jean KOVALEVSKY m'a annoncé qu'il revenait au président de l'Académie des sciences de prononcer l'exposé introductif de cette Conférence générale des poids et mesures, j'en ai été tout d'abord très honorée mais ensuite un peu inquiète, car je ne me considère pas, par ma nature, comme la personne la plus à même pour parler de poids et mesures. Pour vous donner un exemple, étant étudiante en licence de biochimie, j'ai été interrogée sur la mesure de la pression artérielle. Cette question m'a prise de court et je n'ai pu que répondre : « quand une personne a 24 de tension, c'est beaucoup trop ! » Et je me souviens encore de la réponse de l'examineur : « tout le monde n'a pas la chance, Mademoiselle, d'avoir des hypertendus parmi sa famille ou ses amis ».

Pourtant, par la suite, devenue biologiste moléculaire, j'ai pris rapidement conscience de l'importance de la mesure dans mon métier. De fait, c'est parce que, dans l'expérience quotidienne du laboratoire, les observations

qualitatives sont maintenant accompagnées de données quantitatives, que notre discipline est devenue une discipline prédictive, qu'on est passé, en somme, des « sciences naturelles » de jadis à la biologie moderne. Ainsi, nous jonglons quotidiennement avec les picomoles de protéines, d'acides nucléiques ou d'enzymes marqueurs comme la *betagalactosidase*. Il arrive d'ailleurs qu'au cours d'une expérience les quantités de produits détectés, ou leur variation, se rapprochent des limites de détection des appareils : c'est alors que, pour déterminer si les données sont significatives, interviennent les calculs d'erreur ainsi que l'intuition du chercheur.

Pour illustrer le rôle grandissant de la mesure en biologie, j'ai choisi aujourd'hui de vous parler de deux exemples. J'illustrerai d'abord les dimensions des entités biologiques auxquelles le biologiste moléculaire est confronté, je discuterai ensuite les nouvelles méthodes de cartographie du génome¹ humain.

Il me semble utile de donner quelques ordres de grandeur de la taille des objets que nous allons rencontrer, depuis l'homme (1,70 m en moyenne) jusqu'à l'atome (0,01 nm), en passant par les protéines (10 nm), virus (de l'ordre de 100 nm), bactéries (1 μm) cellules eucaryotes² (10 μm en moyenne), ou l'acide désoxyribonucléique (ADN) (*E. coli*³ (1 mm), levure (4,6 mm), humain (1 m)).

Si l'on considère qu'un organisme humain est formé de 5×10^{12} cellules, et qu'il y a 1 m d'ADN dans chacune d'elles, on trouve que la longueur totale d'ADN présente dans un être humain est de 5×10^9 km, soit trente fois la distance de la Terre au Soleil (environ $30 \times 1,5 \times 10^8$ km). On prendra la mesure de cette distance énorme en précisant que la lumière mettrait 5 heures à la parcourir !

Poursuivant sur les dimensions du génome, il peut être important de rappeler celles de l'ADN : 20 Å (2 nm) de diamètre, 3,4 Å (0,34 nm) par paire de bases, dix paires de bases par tour de la double hélice. En observant au microscope électronique une bactérie éclatée, on peut voir et mesurer la longueur d'une partie de son ADN. La bactérie mesure 0,16 μm x 0,5 μm et son ADN 1 mm de long : on mesure le degré d'empaquetage du génome *in vivo* !

Le génome d'*E. coli* (1 mm de long environ) peut coder pour la construction d'environ 3 000 à 4 500 protéines. Un gène correspond à 900 à 1 500 paires de bases et il y a colinéarité entre le gène, l'ARNm (acide ribonucléique messager), et la protéine correspondante (codage « direct »).

Chez les eucaryotes, du fait que les gènes sont morcelés, 90 % des séquences ne codent pas pour des protéines. L'ADN humain a une longueur de 1 m et il est empaqueté dans 46 chromosomes. Comme chez les bactéries, l'empaquetage de l'ADN dans ces structures atteint une densité remarquable : ainsi, aucun chromosome ne dépasse 10 μm de long. Ces données sont intéressantes à rappeler du fait des efforts faits actuellement pour séquencer l'ADN du génome humain. On peut aujourd'hui séquencer 36 000 paires de bases par jour, et actuellement 5 636 gènes sont reconnus et séquencés sur les 100 000 environ que comporterait le génome humain. Par comparaison, l'ADN du bactériophage lambda ne comporte que 100 gènes. Le prix du travail de séquençage est de l'ordre de 0,50 francs (10 cents américains) par paire de bases.

Les processus biologiques se différencient aussi par leur vitesse (déroulement de l'hélice de l'ADN : 10^{-6} μs , réaction catalysée par une enzyme : 1 μs et synthèse d'une protéine : 10 s, une génération d'une bactérie : 10^3 s).

¹ Ensemble des gènes portés par les chromosomes dans chaque noyau d'une cellule.

² Cellules dont le noyau est bien séparé du cytoplasme par une membrane.

³ *Escherichia coli*, communément appelé colibacille.

Les principaux moyens actuellement disponibles pour déterminer la structure des molécules sont les suivants :

- La cristallographie par les rayons x est la méthode la plus précise, à la condition toutefois que l'on dispose de cristaux ! La résolution peut atteindre l'échelle atomique (0,1 nm) ;
- La résonance magnétique nucléaire donne des résultats d'une résolution équivalente, mais est limitée à des masses moléculaires inférieures à 15 000 ou 20 000 daltons⁴. Les structures de nombreuses protéines ou acides nucléiques ont déjà été résolues par ces procédés : c'est par exemple le cas des ARNt⁵ (80 nucléotides, 25 000 daltons, longueur dans la plus grande dimension : 8 nm) ;
- La microscopie électronique fournit des informations originales car elle donne des images de molécules individuelles, ce qui permet par exemple d'étudier les changements de conformation de molécules d'ADN complexées à des ligands (protéines ou drogues). Sur des images de protéines isolées, la résolution peut atteindre 2 nm environ. Mais les meilleurs résultats (0,2 nm à 0,5 nm) sont obtenus lorsqu'il est possible de faire la moyenne des signaux fournis par un grand nombre de molécules individuelles sur des arrangements bidimensionnels observés en cryo-microscopie électronique (à la température de l'azote liquide).

Je voudrais maintenant très brièvement discuter des méthodes de cartographie des gènes sur le chromosome. Ces méthodes sont fondées sur le fait que, si les gènes sont portés par un même chromosome, ils peuvent dans certains cas se dissocier, parce qu'il existe des échanges de matériel génétique entre les deux chromosomes d'une même paire lors de la formation des gamètes⁶. On appelle ces échanges entre les deux chromosomes d'une même paire « cross-over », qui peut se traduire en français par « enjambement ».

Au cours de l'échange entre ces deux chromosomes, lors de la formation des gamètes, l'un des chromosomes peut utilement être représenté en bleu, l'autre en rouge. L'enjambement conduit à la formation de deux chromosomes, l'un rouge et bleu, l'autre bleu et rouge. Si l'enjambement se produit entre deux gènes A et B (l'un bleu, l'autre rouge), certains gamètes vont porter les gènes A et B qui n'étaient pas initialement associés sur un même chromosome. On dit que les gènes A et B se sont recombines et cette recombinaison sera transmise à la descendance.

Pourquoi détailler ce concept ici ? C'est parce qu'il fournit une méthode qui permet d'ordonner les gènes sur les chromosomes et de mesurer leurs distances. En effet, si les deux gènes sont très proches sur un chromosome, ils seront rarement dissociés ou recombines à la suite d'un enjambement. Si, à l'inverse, ils sont éloignés, ils seront plus souvent dissociés ou recombines. C'est en étudiant les mouches drosophiles et en dénombrant, dans la descendance, les mouches dont les caractères sont ou ne sont pas souvent recombines, que T.H. Morgan a pu ordonner, sur les chromosomes, les gènes qui gouvernent ces caractères, et évaluer la distance entre ces gènes. C'est ainsi qu'il établit la première carte chromosomique en 1922.

Considérons la carte des chromosomes de la drosophile. Cette mouche possède quatre paires de chromosomes, que l'on peut schématiser par des barres verticales sur lesquelles les gènes qui contrôlent différents caractères sont indiqués. L'unité de mesure de la distance entre les gènes est le taux de recombinaison exprimé en pour-cent ou « centimorgan ». Cette carte est appelée carte génétique car elle est fondée sur l'analyse de la transmission

⁴ dalton : nom donné en biochimie à l'unité de masse atomique unifiée.

⁵ acide ribonucléique de transfert.

⁶ gamètes : cellules reproductrices sexuées dont la réunion forme l'œuf.

des caractères. Dès 1936, on a découvert que cette carte génétique correspond à une réalité physique.

En effet, dans certains tissus de la drosophile, l'ADN présente une amplification considérable de sorte que les chromosomes deviennent visibles au microscope ; sur ces chromosomes, les différents gènes peuvent être distingués sous la forme de « bandes » bien délimitées. Chez certains mutants, on constate que la mutation correspond à la disparition d'une bande particulière, ce qui localise le gène correspondant. On peut alors voir que l'ordre des gènes défini par la génétique est bien l'ordre physique. Ici, l'emplacement des gènes sur les bandes, à leur emplacement déterminé par la génétique. La corrélation entre la carte génétique et la carte physique est établie. Vous voyez donc qu'il existe deux approches différentes pour déterminer la distance entre les gènes sur un chromosome, et ces deux approches sont concordantes.

Afin de pouvoir prédire dans une descendance quels sont les individus à risque pour une maladie donnée, les généticiens humains ont souhaité depuis longtemps disposer d'une carte des chromosomes humains. À cette fin, le Centre d'étude du polymorphisme humain a rassemblé les données relatives à de grandes familles qui devraient permettre d'estimer les fréquences de recombinaisons entre différents caractères en étudiant comment se dissocient ou se recombinent ces caractères dans les générations successives. Mais l'obstacle majeur était le marquage des caractères dont on pourrait suivre la transmission au cours des générations. Cet obstacle a été résolu dans les années 1980, ce qui a permis la naissance du programme de recherche sur le génome humain.

C'est David Botstein qui imagina comment on pourrait dresser des cartes génétiques des chromosomes humains. On sait que la séquence de l'ADN de divers individus comporte de petites différences dans la suite des bases. Ces différences passent pour la plupart inaperçues car elles ne modifient pas les caractères visibles de l'individu. D. Botstein réalisa que ces petites différences pouvaient être détectées par les outils moléculaires dont on dispose maintenant. Par conséquent, elles deviennent des marqueurs dont on peut suivre la transmission à travers les générations. On peut donc mesurer la fréquence relative de leur recombinaison et déterminer leurs positions relatives sur une carte génétique.

La première génération de marqueurs explora le polymorphisme de restriction. Les variations dans les séquences d'ADN d'un individu à l'autre peuvent être aisément décelées si elles touchent les sites reconnus par des enzymes de restriction (enzymes spécifiques hydrolysant des séquences particulières des nucléotides). En effet, l'hydrolyse de l'ADN total par l'une de ces enzymes crée une population de fragments de longueur discrète, dont les extrémités correspondent à deux sites reconnus ; la disparition d'un de ces sites se traduit par un changement de la taille du fragment d'ADN correspondant qu'on peut aisément observer. L'intérêt de cette source de polymorphisme est que tous les gènes sont décelables. Ultérieurement, on découvrait une autre source de polymorphisme, provenant des séquences répétées en tandem qui sont dispersées dans le génome. Le motif de base de ces répétitions correspond tantôt à une dizaine de paires de bases tantôt à des dinucléotides. Ce sont notamment ces tandems de dinucléotides (dits « microsattellites ») qui ont permis d'établir les cartes génétiques hautement résolubles dont nous disposons aujourd'hui grâce aux travaux de J. Weissenbach à Généthon. Des répétitions du dinucléotide CA (cytosine ; adénosine) existent environ toutes les 50 000 bases dans le génome humain. Le nombre des répétitions à un emplacement donné du génome varie d'un individu à l'autre, mais est stable lors de sa transmission au cours des générations. C'est ce

polymorphisme dans le nombre des répétitions en tandem à l'intérieur des microsatellites qui est exploité pour fournir des marqueurs.

Les séquences flanquantes qui ont été déterminées en établissant le marqueur microsatellite permettent de calculer le pourcentage de recombinaison entre ces différents marqueurs, lors de leur transmission de génération en génération au sein des très grandes familles rassemblées par les chercheurs du Centre d'étude du polymorphisme humain à Paris.

Après avoir localisé entre deux marqueurs la région de l'ADN où se trouve le gène, on commence la recherche du gène proprement dit. C'est une démarche laborieuse, car seule une très faible fraction du génome (2 %) porte l'information codante. En somme, localiser un gène dans la séquence non codante environnante s'apparente à rechercher une aiguille dans une meule de foin ! Malheureusement, il n'existe aucune technique très performante pour repérer les gènes dans un fragment d'ADN.

Comment ces cartes vont-elles nous permettre d'isoler les gènes dont les défauts sont responsables de maladies héréditaires ? L'idée est la suivante : si l'on est capable de localiser sur les chromosomes humains, avec suffisamment de précision, l'intervalle où se trouve un tel gène, on pourra, dans un avenir proche, par différentes techniques, analyser l'ADN contenu dans cet intervalle et trouver le gène responsable de la maladie. C'est là une démarche nouvelle. Auparavant, on identifiait la fonction défectueuse chez le malade à partir de la protéine responsable de cette fonction. C'est seulement ensuite que le gène codant pour cette protéine était identifié. La démarche allait donc de la maladie à la protéine, puis au gène. La nouvelle démarche s'appuie exclusivement sur la localisation du gène sur les chromosomes. Elle va de la maladie au gène, puis à la protéine. Cette approche ne nécessite pas de connaître préalablement ou de caractériser la protéine défectueuse, ce qui représente un grand progrès.

Or, pour la très grande majorité des maladies héréditaires, nous n'avons pas la moindre idée de la fonction défectueuse. Deux étapes toutefois demeurent incontournables. La première consiste à localiser le gène défectueux sur les chromosomes par l'étude de la distribution familiale de la maladie correspondante, et la deuxième à rechercher d'éventuelles mutations dans ces gènes chez les malades. C'est seulement lorsque de telles mutations sont effectivement trouvées qu'on peut en conclure que le gène candidat est bien responsable de la maladie.

Aujourd'hui 9 000 gènes ont été localisés chez l'homme, alors qu'il doit en exister 100 000. Parmi ces gènes, plus d'une centaine ont été identifiés comme responsables de maladies héréditaires. Grâce aux progrès techniques de la biologie moléculaire, la médecine et la pharmacologie entrent dans une nouvelle ère.

J'ai essayé de vous montrer comment la biologie moléculaire moderne a besoin de la discipline à laquelle vous vous attachez, la mesure. Vous allez pendant cette semaine affiner cet art qui est le vôtre. Au nom de l'Académie des sciences, je forme pour votre travail et pour le succès de cette réunion les vœux les plus chaleureux.

En terminant sa conférence, Madame Grunberg-Manago informe les délégués qu'elle est retenue par d'autres obligations, en raison du bicentenaire de l'Institut de France, et qu'elle est obligée de quitter la Conférence générale, mais que M. Blanc-Lapierre, physicien et ancien président de l'Académie des sciences de Paris, qui a déjà suivi les travaux de la Conférence générale en 1983, la remplacera avantageusement pour la suite de la Conférence.

2. Présentation des titres accréditant les Délégués

Après une interruption d'environ quinze minutes, la Conférence reprend ses travaux sous la présidence de M. BLANC-LAPIERRE. M. BLANC-LAPIERRE est très heureux de présider cette conférence et rappelle qu'il avait déjà eu le plaisir et l'honneur de présider en 1983 la 17^e Conférence générale qui a adopté la nouvelle définition du mètre.

Il informe les délégués de la nécessité de modifier les dates de certaines séances en raison d'une grève dans la fonction publique française le mardi 10 octobre.

M. KOVALEVSKY, secrétaire du Comité international, informe la Conférence que les titres accréditant les délégués lui ont été préalablement remis avant l'ouverture de la Conférence et que tout est en règle.

3. Nomination du Secrétaire de la Conférence

Sur proposition de M. BLANC-LAPIERRE, la 20^e Conférence générale désigne, par applaudissements, M. J. KOVALEVSKY, secrétaire du Comité international, comme Secrétaire de la Conférence.

M. KOVALEVSKY remercie M. BLANC-LAPIERRE et demande que soit désigné un secrétaire-adjoint, car il sera retenu momentanément dans l'après-midi par d'autres obligations à l'Académie des sciences auxquelles il ne peut se dérober. Il suggère de nommer M. L. CROVINI, secrétaire-adjoint du Comité international, Secrétaire-adjoint de la conférence. Sa proposition est approuvée.

4. Établissement de la liste des Délégués ayant pouvoir de voter

Les titres accréditant les délégués ayant été remis au préalable, le Secrétaire procède à l'établissement de la liste des délégués chargés du vote, par État. Cette liste s'établit comme suit :

Afrique du Sud	Mme M.S.E. WIMMERS
Allemagne	M. E.O. GÖBEL
Amérique (É.-U. d')	Mme K.B. GEBBIE
Australie	MM. B.D. INGLIS
Autriche	R. GALLE
Belgique	H. VOORHOF
Brésil	G.F. GUIMARÃES DE MOURA
Canada	A.L. VANKOUGHNETT
Chine (Rép. pop. de)	GAO Jie
Corée (Rép. de)	CHOE Hong-Guhn
Danemark	K. CARNEIRO
Égypte	M.A.H. EL FEKI
Espagne	A. GARCIA SAN ROMAN
Finlande	Mme U. LÄHTEENMÄKI
France	MM. J. KOVALEVSKY
qui délègue son vote à	A. KELLER
Hongrie	P. PÁKAY
Inde	E.S.R. GOPAL
Indonésie	M. ANWAR
Israël	A. SHENHAR
Italie	M. MURGO
Japon	Y. KURITA
Mexique	J. GONZALEZ BASURTO
Norvège	H. KILDAL
Nouvelle-Zélande	J.V. NICHOLAS
Pays-Bas	G.J. FABER
qui délègue son vote à	R. KAARLS

Pologne	MM. K. MORDZINSKI
Portugal	M. VIDIGAL
Roumanie	G.D. STOICHITOIU
Royaume-Uni	P.B. CLAPHAM
Russie (Féd. de)	Y.V. TARBÉEV
Singapour	V. TAN Khai Shuan
Slovaque (Rép.)	L. ŠUTEK
Suède	K. SIEGBAHN
Suisse	B. VAUCHER
Tchèque (Rép.)	M. TOŠOVSKÝ
Thaïlande	S. YAMASMIT
Turquie	M. SAHINLER

Sur les quarante-huit États signataires de la Convention du Mètre, trente-sept sont représentés.

5. Approbation de l'ordre du jour

L'ordre du jour provisoire proposé dans la Convocation est adopté, après l'adjonction d'un point 6a consacré aux futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale.

Le PRÉSIDENT donne la parole à M. KIND, président du Comité international, pour la présentation de son rapport.

6. Rapport de M. le Président du Comité international des poids et mesures sur les travaux accomplis depuis la 19^e Conférence générale (octobre 1991 – septembre 1995)

M. D. KIND, président du Comité international des poids et mesures, présente le rapport suivant :

En conformité avec l'Article 7 du Règlement annexé à la Convention du Mètre, j'ai le plaisir en tant que président du Comité international des poids et mesures (CIPM) de présenter à la 20^e Conférence générale des poids et mesures mon rapport sur les travaux accomplis depuis la 19^e Conférence générale. Ce rapport couvre donc les quatre années qui se sont écoulées depuis le mois d'octobre 1991.

Progrès de la métrologie internationale

Cette année est celle du cent vingtième anniversaire de la signature à Paris de la Convention du Mètre. Au cours de ces cent vingt ans la Convention a fourni le cadre qui a permis l'élaboration du système de mesures complet qui est utilisé aujourd'hui dans le monde entier. Le Système international d'unités (SI) et le réseau complexe d'interactions qui existe entre le BIPM et les laboratoires nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre constituent une partie cachée, mais fondamentale, de l'infrastructure du monde moderne.

Depuis 1875 les domaines d'activité pris en charge dans le cadre de cette Convention se sont considérablement étendus. Non seulement le Bureau international entreprend davantage lui-même mais aussi le Comité international élargit ses activités par l'intermédiaire de ses comités consultatifs. Ces extensions sont la preuve de la bonne santé de l'organisation ; elles traduisent l'accroissement des travaux de métrologie demandés par les États membres, lesquels à leur tour traduisent les besoins de la science, de l'industrie, du commerce et des Gouvernements.

À l'origine, les activités des organes de la Convention ne concernaient que le mètre et le kilogramme, c'est-à-dire deux unités des trois grandeurs de base de la mécanique, la longueur, la masse et le temps. Rapidement, toutefois, il devint évident qu'il fallait une unité bien définie pour une autre grandeur, la température, afin de pouvoir faire correctement les mesures de longueur.

À l'époque de la signature de la Convention du Mètre, des discussions avaient déjà eu lieu sur la meilleure façon de définir les unités et les étalons de mesure pratiques pour les grandeurs en magnétisme et en électricité. Ces discussions avaient commencé en 1832 lorsque Gauss proposa que les résultats des mesures magnétiques soient exprimés en unités « absolues » définies en fonction de l'unité mécanique de force. Peu après, Gauss et Weber introduisirent un système absolu pour toutes les mesures électriques, fondé sur le millimètre, le milligramme et la seconde. Dans les années 1850 William Thomson, le futur Lord Kelvin, avait commencé à effectuer des mesures dont il exprimait les résultats en fonction des unités mécaniques britanniques de l'époque.

Les idées sous-jacentes à cette évolution ont été clairement exprimées par Maxwell qui écrivait en 1863 : « Les phénomènes qui nous permettent de connaître l'électricité sont d'origine mécanique et, par conséquent, ils doivent être mesurés en fonction des unités mécaniques et de leurs étalons. » Dès lors et jusqu'à la fin du siècle, de nombreux travaux furent entrepris, dont beaucoup sous l'égide de la British Association, afin de donner des bases pratiques solides à ces idées. D'importantes réunions internationales se déroulèrent, à Paris en 1881, 1882, 1889 et 1900, à Chicago en 1893, à Berlin en 1905 et à Londres en 1908. Ce qui est frappant à propos de ces réunions, c'est la présence de personnalités telles que Kelvin, Rayleigh, Siemens, Helmholtz, Clausius, Kirchhoff, Mach, Govi et Ferraris, ce qui montre non seulement l'importance que l'on attribuait à l'établissement d'un système convenable d'unités pour ces grandeurs mais aussi que cette question était tout à fait cruciale pour la physique à l'époque.

Bien qu'à l'origine les mesures électriques n'aient pas fait partie des activités confiées au BIPM, celui-ci entreprit rapidement d'en faire et commença en 1884 par construire des étalons de un ohm pour le Gouvernement français. En 1907 de nouveaux étalons de un ohm, encore pour la France, furent fabriqués selon la configuration adoptée par la Conférence de Chicago en 1893. Avec la création en 1927 d'un Comité consultatif d'électricité, le BIPM entreprit sur les étalons électriques un travail plus large qui se poursuit encore aujourd'hui.

En 1937, le CIPM décida d'élargir les activités du BIPM et fonda un laboratoire de photométrie. En 1960, la 11^e Conférence générale, consciente de l'importance du domaine de la physique nucléaire, alors en pleine expansion, et de ses applications industrielles et médicales, prit la décision d'étendre les activités du CIPM et du BIPM et prit pied dans le domaine des étalons de mesure des rayonnements ionisants. Une extension du terrain concédé au BIPM fut obtenue et de nouveaux laboratoires furent construits.

L'invention des horloges atomiques et la production d'échelles de temps atomique, plus stables que toute échelle astronomique, amenèrent en 1967 la 13^e Conférence générale à abandonner la base astronomique de la définition de la seconde. Il s'en suivit que la responsabilité du Temps atomique international (TAI), base de l'échelle de temps dans le monde, a été prise en charge par le CIPM et la conservation de cette échelle a été transférée du Bureau international de l'heure, situé à l'Observatoire de Paris, au BIPM. Cette extension des activités du BIPM a été approuvée par la 18^e Conférence générale en 1987 et a pris effet le 1^{er} janvier 1988.

La métrologie en chimie

La chimie moderne et l'ingénierie chimique font appel à des techniques de mesure hautement sophistiquées. Pendant la période durant laquelle s'est développée la métrologie en physique et dans l'ingénierie, il y a eu peu de pression pour une évolution comparable en chimie. La pression des demandes pour des mesures exactes, émanant du commerce international, des industries de pointe et de la physique fondamentale, n'a pas été accompagnée par un phénomène comparable dans le domaine de la chimie. C'est seulement depuis quinze à vingt ans que la nécessité d'un accord international pour les mesures faites en chimie est apparue et on reconnaît maintenant que des mesures exactes en chimie sont nécessaires pour obtenir la stabilité à long terme et permettre de comparer les mesures entre les différents secteurs de cette science. Cela ne peut se faire que si les résultats des mesures sont exprimés en unités SI. En réponse à une demande explicite d'intervenir au plus haut niveau de la métrologie, le CIPM a commencé à examiner le problème en 1990.

Après avoir pris connaissance des recommandations d'un groupe de travail, dont j'ai signalé l'existence devant la 19^e Conférence générale en 1991, le CIPM a créé en 1993 un nouveau comité consultatif : le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM). Le CCQM s'est réuni pour la première fois au mois d'avril 1995 et le président de ce nouveau comité présentera son premier rapport à la présente Conférence. Dans le cadre de sa mission ce nouveau comité consultatif doit coordonner son action avec celle des autres organismes internationaux qui travaillent dans ce domaine, entre autres l'Union internationale de chimie pure et appliquée, Eurachem (organisation de coopération européenne pour les mesures en chimie) et EUROMET (coopération européenne en métrologie). Lors de sa 1^{re} session, le CCQM a fermement recommandé au CIPM que des moyens soient trouvés afin de commencer au BIPM un travail de laboratoire dans le domaine de la métrologie en chimie. Les arguments présentés à l'appui de cette recommandation sont ceux avec lesquels nous sommes déjà familiers dans les domaines de recherche qui relèvent des autres comités consultatifs : d'une part l'aide que peut apporter le personnel du BIPM à un comité consultatif est plus efficace si ce personnel est effectivement engagé dans un travail scientifique dans le domaine concerné ; d'autre part les comparaisons internationales effectuées au BIPM ou directement par le personnel du BIPM présentent de nombreux avantages sur celles qui sont effectuées par les laboratoires nationaux de métrologie. Bien qu'il ne soit pas présenté à cette Conférence générale de demande spécifique de fonds supplémentaires pour entreprendre un tel travail, nous espérons néanmoins qu'il sera possible de commencer à travailler dans ce domaine avant la prochaine Conférence générale. Comme toujours, nous nous appuyerons beaucoup sur l'aide des laboratoires nationaux de métrologie pour nous lancer dans le travail dans ce nouveau domaine.

Les comparaisons internationales et le rôle du SI

J'en viens maintenant au rôle de plus en plus important joué par les comparaisons internationales effectuées par le BIPM et dans le cadre des comités consultatifs. Je signalerai leur rôle dans la vérification de l'exactitude des étalons nationaux de mesure et dans l'assurance apportée par la publication de l'équivalence au plus haut niveau des systèmes nationaux de mesure ; cette équivalence est nécessaire pour conclure des accords commerciaux et pour établir les liaisons essentielles entre les nombreuses comparaisons qui sont maintenant effectuées dans le cadre des organisations régionales de métrologie.

Les comparaisons internationales ont toujours constitué l'un des principaux moyens de connaître l'exactitude des réalisations nationales des unités du SI.

Leur but est de comparer différentes méthodes, comparer les résultats obtenus avec les mêmes méthodes lorsqu'elles sont mises en œuvre par des équipes différentes et montrer que les étalons nationaux de mesure des laboratoires nationaux participants donnent, ou ne donnent pas, des résultats concordants. Les différences mises en évidence par les comparaisons internationales constituent l'un de leurs résultats les plus utiles et sont souvent le seul moyen de découvrir des erreurs dans les réalisations primaires des unités.

L'importance des comparaisons internationales revêt depuis quelque temps un nouvel aspect. Cela résulte de la nécessité croissante de satisfaire aux procédures nationales d'accréditation et de délivrance de certificats d'étalement et pour ce faire d'apporter la preuve, avec document à l'appui, de l'équivalence des étalons nationaux de mesure entre les États membres de la Convention du Mètre. À cet effet, les programmes de comparaisons occasionnelles et essentiellement entreprises à des fins purement scientifiques, réalisés généralement par le BIPM et dans le cadre des comités consultatifs, sont insuffisants. Le BIPM et les comités consultatifs entreprennent par conséquent d'établir un programme de comparaisons régulières qui porteront sur les principales unités du SI et couvriront un éventail suffisamment large de valeurs pour faire face à ces nouvelles demandes. Il n'est absolument pas facile de concevoir ce programme sans surcharger les laboratoires participants et le BIPM et risquer ainsi de le rendre inopérant. Dans son essence, ce qui est nécessaire c'est un projet qui comportera le nombre minimal de comparaisons permettant de vérifier les principales techniques dans chaque domaine, comparaisons qui n'auront besoin d'être refaites que lorsqu'un changement significatif interviendra, que ce soit dans les techniques utilisées ou dans le personnel concerné.

Bien que cette exigence de prouver l'équivalence des étalons entraîne inévitablement un accroissement de travail, tant pour les laboratoires nationaux que pour le BIPM, ce travail doit être fait. Si l'initiative et l'organisation n'en sont pas prises en charge à la fois par les laboratoires nationaux et par le BIPM, cela sera imposé de l'extérieur dans des conditions qui seront beaucoup moins favorables pour les laboratoires nationaux. Il convient aussi de rappeler que des comparaisons internationales effectuées sur une base multilatérale sont beaucoup plus efficaces que celles qui le sont sur une base bilatérale. Si elle ne se faisait que sur une base bilatérale, la mise en évidence de l'équivalence entre les laboratoires nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre deviendrait tout à fait irréalisable car les laboratoires de métrologie seraient écrasés par le nombre de comparaisons demandées.

Pour apporter la preuve de l'équivalence des étalons nationaux de mesure il est absolument nécessaire de publier les résultats de ces comparaisons internationales. La publication régulière de résumés des comparaisons effectuées par le BIPM et dans le cadre des comités consultatifs a déjà commencé dans *Metrologia*. De plus, il a été convenu que les résumés des résultats des comparaisons internationales effectuées sous les auspices des organisations régionales de coopération en métrologie, en particulier l'EUROMET et l'APMP (programme Asie/Pacifique de métrologie), paraîtront aussi dans *Metrologia* sous une même présentation. Les premières publications de ce type ont déjà paru pour l'EUROMET et l'APMP et elles donnent, évidemment, les incertitudes associées à chacun des résultats.

À partir des résultats de comparaisons publiés dans *Metrologia* et utilisés comme bases techniques, les laboratoires nationaux de métrologie auront la possibilité, s'ils le désirent, d'établir des accords bilatéraux d'équivalence pour quelques-unes ou la totalité des unités faisant l'objet du rapport. Évidemment, il pourra arriver que certains laboratoires choisissent d'établir des

accords qui couvrent un éventail d'unités et d'étalons plus large que celui couvert par les comparaisons directes. Cela arrivera vraisemblablement si la preuve de la compétence générale est apportée par la participation des laboratoires nationaux à la série restreinte de comparaisons que, je l'espère, les comités consultatifs seront en mesure d'établir.

J'en viens maintenant de façon plus précise au rôle que jouent les organisations régionales de coopération en métrologie, telles que l'EUROMET, l'APMP, NORAMET (coopération Amérique centrale et Amérique du Nord) et COOMET (coopération de l'Europe de l'Est) dans les comparaisons internationales. Les comparaisons organisées par les comités consultatifs touchent principalement les membres de ces comités consultatifs, c'est-à-dire les laboratoires qui sont les plus experts dans le domaine. La mise en évidence de l'équivalence internationale, ou traçabilité sur le plan international, doit aller plus loin. Les organisations régionales de coopération en métrologie fournissent le moyen d'une telle extension. Les comparaisons régionales locales concernent des laboratoires qui ne sont pas membres des comités consultatifs aussi bien que des laboratoires d'États qui ne sont pas encore membres de la Convention du Mètre. Dans sa Recommandation 1 (CI-1992), le CIPM a attiré l'attention sur l'importance de cet aspect du travail des organisations régionales de coopération en métrologie. Pour toutes les comparaisons qui sont maintenant organisées par les comités consultatifs, on veille à ce que figure au moins un membre de chacune des principales organisations régionales de coopération en métrologie.

Un dernier mot à propos des comparaisons internationales concerne les modifications qui sont intervenues dans la manière dont les comparaisons sont organisées par le BIPM. De plus en plus, nos comparaisons consistent à transporter un étalon primaire du BIPM dans un laboratoire national de métrologie pour le comparer dans le même temps à des étalons provenant d'autres laboratoires, parfois jusqu'à dix, situés dans la région. C'est ce qui a été fait pour les comparaisons du volt réalisé au moyen de l'effet Josephson et pour les comparaisons de longueurs d'onde et de fréquences de lasers. Des dispositions sont prises pour effectuer aussi des comparaisons de ce type à l'aide du système voyageur à effet Hall quantique du BIPM et du radiomètre cryogénique du BIPM. Ce mode opératoire présente des avantages évidents. Il permet d'avoir un contact direct avec le BIPM à un nombre de laboratoires plus grand que cela ne serait possible si tous devaient apporter des étalons au BIPM ; il permet aussi d'obtenir une plus grande exactitude pour beaucoup de comparaisons parce que les étalons primaires voyageurs du BIPM sont beaucoup plus stables que les meilleurs étalons voyageurs secondaires utilisés dans le passé. C'est là une évolution qui, bien qu'elle entraîne un accroissement de la charge de travail et de dépenses pour le BIPM, s'avère totalement bénéficiaire pour la métrologie mondiale.

La métrologie dans le monde d'aujourd'hui

Ce n'est ni le moment ni le lieu de rappeler l'importance de la métrologie dans le monde d'aujourd'hui. Toutefois, au cours de ses délibérations, le CIPM est toujours conscient du rôle joué par les mesures exactes dans le commerce international, dans les industries de pointe, dans la protection de l'environnement et pour la santé et la sécurité humaines. Dans la Convocation à la présente Conférence le projet de résolution A porte sur la nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes. Je souligne devant la Conférence l'importance de ce projet de résolution. Il s'agit d'une déclaration visant à attirer l'attention des milieux concernés, qui ne sont pas toujours strictement soucieux de l'exactitude des mesures, sur la nécessité de relier les mesures importantes à un système d'unités mondial et d'accès facile,

dont l'exactitude et la stabilité à long terme sont garanties par leur rattachement solide aux constantes physiques atomiques et fondamentales, c'est-à-dire au SI.

J'attire aussi l'attention de la Conférence sur le projet de résolution B qui concerne la traçabilité des étalons au niveau mondial. Le rôle que jouent le CIPM, les comités consultatifs et le BIPM en fournissant la base fondamentale nécessaire à l'uniformité mondiale des étalons de mesure est l'un des sujets principaux de cette Conférence et c'est un sujet dont l'importance ne fait que croître.

Dans le projet de résolution C, le Comité attire l'attention sur la constante nécessité d'étendre les connaissances de base en métrologie sur lesquelles se fondent les étalons pratiques, les comparaisons internationales et les étalonnages. Dans des époques comme celle que nous traversons, quand les Gouvernements cherchent à réduire leurs dépenses, il convient de ne pas oublier que les étalonnages et les mesures industrielles qui sont faites aujourd'hui reposent sur les recherches faites au cours des années antérieures. Toute réduction à long terme et systématique de l'aide apportée à la recherche fondamentale en métrologie aurait des conséquences fâcheuses dans l'avenir. Je souligne donc à la Conférence l'importance du projet de résolution C.

Progrès au BIPM

J'en viens maintenant au BIPM. Lors de la 19^e Conférence générale j'ai rendu compte de l'achèvement du Nouveau Pavillon, construit dans le cadre du plan à long terme concernant les bâtiments, plan qui a été dressé par le CIPM en 1980. Ce plan comportait : un nouveau laboratoire pour les travaux sur les lasers, laboratoire qui a été achevé en 1984 ; un nouveau bâtiment pour abriter la bibliothèque et des bureaux, bâtiment qui a été achevé en 1988, et de nouvelles installations pour les ateliers. Celles-ci n'ont pas encore été aménagées. Il subsiste donc le problème que pose l'installation matérielle de l'atelier de mécanique, installation qui actuellement n'est pas convenable. En dépit d'une amélioration considérable des moyens de travail de l'atelier grâce à l'introduction de machines à commande numérique, les conditions d'installation de ces machines sont encore loin de satisfaire aux normes que l'on peut considérer comme acceptables. Les contraintes financières imposées au fonctionnement du BIPM depuis 1992, dont je parlerai plus loin, nous ont encore conduit à reporter toute action visant à résoudre ce problème. Entre temps, tout ce qui est possible est fait pour améliorer l'installation existante et assurer une sécurité convenable dans l'utilisation des machines en dépit du fait que l'espace disponible est extrêmement restreint.

Lorsque la section du temps a été créée au BIPM en 1985, il était manifeste que l'installation disponible à l'époque était à peine convenable. Un petit laboratoire horaire abritant les équipements de communication et l'une des deux horloges atomiques a commencé à être aménagé avant même de disposer d'un espace approprié pour un véritable laboratoire. J'ai maintenant le plaisir de dire qu'un laboratoire spacieux et complètement climatisé a été installé dans les combles du bâtiment de l'Observatoire. Comme cela n'a pas demandé de modification importante de la structure du bâtiment et n'a pas entraîné de changement à l'aspect extérieur, le coût total en est resté modeste et les travaux ont été effectués sans apporter de perturbation notable au travail normal dans les autres parties de l'Observatoire. Le succès de cette opération laisse à penser que l'espace assez grand qui reste libre dans les combles pourrait être facilement converti en bureaux et cela pour un coût raisonnable.

La cessation de la recherche expérimentale en dosimétrie neutronique au BIPM, qui est maintenant effective, vient de la décision prise par le CIPM en 1985 de concentrer les efforts sur la dosimétrie des rayonnements x et γ et de reporter progressivement sur ces domaines les ressources jusque-là consacrées à la dosimétrie neutronique. Le départ en retraite, en 1995, des deux membres du personnel du BIPM qui travaillaient sur la dosimétrie neutronique libère deux postes qui seront attribués au travail dans le domaine des rayonnements x et γ . Lors de sa réunion en avril 1995, la Section III du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants a rendu hommage au travail effectué au BIPM dans le domaine de la dosimétrie neutronique et au rôle clé joué dans la mise sur pied de la coopération fructueuse qui existe maintenant grâce à l'action poursuivie par cette Section.

La décision prise par le CIPM d'arrêter le travail expérimental dans le domaine des mesures neutroniques fait que le bâtiment érigé tout spécialement à cet effet en 1964 est maintenant disponible pour d'autres utilisations. Comme les murs de ce bâtiment sont de construction légère afin de diminuer la diffusion des neutrons, toute adaptation pour une autre utilisation demandera beaucoup de modifications. Néanmoins, nous avons là une possibilité de faire des transformations.

Lors de sa session en 1992, le directeur du BIPM a informé le CIPM de ce que, par suite d'événements mondiaux, il s'attendait à subir une chute de quelque 10 % dans le paiement des contributions. Il avait déjà pris des dispositions pour réduire de 50 % les dépenses d'investissement des laboratoires et remettre à plus tard tout ce qui n'était pas absolument essentiel dans l'entretien des bâtiments. Il avait aussi proposé que, compte tenu de l'incertitude que l'on pouvait avoir sur le financement ultérieur, un plan soit mis en place visant à réduire progressivement les dépenses générales d'environ 8 % pendant la période de 1992 à 1996. Le CIPM a adopté le plan proposé par le directeur, plan dont on trouvera une description détaillée dans les *Procès-verbaux du CIPM* de 1992 et qui est actuellement en vigueur. Les principales économies viennent d'une réduction effective du personnel, obtenue en ne remplaçant pas cinq personnes qui sont parties en retraite au cours de cette période, et en réduisant les augmentations des salaires et des pensions.

Dans le document de Convocation à la Conférence nous avons attiré votre attention sur la nécessité d'augmenter les contributions à la caisse de retraite du BIPM pour tenir compte du doublement du nombre des retraités qui surviendra après l'an 2005. En augmentant progressivement les contributions budgétaires de 1 % par an à partir de 1995, il devrait être possible de disposer d'ici à 2005 d'un capital suffisant pour faire face aux besoins. L'accroissement du nombre des retraités du BIPM correspond évidemment à l'expansion qu'a connue le BIPM dans les années 1960. C'est le personnel recruté à cette époque qui partira prochainement en retraite. Le CIPM estime qu'en prenant des dispositions à l'avance pour faire face à l'accroissement des charges de la caisse de retraite il agit de façon prudente et nécessaire et que cette mesure ne doit pas être différée. Ainsi que la plupart d'entre vous le savent, les Gouvernements de presque tous les pays industrialisés auront à faire face à peu près à la même époque à de semblables accroissements de la charge des pensions.

Lors de la précédente Conférence générale j'ai annoncé que les droits de propriété de notre journal *Metrologia* avaient été acquis auprès de Springer-Verlag et qu'à dater du 1^{er} janvier 1991 la revue serait éditée et publiée au BIPM. Depuis lors un gros effort a été fait pour améliorer ce journal. Le haut niveau scientifique des articles a été conservé mais le nombre des pages publiées a plus que doublé. La revue paraît maintenant six fois par an, au lieu de quatre précédemment, et comprend quatre numéros normaux, un numéro spécial consacré à un sujet particulier ainsi qu'un numéro qui contient les

comptes rendus d'une conférence dont le thème concerne la métrologie. J'attire tout particulièrement votre attention sur le numéro spécial sur les unités (1995, 31, n° 6). Le nombre d'abonnés à *Metrologia* reste faible, comme il l'est depuis longtemps, mais j'ai le plaisir de dire que depuis 1992, on n'a pas constaté pour *Metrologia* la diminution du nombre d'abonnés de l'ordre de quelque 4 % par an que connaissent la plupart des grandes revues scientifiques. J'espère donc que lorsqu'une reprise de l'activité économique atteindra le monde scientifique, *Metrologia* sera bien placé pour y répondre.

En 1993, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) a publié un *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. C'est un document très important. Il résulte d'une initiative du BIPM, datant de 1980, et d'une décision du CIPM tendant à recommander, dans sa Recommandation 1 (CI-1981), une pratique unique pour exprimer l'incertitude d'une mesure. Ce *Guide* a fait l'objet d'une large adoption dans de nombreux domaines de la métrologie avec l'avantage qu'il est maintenant plus facile de comparer les résultats de mesures faites dans différents laboratoires ou par différents types d'organisations car les principes qui sont suivis pour exprimer les incertitudes sont les mêmes. La large adoption de ce *Guide* est due certainement au fait que, outre l'ISO, six organismes ont pris part à la préparation du texte de ce *Guide* : le BIPM, l'Organisation internationale de métrologie légale, la Commission électrotechnique internationale, la Fédération internationale de chimie clinique, l'Union internationale de chimie pure et appliquée et l'Union internationale de physique pure et appliquée.

Les comités consultatifs

J'en viens maintenant aux activités des comités consultatifs. Depuis la précédente Conférence générale il y a eu dix réunions de comités consultatifs : le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), le Comité consultatif de thermométrie (CCT), le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) et le Comité consultatif des unités (CCU) ont chacun tenu une session et le Comité consultatif d'électricité (CCE) deux sessions. De plus, les trois Sections du CCEMRI se sont chacune réunies deux fois, le Groupe de travail du CCDS sur le TAI s'est réuni deux fois, les groupes de travail du CCM sur les masses, les forces, les pressions et la constante d'Avogadro se sont réunis une fois, les groupes de travail du CCT sur les mesures de la température thermodynamique et sur les problèmes pratiques de la thermométrie se sont réunis une fois et le Groupe de travail du CCE pour les grandeurs aux radiofréquences s'est réuni deux fois. De plus en plus, les comités consultatifs créent de petits groupes de travail *ad hoc* pour effectuer des tâches précises décidées lors de leurs réunions plénières. La nécessité de mener rapidement les comparaisons internationales et de parvenir assez vite à des décisions sur les questions relatives à la réalisation des unités a conduit la plupart des comités à adopter cette façon de travailler.

Bien que le président de chaque comité consultatif présente un rapport détaillé sur les activités de son comité, je ferai cependant quelques remarques sur chacun de ces comités. Le CCDM s'est réuni au mois de septembre 1992 ; la dernière session remontait à dix ans. Il s'était réuni peu avant l'adoption de la nouvelle définition du mètre en 1983. La mise en œuvre de cette nouvelle définition et les progrès faits en physique depuis lors ont conduit à des améliorations significatives de l'exactitude des longueurs d'onde et des fréquences spécifiées dans la Mise en pratique de la définition du mètre de 1983. Le CCDM a donc proposé au CIPM une nouvelle Mise en pra-

tique qui tient compte de tous les récents travaux. Celle-ci a été adoptée par le CIPM comme Mise en pratique de la définition du mètre (1992). Lors de sa réunion au mois de juin 1993, le CCM a pris connaissance du rapport final de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme. Cette vérification a commencé en 1989 et s'est achevée à la fin de 1992. Les recherches qui pourront un jour conduire à une nouvelle définition du kilogramme, fondée sur des constantes atomiques ou fondamentales, progressent beaucoup plus lentement qu'on ne le pensait. Le CCE et le CCM en suivent étroitement l'évolution. Le CCDS, en mars 1993, et son Groupe de travail sur le TAI, en mars 1993 et en mars 1995, ont fait d'importantes recommandations concernant le calcul et la diffusion du Temps atomique international (TAI) et du Temps universel coordonné (UTC). Elles tiennent compte des améliorations significatives apportées à la fois aux horloges commerciales à césium et aux techniques de comparaisons par GPS (Global Positioning System), et devraient conduire à l'obtention d'un UTC plus exact et plus rapidement disponible pour ses utilisateurs. Le CCE s'est réuni deux fois, en 1992 et en 1995. Lors de sa dernière session au mois de juin de cette année, le CCE a été confronté aux problèmes posés pour identifier les comparaisons internationales qui sont nécessaires et dont le nombre doit être suffisant afin d'assurer l'équivalence des étalons électriques entre les laboratoires nationaux de métrologie. En tant que président du CCE, je vous présenterai ultérieurement ses conclusions. Le CCT s'est réuni au mois de juin 1993 et a pris connaissance des rapports présentés par les laboratoires membres concernant l'expérience qu'ils avaient acquise depuis la mise en oeuvre de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90). Le CCEMRI s'est réuni une fois, en 1994, mais chacune des trois Sections s'est réunie deux fois. Un sujet important qui a fait l'objet d'une discussion est la nécessité de trouver le moyen de conserver une base solide pour la dosimétrie des rayonnements x et γ sans passer aux énergies de plus en plus élevées dont l'utilisation se répand en radiothérapie pratique. Le CCPR s'est réuni au mois de septembre 1994 et a pris connaissance du rapport de la première comparaison internationale effectuée par le BIPM dans le domaine de la spectroradiométrie. De nouvelles comparaisons internationales ont été décidées pour les quatre prochaines années, en particulier et cela pour la première fois, une comparaison de radiomètres cryogéniques. Le nouveau CCQM s'est réuni pour la première fois en avril 1995. L'une des principales tâches de ce nouveau comité consiste à définir et choisir les méthodes primaires de mesure de quantité de matière ou d'analyse chimique quantitative. Le CCQM a été d'accord pour dire que c'était bien là sa première et sa plus importante tâche. Enfin, le CCU s'est réuni en février 1995 pour approuver le projet de résolution H portant sur une modification de la structure du SI qui supprime la classe des unités supplémentaires et place le radian et le stéradian dans la classe des unités dérivées. Le CCU a aussi travaillé sur le texte de la 7^e édition de la brochure sur le SI avec la perspective de l'adopter lors de sa prochaine session prévue pour le mois d'avril 1996.

Le CIPM

En ce qui concerne la composition du CIPM et les nouvelles de membres honoraires, j'ai le regret de devoir mentionner le décès de Tomasz PLEBANSKI, membre du Comité depuis 1983, qui est mort au mois d'août 1994. À une époque où le Comité se trouve davantage concerné par la métrologie en chimie, sa perte est profondément ressentie non seulement pour ses qualités personnelles, que nous avons pu apprécier au cours des années pendant lesquelles il a participé au CIPM, mais aussi pour la longue expérience qu'il avait de la métrologie en chimie. Nous avons aussi été informés du décès d'un membre honoraire du Comité, Fred LEHANY, qui a présidé le CCE pendant de

nombreuses années et conseillé le CIPM pour les questions touchant les mesures électriques fondamentales.

Au cours des quatre années écoulées depuis la précédente Conférence générale neuf membres du CIPM ont démissionné : MM. DE BOER, BRAY, JENSEN, JOSHI, LYONS, POUSTOVOIT, PRESTON-THOMAS, SALA et WANG Daheng, ce qui a porté à dix le nombre total des sièges vacants. En reconnaissance des services éminents rendus au Comité durant de nombreuses années, comme secrétaire de 1962 à 1989 et comme président du CCU depuis 1964, Jan DE BOER a été élu membre honoraire du Comité. Hugh PRESTON-THOMAS a aussi été élu membre honoraire. Il présida le CCT de 1969 à 1992 et fut Vice-président du Comité de 1984 à 1992.

Ces vacances au CIPM ont donné lieu à l'élection par cooptation de Mme GEBBIE et de MM. CROVINI, GAO Jie, GOPAL, KAARLS, LOUNASMAA, MOSCATI, PÂQUET, TARBÉEV et VANIER. Conformément à l'Article 8 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre, ces élections provisoires sont maintenant soumises à la ratification de la présente Conférence générale. Comme le nombre de membres cooptés depuis la précédente Conférence générale est supérieur à neuf, donc à la moitié du nombre des membres du Comité, aucun autre nom n'a été tiré au sort pour être soumis à réélection.

La métrologie légale et la Convention du Mètre

J'en viens maintenant à la question de la métrologie légale et de la Convention du Mètre. Par une note diplomatique en date du 7 juillet 1995, le Gouvernement français, en tant que dépositaire des deux Conventions concernées, a informé les États membres de la Convention du Mètre et de l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) qu'il envisagerait favorablement toute disposition tendant à n'avoir qu'une seule organisation intergouvernementale pour la métrologie. À la demande du ministère des Affaires étrangères de France, le bureau du Comité a déjà répondu, au mois de juin 1995, à une première approche de la question qui lui a été posée à la fin du mois de mars 1995. Sa réponse était positive et a été faite après que des contacts officieux aient été pris entre le directeur du BIPM, le président de l'OIML et le directeur du Bureau international de métrologie légale (BIML). Ultérieurement, le CIPM dans son ensemble a étudié la question. Je propose maintenant que, compte tenu de son importance, cette question soit portée à l'Ordre du jour immédiatement après le présent rapport.

Travaux du BIPM

Le point suivant, et aussi le dernier, est mon rapport sur les travaux accomplis dans les laboratoires du BIPM pendant les quatre années d'octobre 1991 à septembre 1995. Ce fut une période vraiment très active et fructueuse.

Longueurs

1991/1992 Au cours de l'année la section des longueurs a entrepris des travaux en collaboration avec un certain nombre de laboratoires, en particulier dans le domaine des comparaisons de fréquence de radiations émises par des lasers. Il convient de mentionner deux comparaisons avec des lasers provenant de l'Institut national de métrologie (BNM-INM, France), l'une avec un laser dont la fréquence avait été récemment déterminée à mieux que quelques 10^{-11} près par le Laboratoire primaire du temps et des fréquences (BNM-LPTF, France), l'autre avec un laser utilisé à l'École normale supérieure (ENS, France) pour une nouvelle détermination de la constante de Rydberg. Avec le Laboratoire de l'horloge atomique (LHA, France) des

travaux ont été faits sur des diodes lasers, avec le BNM-LPTF et l'Établissement technique central de l'armement (ETCA, France) sur la mise au point de lasers asservis à $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$, avec le Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA, É.-U. d'Amérique) sur la mise au point d'un laser à hélium-néon pour un gravimètre absolu et avec l'Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques (VNIIFTRI, Féd. de Russie) sur l'amélioration de lasers asservis à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$. Les comparaisons internationales de lasers asservis à $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ ont pour la première fois été étendues au Portugal, à la Roumanie et à la Suisse. Les progrès faits sur le nouveau laser à argon, asservi sur l'iode à $\lambda \approx 515 \text{ nm}$ en cuve externe, donnent toute satisfaction.

1992/1993 Une importante partie du temps a été consacrée à la rédaction finale de la nouvelle version de la mise en pratique de la définition du mètre, dont les grandes lignes avaient été adoptées par le CCDM et le CIPM en septembre 1992. La version définitive, préparée par le BIPM en consultation avec un petit groupe de travail du CCDM, a été adoptée par le CCDM et formellement approuvée par le CIPM. Elle est parue dans les *Procès-verbaux du CIPM* de 1992, dans *Metrologia* (1993/94, **30**, 523-541) et dans le rapport de la réunion du CCDM. En ce qui concerne les mesures de longueurs classiques, la vérification d'une série d'étalons à traits et de cales étalons appartenant à la Pologne est terminée. Après cela, il ne reste plus actuellement au BIPM d'étalons de ce type en attente. Suivant l'opinion du CCDM, les étalonnages de règles et de cales doivent progressivement être abandonnés de façon à accroître l'effort dans le domaine des lasers, il a donc été décidé de ne plus exécuter d'étalonnages de ce genre. La collaboration avec l'équipe de l'ENS s'est poursuivie en vue de mesures de la constante de Rydberg. Une nouvelle détermination, plus exacte, a été faite à l'aide du laser du BIPM asservi sur le méthane à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ utilisé comme référence de fréquence. Parmi les longueurs d'onde de laser recommandées dans la nouvelle version de la mise en pratique de la définition du mètre il y a : 515 nm, 543 nm, 612 nm, 633 nm et 3,39 μm , toutes sont conservées ou en cours d'étude au BIPM. Cependant, la plupart des comparaisons internationales continuent de se faire à 633 nm. La structure hyperfine de l'iode au voisinage de $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ a fait l'objet de nouveaux calculs. À $\lambda \approx 515 \text{ nm}$ les recherches ont porté essentiellement sur le nouveau système Ar^+ asservi au moyen de la technique de bande latérale en modulation de fréquence. Des problèmes dus à des modes parasites ont gêné les progrès faits sur les lasers asservis à $\lambda \approx 543 \text{ nm}$ mais ces problèmes devraient disparaître lorsque les nouveaux tubes laser qui ont été commandés seront installés. À $\lambda \approx 612 \text{ nm}$ des effets dus à la géométrie des lasers, comparables à ceux qui ont été étudiés il y a quelques années sur le laser asservi sur le méthane à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$, font l'objet d'une recherche à la fois théorique et expérimentale. Le laser à CO_2 asservi à $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ est maintenant en fonctionnement et des expériences sont en cours pour étudier son asservissement ainsi que certains autres paramètres de son fonctionnement. L'interféromètre de Fabry-Perot de 1,75 m qui lui sera associé a été construit. Le BIPM continue d'assurer le remplissage et la fourniture de cuves à iode pour des laboratoires nationaux et d'autres utilisateurs : cinquante de ces cuves ont été préparées depuis le mois d'août 1992.

1993/1994 Le programme à long terme du BIPM pour les comparaisons de fréquences des lasers à $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ s'est poursuivi avec des comparaisons multilatérales qui se sont déroulées l'une à Helsinki (Finlande), comparaison à laquelle trois pays nordiques ont pris part (Danemark, Finlande, Suède), et l'autre à Bratislava (Rép. slovaque) avec la participation de lasers provenant de six pays de l'Europe de l'Est (Bulgarie, Hongrie, Pologne, Russie (Féd. de), Rép. slovaque, Rép. tchèque). La collaboration avec l'ENS sur la détermination d'une nouvelle valeur de la constante de

Rydberg s'est poursuivie. Elle s'étend maintenant au BNM-LPTF et au BNM-INM pour réaliser des lasers asservis à $\lambda \approx 778$ nm utilisant les transitions à deux photons du rubidium entre les niveaux $5S_{1/2}$ et $5D_{3/2}$. Les premiers résultats font apparaître une reproductibilité de la fréquence d'environ un ordre de grandeur meilleure que celle des lasers à $\lambda \approx 633$ nm et une stabilité de la fréquence encore supérieure. Une collaboration semblable portant sur des lasers asservis sur le rubidium a aussi débuté avec le Statens Provningsanstalt (SP, Suède), le Metrology Research Institute (MRI, Finlande) et l'Helsinki Institute of Technology (HUT, Finlande). Suite à ces travaux, des instruments de mesure de longueurs d'onde ont été construits pour régler la fréquence des lasers à semiconducteur. D'autres techniques pour asservir la fréquence des lasers, comme les résonances super-étroites dans la vapeur d'iode provoquées par la lumière polychromatique à $\lambda \approx 515$ nm font l'objet de recherches. Le travail sur un laser asservi à $\lambda \approx 10,6$ μm s'est poursuivi ; il a essentiellement porté sur l'interféromètre de Fabry-Perot et la construction de l'électronique d'asservissement. L'élaboration de tables des constantes hyperfines calculées de l'iode s'est poursuivie en collaboration avec le BNM-INM.

1994/1995 Le programme des comparaisons de lasers à $\lambda \approx 633$ nm se poursuit : huit comparaisons internationales ont été faites cette année, concernant vingt pays et le BIPM. L'une de celles-ci s'est déroulée au National Measurement Laboratory (CSIRO-NML, Australie) et a réuni cinq laboratoires de la région Asie/Pacifique (Australie, Corée (Rép. de), Nouvelle-Zélande, Singapour) et d'Afrique du Sud. D'autres lasers appartenant à douze pays (Allemagne, Belgique, Canada, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Roumanie, Royaume-Uni, Russie (Féd. de), Suisse, Turquie) ont été aussi comparés au BIPM, pour les autres (Amérique (É.-U.), Espagne, Portugal) le BIPM s'est rendu dans chaque laboratoire pour effectuer les comparaisons. La collaboration se poursuit également avec l'ENS, le BNM-LPTF et le BNM-INM sur la mesure de la fréquence absolue de lasers asservis à $\lambda \approx 778$ nm utilisant les transitions à deux photons entre les niveaux $5S_{1/2}$ et $5D_{3/2}$ dans le rubidium, et des mesures sont envisagées pour le début de 1996. Cette année, le SP, le MRI et l'HUT ont travaillé avec le BIPM sur la réalisation d'une diode laser asservie à $\lambda \approx 633$ nm à l'aide d'une cavité externe. Les deux lasers à Ar^+ , l'un asservi au moyen de la technique de la bande latérale en modulation de fréquence et l'autre au moyen de la technique de la troisième harmonique, sont maintenant en état de marche et des mesures sont en cours pour comparer les deux techniques. Il a été confirmé, tant par l'expérience que par le calcul numérique, que les décalages de fréquence observés l'an dernier avec les lasers à hélium-néon asservis à $\lambda \approx 612$ nm étaient dus à des obturations partielles du faisceau au niveau des ouvertures. Le système électronique d'asservissement du premier laser du BIPM à $\lambda \approx 10,6$ μm a été construit et vérifié ; pour notre second laser les parties mécaniques ont été construites et le tube de gain est en état de marche. Avec la collaboration du BNM-INM, les calculs des constantes hyperfines de l'iode se poursuivent.

Masses

1991/1992 La troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme est entrée dans sa phase finale. On peut en tirer deux conclusions : il serait effectivement souhaitable de disposer, pour contrôler la masse du prototype international du kilogramme, de méthodes qui soient fondées sur des constantes atomiques ou fondamentales, toutefois les résultats montrent une fois de plus que les méthodes classiques permettent d'obtenir une très grande précision. Les travaux effectués au BIPM se sont orientés dans deux grandes directions, concernant toutes deux les étalons classiques. D'un côté, une série de recherches tend à accroître la précision déjà très élevée des

comparaisons de masses, d'un autre côté cette précision est utilisée pour étudier le comportement à long terme des étalons de masse eux-mêmes. D'autres recherches devraient permettre de mieux comprendre le comportement anélastique des matériaux utilisés dans les balances à suspensions flexibles et d'évaluer les limites du fonctionnement de la balance à fléau. La mesure de la susceptibilité des matériaux faiblement magnétiques fournit un ensemble utile de données pour choisir les matériaux des balances et devrait permettre de mieux comprendre les limites imposées au fonctionnement des balances par les interactions électromagnétiques. Les recherches sur les étalons de masse en platine iridié usinés au diamant donnent maintenant une bonne indication de la reproductibilité des effets de surface. Les résultats suggèrent que, dans l'air, à la pression atmosphérique normale, les effets dus aux variations de l'humidité ambiante, de la pression et de la température sont faibles et faciles à maîtriser et que les dérives, que l'on constate et qui limitent la reproductibilité des étalons de masse en platine iridié, sont dues à d'autres causes, encore inconnues.

1992/1993 La troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme est terminée. La plupart des prototypes sont rentrés dans leur pays d'origine, les certificats ont été distribués et un rapport complet sur ce travail a été soumis au CCM et a été publié dans les *Procès-verbaux du CIPM* (1993, **61**, G1-G34) et dans *Metrologia* (1994, **31**, 317-336). Les prototypes nationaux en platine iridié ont été vérifiés pour trente-quatre États membres de la Convention du Mètre (Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Canada, Chine (Rép. pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. pop. dém. de), Danemark, Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Russie (Féd. de), Slovaque (Rép.), Suède, Suisse, Turquie). Un certain nombre de conclusions peuvent être tirées des résultats. Tout d'abord, il est évident que la masse de l'ensemble des prototypes nationaux continue d'augmenter par rapport à celle du prototype international. En moyenne cette augmentation est de 0,5 µg par an depuis la deuxième vérification. En second lieu, la reproductibilité des pesées faites à l'aide de la balance NBS-2, d'environ 0,5 µg, est significativement meilleure que la stabilité de la masse de beaucoup de prototypes, laquelle est d'environ 2 µg. L'incertitude composée de 2,3 µg donnée pour les résultats de la troisième vérification résulte presque entièrement des variations de la masse de certains des étalons de travail du BIPM et non des pesées elles-mêmes. Enfin, la décision prise d'effectuer le nettoyage/lavage des prototypes nationaux comme du prototype international s'est avérée bonne. Dans son ensemble, la troisième vérification a mis en lumière la nécessité de disposer d'une méthode pour relier la masse du prototype international du kilogramme à des constantes atomiques ou fondamentales. Toute méthode susceptible de donner une reproductibilité à long terme meilleure que 1×10^{-8} serait utile, car il serait alors possible d'établir, sur quelques années seulement, si, oui ou non, la masse du prototype international varie de façon significative.

1993/1994 Une grande partie de notre travail de cette année a été consécutif à la troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme qui s'est terminée l'année précédente. Le BIPM a proposé aux États membres de la Convention du Mètre qui ne possèdent pas de prototype en platine iridié d'effectuer une comparaison d'étalons en acier inoxydable (Argentine, Bulgarie, Irlande, Nouvelle-Zélande, Uruguay). De plus, une comparaison internationale d'étalons en acier inoxydable est organisée dans le cadre du CCM. Par ailleurs, la nouvelle balance à suspensions flexibles est en voie d'achèvement. Nous avons nettement progressé dans la compréhension des pertes dues à l'anélasticité dans les suspensions. Les études par

pesée des propriétés superficielles des étalons en platine iridié polis à l'outil à pointe de diamant ont été poursuivies. Nous avons amélioré nos moyens de caractérisation des étalons en acier inoxydable du point de vue magnétique et géométrique. Une comparaison internationale de gravimètres absolus s'est déroulée au BIPM ; elle était organisée en collaboration avec l'Union géodésique et géophysique internationale. Des gravimètres absolus provenant de sept pays ont pris part à cette comparaison (Allemagne, Amérique (É.-U.), Autriche, Canada, Finlande, Italie, Japon).

1994/1995 La comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable, faite à l'initiative du CCM, se poursuit et devrait s'achever en 1996. Deux paires d'étalons sont en circulation entre les douze laboratoires participants (Allemagne, Amérique (É.-U.), Australie, Canada, Chine (Rép. pop. de), France, Italie, Japon, Pays-Bas, Royaume-Uni, Russie (Féd. de), Slovaque (Rép.)). La construction de la nouvelle balance à suspensions flexibles est terminée et elle est en ce moment soumise à des essais systématiques. Ces essais comportent l'ajustage du système d'asservissement du fléau, l'évaluation de la fiabilité de l'échangeur de masses, la mesure de la stabilité et de l'uniformité de la température à l'intérieur de la cage de la balance. Pour chacun de ces paramètres, il semble que les critères de la conception aient été remplis. Des pesées préliminaires d'une série de huit masses de 1 kg en acier inoxydable, fabriquée spécialement au BIPM pour cette balance, ont été d'une qualité comparable à celles qui ont été faites avec la balance prototype à suspensions flexibles. On a observé des variations apparentes de la masse au cours d'une étude du comportement des étalons du BIPM en platine iridié en utilisant la balance Mettler HK 1000. Nous pensons maintenant que ces observations ne correspondent pas à des variations de masse mais à des défauts du fonctionnement de l'échangeur de masses de la balance. En utilisant des détecteurs commerciaux à condensateur, un nouveau système pour la mesure des gradients de l'humidité relative a été construit et relié à un ordinateur personnel. Ce nouveau système nous a permis de montrer que les gradients de l'humidité relative et de la température atteignent un état stable dans lequel la température du point de rosée est constante dans la totalité de l'enceinte étanche. Une série d'objets en platine iridié est en cours de fabrication pour le National Physical Laboratory (NPL, Royaume-Uni), au moyen de la technique du BIPM par usinage à la pointe de diamant ; ces objets serviront à des pesées dans le vide et à l'étude des surfaces. Suite à la comparaison internationale de gravimètres absolus qui s'est déroulée au BIPM en 1994, de nouvelles mesures faites à l'aide du gravimètre BIPM FG5 apportent une contribution complémentaire à l'analyse des résultats de cette comparaison.

Temps

Depuis la précédente Conférence générale, les échelles de temps TAI et UTC continuent d'être calculées au BIPM et sont disséminées dans le monde entier au moyen de *Circular T*, à parution mensuelle, et du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM*.

1991/1992 À la fin de 1991, environ 80 % des laboratoires qui contribuent au TAI sont équipés de récepteurs du GPS et font parvenir au BIPM leurs observations brutes. Un changement important est intervenu au mois de septembre 1991 avec l'introduction pour la première fois dans le calcul du TAI de résultats provenant de masers à hydrogène. Cette introduction a amélioré la fiabilité du TAI sans en dégrader la stabilité. Les recherches sur les algorithmes pour les échelles de temps se sont poursuivies ; un problème intéressant est posé par l'altération de la stabilité d'une échelle de temps, altération qui est provoquée par les brusques variations de poids consécu-

tives à l'entrée ou à la sortie d'horloges. Des recherches faites sur des ensembles limités d'horloges semblent confirmer que le mode de prédiction de fréquence d'ALGOS et les précautions prises pour observer chaque nouvelle horloge avant son introduction définitive remédient de manière très efficace à ce problème. Les comparaisons d'horloges au moyen du GPS ont commencé à être faites en utilisant des vues simultanées strictes, et cela avec une synchronisation à 1 s près, pour éliminer le bruit d'horloge résultant de la dégradation intentionnelle des signaux du GPS (accès sélectif, SA). La précision de ces mesures est d'environ 2 ns pour les courtes distances et 8 ns pour les plus grandes. Les travaux se sont poursuivis pour vérifier les conditions de fermeture pour une combinaison de trois liaisons : entre l'Observatoire de Paris (OP, France) et le National Institute of Standards and Technology (NIST, É.-U. d'Amérique), entre le NIST et le Communications Research Laboratory (CRL, Japon) et entre le CRL et l'OP. Sur une période de dix-huit mois, il s'est avéré qu'il subsiste, sur les moyennes quotidiennes, une erreur systématique résiduelle de quelques nanosecondes, laquelle varie lentement avec le temps. Pour améliorer les comparaisons d'horloges au moyen du GPS, il faut utiliser les éphémérides précises des satellites et mesurer les retards ionosphériques sur la ligne de visée. Des éphémérides précises sont reçues et analysées régulièrement au BIPM mais elles parviennent trop tard pour être utilisées dans le travail courant. On pensait que la prédiction par la méthode de Kalman pourrait fournir une solution convenable au problème de l'obtention précise du temps du GPS en temps réel même lorsque l'accès sélectif est en fonction ; dans cette perspective une expérience numérique d'observation de trois satellites a été faite. Des résultats prometteurs ont été obtenus mais il est nécessaire de poursuivre une étude plus détaillée. Une nouvelle expérience a permis une comparaison directe du GPS et du GLO-NASS (Global Navigation Satellite System) utilisés selon la méthode des vues simultanées pour les liaisons horaires. Pour cela un récepteur du GPS, prêté par le BIPM, a été utilisé au VNIIFTRI (Féd. de Russie) et un récepteur de navigation du GLONASS, prêté par le VNIIFTRI, a été utilisé au BIPM. Les précisions obtenues en utilisant les deux systèmes sont du même ordre de grandeur. Nos recherches sur les pulsars se poursuivent en collaboration avec des équipes de radio-astronomes qui observent les pulsars. Le but de ces recherches est de réaliser une échelle de temps fondée sur les pulsars à l'aide d'un algorithme optimisé pour la stabilité. Une échelle de ce type pourrait assurer le transfert de l'exactitude du temps atomique d'une époque à une autre, et ainsi éviter les conséquences désastreuses de toute défaillance des rares étalons atomiques actuellement en service dans les laboratoires. La section du temps a fourni à des équipes avec lesquelles elle collabore la version la plus récente de sa réalisation à posteriori du Temps terrestre TT (BIPM 92) ; elle a apporté à d'autres son aide occasionnelle.

1992/1993 À la suite de discussions qui se sont déroulées lors de la session du CCDS en 1993, certaines modifications ont été apportées à la *Circular T*, en particulier les différences $[UTC - UTC(k)]$ et $[TAI - TA(k)]$ sont maintenant données à 1 ns près et non plus à 10 ns près, comme par le passé. Comme c'est le cas depuis un certain nombre d'années, la conformité de l'intervalle unitaire de l'échelle du TAI avec la seconde du SI continue de reposer presque entièrement sur les données d'un seul laboratoire, la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Allemagne), dont les étalons primaires sont reconnus comme étant les plus exacts. Depuis le mois de juillet 1992, la fréquence du TAI est restée pratiquement constante par rapport aux étalons de la PTB, de telle sorte qu'il n'a été appliqué qu'une seule correction de pilotage de fréquence (avril 1993). On a constaté une nette amélioration de la qualité des données qui entrent dans l'établissement du TAI, due en particulier à l'amélioration de la qualité des horloges dans les

centres horaires et au fait que presque tous les centres horaires comparent maintenant leur réalisation locale de l'UTC en utilisant la méthode de vue simultanée stricte des satellites du GPS. De plus, des éphémérides précises des satellites du GPS et des mesures ionosphériques le long de la ligne de visée sont maintenant régulièrement utilisées pour les liaisons à longue distance. Mise à part la méthode de vue simultanée avec le GPS, des études se poursuivent sur d'autres techniques de comparaison horaire, comme l'utilisation du GLONASS ou de LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit) et les comparaisons par aller et retour. L'application de la relativité générale à la métrologie du temps, qu'un groupe de travail du CCDS est maintenant chargé d'étudier, concerne de plus en plus directement le BIPM pour son travail sur les échelles de temps. Des expériences récentes de comparaison par aller et retour et au moyen de LASSO ont donné des reproductibilités de quelques centaines de picosecondes. À ce niveau, la correction à apporter aux comparaisons horaires entre horloges à la surface de la Terre, due à la rotation de la Terre (effet connu sous le nom d'effet Sagnac) doit être bien comprise. Une nouvelle formule a été mise au point pour tenir compte des termes correctifs significatifs d'ordre supérieur. La collecte des données concernant les pulsars continue avec l'idée d'obtenir une échelle de temps des pulsars, qui pourrait être plus stable à long terme (plusieurs années) que le TAI : on sait maintenant qu'il nous faudrait disposer de séries de données très longues et provenant d'un suffisamment grand nombre de pulsars. Les plus récentes versions de TT(BIPM) continuent d'être fournies aux groupes de radio-astronomes. Une autre activité qui fait appel à une échelle de temps très exacte est l'interférométrie à très longue base, qui est utilisée pour établir des systèmes de référence en géodésie et en astrométrie. Là aussi nous collaborons avec des laboratoires extérieurs.

1993/1994 La production du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM pour 1993*, volume 6, s'est faite beaucoup plus rapidement que les années précédentes. Les résultats définitifs pour 1993 sont disponibles, sous forme de fichiers lisibles par ordinateur, dans le « FTP anonyme » du BIPM sur le réseau Internet depuis le 5 avril 1994, et les volumes imprimés ont été distribués au commencement du mois de mai 1994. Depuis avril 1993 la fréquence de TAI est demeurée constante par rapport aux étalons de la PTB, aucune correction de pilotage de la fréquence n'a donc été appliquée. L'utilisation quasi universelle du GPS pour les comparaisons d'horloges et l'accroissement du nombre des nouvelles horloges à césium HP 5071A ont considérablement amélioré la stabilité du TAI et de l'UTC. L'écart-type d'Allan du TAI est maintenant inférieur à 5×10^{-15} pour toutes les périodes de l'ordre de dix à quatre-vingts jours. Cette amélioration des résultats a beaucoup stimulé les discussions sur les évolutions possibles des méthodes de calcul et de dissémination du TAI et de l'UTC. On continue à travailler à l'amélioration des liaisons horaires utilisant le GPS : on a étalonné les retards internes des récepteurs du temps du GPS utilisés dans les laboratoires nationaux d'Allemagne, d'Amérique (É.-U.), d'Autriche, de Hong-Kong, du Japon, du Royaume-Uni et des Pays-Bas, et l'on a pris part à de nouvelles expériences. La participation aux études et aux expériences qui font appel à d'autres techniques de comparaison horaire, en particulier au GLONASS, aux comparaisons par aller et retour et à LASSO se poursuit. Une étude sur l'application de la théorie de la relativité aux comparaisons horaires, avec une exactitude de l'ordre de la picoseconde au voisinage de la Terre, s'est achevée avec succès et les résultats ont été publiés. Les travaux sur les échelles de temps fondées sur les pulsars se poursuivent.

1994/1995 Dans le domaine de la recherche sur les algorithmes d'échelles de temps, l'activité de la section du temps a été essentiellement dominée par la préparation de la réunion du Groupe de travail du CCDS sur

le TAI, qui s'est tenue au BIPM les 13 et 14 mars 1995. Ce travail comporte des études dont le but est d'améliorer la stabilité à long terme de l'Échelle atomique libre (EAL) et de définir une stratégie sûre pour le pilotage de la fréquence. À ce propos le BIPM reçoit maintenant régulièrement des données provenant d'évaluations de l'étalon primaire de fréquence NIST-7 à pompage optique, mis au point au NIST. Ces évaluations conduisent à un niveau d'exactitude, caractérisé par une incertitude relative de 1×10^{-14} (écart-type), qui n'a jamais été atteint auparavant. Ces résultats ont été corrigés pour le décalage dû au rayonnement du corps noir, que l'on estime égal à $-1,7 \times 10^{-14}$ pour un atome de césium à une température de 300 K. Dans le passé les laboratoires qui fournissaient les données de leurs étalons primaires de fréquence n'appliquaient pas cette correction de façon uniforme : en particulier, les résultats donnés par PTB-CS1 et CS2, sur lesquels est fondée l'exactitude du TAI, n'avaient jamais été corrigés. Cependant, depuis juillet 1995, PTB-CS1 a cessé de fonctionner et le BIPM a reçu une estimation de la correction à apporter à PTB-CS2 pour compenser l'effet du rayonnement du corps noir. Celle-ci a été réellement appliquée et l'unité d'échelle du TAI est maintenant évaluée à partir des données de PTB-CS2 et de NIST-7, corrigées de la même manière. Ceci est en accord avec les décisions du Groupe de travail du CCDS sur le TAI qui a recommandé au CCDS que ces corrections soient appliquées. Le CCDS prendra définitivement position sur cette question lors de sa prochaine session en 1996. Les travaux sur la technique des vues simultanées des satellites du GPS et sur les liaisons horaires au moyen du GLONASS se poursuivent en profitant pleinement maintenant du nouveau laboratoire du temps. Une étude portant sur l'application de la théorie de la relativité aux comparaisons de fréquence relative entre horloges au voisinage de la Terre, avec une exactitude de l'ordre de quelques 10^{-18} , a été achevée. La collaboration se poursuit avec les groupes de radio-astronomie pour obtenir des données des pulsars en vue de mettre au point des échelles de temps fondées sur des pulsars.

Électricité

1991/1992 Cinq comparaisons ont été effectuées en transportant au NIST (É.-U. d'Amérique), au Conseil national de recherches du Canada (NRC, Canada), au NPL (Royaume-Uni), au Laboratoire central des industries électriques (BNM-LCIE, France) et à l'Electrotechnical Laboratory (ETL, Japon) l'équipement, à réseau de jonctions de Josephson de 1 V, appartenant au BIPM. Les résultats de ces comparaisons, comme ceux des comparaisons qui ont été faites auparavant avec la PTB (Allemagne) et le Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM, Danemark), dépassent toutes les espérances. Les différences entre la réalisation du volt faite par le BIPM et celles des autres laboratoires ne dépassent en aucun cas 0,2 nV, avec des incertitudes du même ordre. Il est possible d'en tirer la conclusion que ces comparaisons ont apporté l'entière preuve de la cohérence au niveau mondial des réalisations du volt fondées sur l'effet Josephson, avec un gain de deux ordres de grandeur par rapport à ce que l'on obtenait auparavant au moyen d'autres étalons de transfert. Une autre étude importante effectuée dans la section d'électricité a été la mise au point d'une installation à basse fréquence, 1 Hz, pour faire des étalonnages de résistance en fonction de la résistance de Hall quantifiée. Ce dispositif devrait permettre des comparaisons de rapport de résistances avec exactitude sans dépendre de la stabilité d'étalons voyageurs de résistance.

1992/1993 Un dispositif à réseau de jonctions de Josephson de 10 V a été installé et vérifié, et on a obtenu avec cet étalon un accord à mieux que 1×10^{-8} près par rapport à notre étalon à effet Josephson de 1,018 V, en utilisant le comparateur qui permet de passer de 1,018 V à 10 V. Deux nouvelles

comparaisons internationales de notre réseau de jonctions de Josephson de 1 V ont été faites avec l'Office fédéral de métrologie (OFMET, Suisse) et le Nederlands Meetinstituut (NMI-VSL, Pays-Bas). Les résultats font apparaître des différences qui ne dépassent pas 7×10^{-10} . Les paliers de tension correspondant à des rangs demi-entiers d'un réseau de 1 V ont été comparés aux paliers habituels de rang entier d'un autre réseau de 1 V et ont confirmé à 3×10^{-10} près la relation de Josephson pour les paliers de rang demi-entier. Un étalon de résistance transportable à effet Hall quantique utilisant un nouvel aimant de 11 teslas a été construit et soumis à essai. Cet étalon est conçu pour être transporté dans d'autres laboratoires afin de comparer directement des installations à effet Hall quantique sans utiliser les étalons de résistance voyageurs traditionnels, dont la stabilité est très inférieure à celle des dispositifs à effet Hall quantique. Les essais montrent que les résistances peuvent être étalonnées en fonction de R_{K-90} avec le nouveau dispositif à effet Hall quantique avec une incertitude de quelques 10^{-9} . Une technique nouvelle a été conçue et vérifiée expérimentalement, pour combiner les connexions de plusieurs échantillons en série et en parallèle afin d'obtenir une résistance globale connue avec une grande exactitude. Ce travail vient en complément de celui qui concerne le dispositif à réseau de jonctions de Josephson de 1 V, qui permet maintenant de relier avec succès les étalons de référence de Josephson de huit laboratoires membres du CCE. Afin d'établir un raccordement officiel des étalons de résistance et de tension entre les laboratoires nationaux qui n'utilisent pas directement des étalons de référence fondés sur l'effet Josephson ou l'effet Hall quantique, un nouveau programme de comparaisons bilatérales a été entrepris à l'aide d'étalons voyageurs traditionnels. Trois laboratoires ont participé à ce programme à la fin de septembre 1993 (Autriche, Irlande, Portugal). Les travaux de recherche sur les étalons de capacité ont été repris après une interruption de plusieurs années. Il est envisagé de déterminer la valeur des étalons de capacité de 10 pF en fonction de la résistance obtenue par effet Hall quantique, à l'aide d'un pont de capacité et d'un pont de quadrature. Le pont de capacité est terminé et il a été soumis à des essais. Une étude de la densité spectrale de puissance du bruit électrique est actuellement en cours pour examiner les limites imposées par le bruit propre à nos étalons de tension et à l'équipement employé pour les comparer. Une étude systématique a été entreprise pour analyser l'effet des variations de l'humidité ambiante sur le comportement des étalons de tension fondés sur des diodes de Zener.

1993/1994 La première comparaison d'étalons de 10 V fondés sur un réseau de jonctions de Josephson a été effectuée en transportant le système du BIPM au BNM-LCIE. Le résultat a fait apparaître une différence relative de seulement $1,2 \times 10^{-10}$ entre les deux étalons de 10 V à effet Josephson des deux laboratoires, avec une incertitude-type composée totale de $1,2 \times 10^{-10}$ en valeur relative. Pour les travaux avec le réseau de jonctions de Josephson de 10 V, nous avons mis au point un appareil de transfert de tension à faible bruit. Au mois de décembre 1993 le dispositif transportable étalon de résistance à effet Hall quantique appartenant au BIPM, comprenant le cryostat, l'aimant et le pont de résistance, a été porté au BNM-LCIE où la première comparaison directe d'étalons à effet Hall quantique a été effectuée. Les résultats font apparaître un accord à quelques 10^{-9} près entre les mesures faites avec les deux dispositifs, avec une incertitude-type totale composée d'environ la même valeur. D'importants progrès ont aussi été faits dans les mesures en courant alternatif de résistance de Hall quantifiée jusqu'à plusieurs kilohertz. À 1,6 kHz, on a observé des portions de plateaux de résistance effectivement plates à 1×10^{-8} près. De 1 Hz à 1,6 kHz les variations du rapport de la résistance de Hall quantifiée à la résistance d'un étalon en courant alternatif étaient inférieures à 2×10^{-7} en valeur relative. Les résultats des

mesures de la variation de la tension de sortie en fonction de l'humidité relative de quelques étalons de tension à diode de Zener de 1,018 V, du type le plus fréquemment utilisé en métrologie des tensions de haute précision, ont été obtenus. Une diminution de 0,10 de l'humidité relative provoque une *augmentation* comprise entre 1,0 μV et 1,5 μV de la tension de sortie de 1,018 V de certains étalons à diode de Zener. Le programme de comparaisons bilatérales d'étalons électriques fondamentaux a suscité un certain intérêt et en 1993/1994 quatre laboratoires nationaux y ont participé (Autriche, Irlande, Norvège, Portugal).

1994/1995 Trois comparaisons ont eu lieu à l'aide du dispositif transportable à effet Josephson : au Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS, Rép. de Corée), au Measurement Standards Laboratory (MSL, Nouvelle-Zélande) et au National Measurement Laboratory (CSIRO-NML, Australie). Les résultats présentent des différences relatives, entre les étalons de tension de 1 V à effet Josephson de chaque laboratoire et celui du BIPM, inférieures à 3×10^{-10} avec une incertitude-type composée totale inférieure à 3×10^{-10} dans chaque cas en valeur relative. Au mois de novembre 1994 l'appareil étalon de résistance à effet Hall quantique du BIPM, comprenant le cryostat, l'aimant et le pont de résistance, a été transporté à l'OFMET (Suisse) où la deuxième comparaison sur place d'étalons à effet Hall quantique s'est déroulée. Les résultats des mesures obtenus avec les deux systèmes s'accordent entre eux à quelques 10^{-9} près en valeur relative avec une incertitude-type composée totale d'environ la même valeur. Les deux dispositifs transportables, aussi bien celui à effet Josephson que celui à effet Hall quantique, sont en mesure d'assurer la traçabilité entre laboratoires avec des exactitudes meilleures, d'un ordre de grandeur ou mieux, que celles que l'on obtient avec des étalons voyageurs traditionnels. De nouveaux progrès ont été faits dans la mesure de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à 1,6 kHz. Des comparaisons exactes des plateaux de résistance $i = 2$ et $i = 4$ ont été faites et une quantification exacte à cette fréquence a été obtenue, mais il subsiste des imperfections résiduelles de l'ordre de 1×10^{-7} en valeur relative. Le programme de comparaisons bilatérales d'étalons électriques fondamentaux continue d'attirer l'intérêt et cette année quatre comparaisons sont en cours (Autriche, Irlande, Norvège, Portugal).

Radiométrie, photométrie, thermométrie et pression

1991/1992 L'activité a porté sur la préparation de la comparaison internationale de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium que le CCPR avait décidé d'entreprendre. Treize laboratoires devaient prendre part à cette comparaison et quinze jeux de récepteurs ont été préparés ; les récepteurs pièges ont été conçus au BIPM et fabriqués par l'atelier du BIPM. De nombreux essais ont été faits sur les récepteurs ; ces essais, ainsi qu'une comparaison restreinte faite avec la PTB (Allemagne) et le NPL (Royaume-Uni), ont confirmé que le type de photodiode choisi présentait une stabilité suffisante pour être utilisé comme instrument de transfert pour la comparaison. D'autres études et essais portant sur des lampes de fabrication russe ou de fabrication chinoise ont confirmé la répétabilité du flux lumineux et de l'intensité lumineuse. Les recherches sur la stabilité à long terme de cellules à point triple de l'eau ont confirmé l'intérêt de l'utilisation de neige carbonique pour former le manchon de glace dans ces cellules. Il conviendrait en conséquence d'apporter une modification au texte de *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*.

1992/1993 La comparaison internationale de la sensibilité spectrale de photodiodes au silicium s'est poursuivie. Quatorze laboratoires nationaux en

tout y ont participé (Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Australie, Canada, Chine (Rép. pop. de), Corée (Rép. de), France, Hongrie, Japon, Nouvelle-Zélande, Royaume-Uni, Russie (Féd. de), Tchécoslovaquie). C'est la première comparaison faite au BIPM dans le domaine de la spectroradiométrie. Chaque laboratoire participant a reçu une série de quatre récepteurs, étalonnés et vérifiés au BIPM, comprenant trois photodiodes planes et un récepteur à piège à lumière constitué de trois photodiodes planes convenablement associées. À leur retour les photodiodes et surtout les récepteurs à piège ont généralement montré qu'ils avaient conservé une bonne stabilité pendant toute la durée de la comparaison. Ce n'est que dans le domaine de l'ultraviolet que l'on a observé des changements significatifs, dus apparemment à un effet de vieillissement résultant de l'exposition aux ultraviolets. Les résultats de la comparaison ont été diffusés aux laboratoires participants avant la fin de l'année 1993, ce qui a permis de les étudier et d'en discuter à la session du CCPR qui s'est tenue au mois de septembre 1994. Quatre autres laboratoires ont fait part de l'intérêt qu'ils portaient à la comparaison après que celle-ci eut commencé. Une seconde série de comparaisons est actuellement en cours pour inclure ces quatre laboratoires (Espagne, Italie, Pays-Bas, Suède). Une étude théorique et expérimentale des effets de diffraction aux ouvertures a commencé afin d'établir des méthodes numériques permettant d'effectuer des calculs de diffraction avec une exactitude de quelques 10^{-5} . L'amélioration des radiomètres absolus fait appel à des calculs de ce genre et il est apparu que les méthodes numériques et analytiques habituelles utilisées depuis de nombreuses années ne conviennent pas à ce niveau d'exactitude. Des recherches ont aussi commencé sur les mesures exactes de la réflectance diffuse résiduelle des surfaces supposées spéculaires, en particulier des surfaces des photodiodes. Dans le domaine des mesures de pression et de température, le manobaromètre primaire du BIPM a été remis à neuf. Les étalonnages dans l'EIT-90 de thermomètres à résistance de platine pour les autres sections du BIPM continuent d'être faits suivant les besoins.

1993/1994 La comparaison internationale de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium, commencée en 1991, s'est achevée. Au cours de la comparaison on a constaté que les photodiodes semblent présenter un effet de vieillissement après exposition au rayonnement ultraviolet. Des mesures ultérieures effectuées au BIPM ont montré que la variation de la sensibilité dépend essentiellement de la longueur d'onde du rayonnement ultraviolet et très peu du niveau d'irradiation. Il ne semble pas que cela soit un effet de surface. Un radiomètre cryogénique de type commercial a été acheté à la société Oxford Instruments. Il s'agit d'un nouveau type de radiomètre. De nombreuses caractéristiques de sa conception résultent de discussions qui se sont déroulées, à l'initiative du BIPM, entre les utilisateurs potentiels et les fabricants de ce type d'instrument. L'ensemble a été installé au début de l'année 1994. Des essais ont montré que la répétabilité relative est de l'ordre de $2,5 \times 10^{-5}$ pour une série de six cycles de substitution électrique lors d'une mesure de puissance de rayonnement par comparaison avec l'ancienne référence radiométrique absolue du BIPM, un récepteur QED-200. En photométrie, les étalons de travail pour les mesures de température de répartition ont été comparés avec le groupe de lampes utilisées lors de la première comparaison internationale de température de répartition (1963-1964). Suite à une décision prise par le CCT lors de sa 18^e session en septembre 1993, une comparaison de cellules à point triple de l'eau a été organisée. Des cellules ont été achetées aux É.-U. d'Amérique (Jarret) et en Russie (Institut de métrologie D.I. Mendéléev, VNIIM). D'autres cellules, provenant de la République de Corée (KRIS), d'Italie (Istituto di Metrologia G. Colonnetti, IMG) et du Royaume-Uni (NPL) ont été envoyées au BIPM par ces laboratoires. Tous les

points triples ont été mesurés au BIPM avant d'être envoyés par groupes aux laboratoires participants ; les points triples seront tous à nouveau mesurés à leur retour au BIPM. La comparaison devra être achevée avant la prochaine réunion du CCT, prévue pour 1996. Le manobaromètre du BIPM, qui a été révisé en 1993, est de nouveau en état de marche. À titre de vérification, on l'a comparé à une balance de pression qui prend part à une comparaison de moyennes pressions dans le cadre des activités du CCM. Les résultats des mesures récentes concordent dans la limite des incertitudes, soit environ à 1 Pa près.

1994/1995 L'essentiel du travail cette année a été de préparer les comparaisons internationales dont le CCPR avait pris la décision lors de sa session de septembre 1994. En vue de la comparaison de radiomètres cryogéniques, trois comparaisons d'essai ont été faites. Deux ont été des comparaisons directes (avec la France et le Royaume-Uni) entre radiomètres cryogéniques au BIPM et la troisième (avec l'Australie) a été une comparaison indirecte, réalisée en transportant des récepteurs à piège. Les résultats de toutes ces comparaisons confirment l'excellente reproductibilité des radiomètres cryogéniques : dans aucun des cas les différences relatives ne dépassent 2×10^{-4} . L'utilisation des récepteurs à piège comme instruments de transfert pour des comparaisons de ce genre nécessite d'avoir une connaissance plus exacte de leurs caractéristiques ; on en fait donc l'étude. Suite au réaménagement de l'une des pièces précédemment utilisée pour la thermométrie, il a été possible de séparer du radiomètre cryogénique les installations pour la radiométrie où l'on utilise un monochromateur et des lampes. Une pièce entière est maintenant réservée au radiomètre cryogénique, ce qui permet d'améliorer les installations expérimentales nécessaires et laisse davantage d'espace pour les radiomètres qui viennent d'autres laboratoires. En photométrie, la comparaison internationale de sensibilité lumineuse utilisant des photomètres a été préparée par un groupe de travail du CCPR avec le BIPM comme coordonnateur. Des groupes de lampes fabriquées par Osram et Polaron ont été achetés et constitueront un nouveau groupe d'étalons de travail. La sphère intégrante de 1,5 m de diamètre, qui avait été repeinte en 1983, a été démontée, nettoyée et sa peinture photométrique blanche a été refaite. La comparaison internationale de cellules à point triple de l'eau, commencée en 1994, est bien avancée. Les deux groupes de laboratoires nationaux ont achevé leurs mesures (Amérique (É.-U. d'), Corée (Rép. de), France, Italie, Royaume-Uni, Russie (Féd. de)). Une installation pour essayer et comparer les jauges à vide a été conçue et commandée.

Rayonnements ionisants

1991/1992 Les comparaisons internationales constituent toujours l'activité essentielle du BIPM. La comparaison de mesures de fluence de neutrons, à laquelle avaient pris part le BIPM, la PTB (Allemagne), le Bureau central de mesures nucléaires (BCMNI) et le NPL (Royaume-Uni), avait laissé non résolus quelques problèmes qui ont fait l'objet de discussions lors de la réunion de la Section III du CCEMRI en 1991 ; la plupart de ces problèmes ont maintenant trouvé leur solution grâce à des mesures supplémentaires qui ont permis d'évaluer l'effet de la diffusion dans la cible. Un gros effort a été également fait pour organiser la comparaison internationale de mesures de ^{75}Se demandée par la Section II du CCEMRI lors de sa réunion en 1991. Ce fut la première comparaison pour laquelle le BIPM prenait la responsabilité de préparer la solution radioactive et les ampoules, ce qui a demandé un gros travail. Deux solutions diluées ont été préparées et soumises à des vérifications de pureté indépendantes, faites par la PTB (Allemagne) et le NIST (É.-U. d'Amérique) ; toutes les ampoules ont été vérifiées en utilisant les

chambres d'ionisation du Système international de référence pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma (SIR). Le BIPM a reçu les résultats de cette comparaison en septembre 1992. Les résultats des recherches poursuivies sur la nouvelle méthode de parité, en vue de déterminer expérimentalement l'activité d'une source, seront utilisés au cours de cette comparaison de ^{75}Se pour établir des corrections qui devraient permettre la mesure directe des désintégrations retardées. D'autres recherches visaient à améliorer et à étendre nos possibilités de mesure en dosimétrie et en calorimétrie. Les conditions de fonctionnement de l'installation calorimétrique ont été améliorées.

1992/1993 Dans le domaine de la dosimétrie pour les rayons x et γ , on a trouvé que le facteur d'étalonnage en kerma dans l'air des chambres étalons secondaires d'ionisation, dans un faisceau de rayonnement du ^{60}Co , dépend faiblement mais de façon significative de leur réponse en fonction de la composition spectrale du faisceau. Dans les comparaisons internationales d'étalons de kerma dans l'air, cette influence apporte sa contribution à l'incertitude globale. On a observé une faible diminution des valeurs mesurées de la dose absorbée dans l'eau, D_w , utilisant la source de 90 TBq installée en 1987. Il n'était pas évident que cette diminution soit due à des impuretés dans la source ou à l'équipement de mesure. Des comparaisons ont été faites entre les valeurs de D_w calculées selon un code bien établi par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et les valeurs expérimentales obtenues directement. Les résultats concordent à 1 % près. Parmi les étalonnages faits au cours de l'année trois séries de dosimètres thermoluminescents ont été étalonnées pour l'AIEA. Cela renforce la traçabilité au BIPM des soixante-douze laboratoires conservant des étalons secondaires de dosimétrie (SSDL) du réseau de l'AIEA. L'installation de la nouvelle source de ^{137}Cs a continué, de même, en dosimétrie neutronique, la comparaison internationale de mesures de fluence neutronique s'est poursuivie. Les fonctions de réponse et les efficacités de détection du compteur à scintillateur liquide du BIPM ont été calculées à l'aide des codes de Monte Carlo fournis par la PTB (Allemagne). Les résultats des calculs sont en bon accord avec ceux qui ont été obtenus de façon expérimentale. Une source neutronique de Am-Be a été étalonnée au moyen de la méthode du bain de manganèse. Dans le domaine des radionucléides le rapport final de la comparaison internationale de mesures d'activité du ^{75}Se est achevé. Vingt-et-un laboratoires de dix-neuf pays (Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Brésil, Canada, Chine (Rép. pop. de), Corée (Rép. de), Danemark, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Japon, Pologne, Roumanie, Royaume-Uni, Russie (Féd. de), Tchécoslovaquie) ont participé aux mesures de cette comparaison, qui sont intrinsèquement difficiles par suite de la présence d'un état métastable dans le processus de désintégration de ce nucléide. Les travaux sur les statistiques de comptage ont comporté une étude de l'effet d'une division dans le dispositif de comptage sur la statistique d'un processus de Poisson et l'examen de la méthode de Galushka pour la correction automatique de temps mort.

1993/1994 Dans le domaine de la dosimétrie des rayonnements x et γ , des expériences ont été faites dans le faisceau de la source de ^{60}Co afin d'évaluer l'influence de facteurs comme la diffusion et l'uniformité du faisceau, le taux d'exposition et la profondeur dans l'eau sur la réponse des chambres d'ionisation étalonnées dans l'eau. Pour de petites chambres, l'influence de ces facteurs est faible. En utilisant la source de ^{60}Co , des comparaisons portant sur la mesure soit du kerma dans l'air soit de la dose absorbée dans le graphite ont été faites avec quatre laboratoires (Autriche, France, Italie, Pays-Bas). La collaboration avec l'AIEA s'est poursuivie avec l'irradiation dans le fantôme d'eau du BIPM de six séries de trois dosimètres thermoluminescents. Une détermination du kerma dans l'air est en cours

pour la nouvelle source de ^{137}Cs de 1 TBq en utilisant un étalon en graphite, semblable à celui qui est utilisé avec la source de ^{60}Co . La comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV se poursuit, à l'aide de sphères de Bonner comme instruments de transfert. Un nouvel étalonnage de la source de neutrons du BIPM a été effectué de telle sorte que l'on a pu effectuer deux étalonnages définitifs des sources neutroniques provenant d'un laboratoire français et d'un laboratoire brésilien. Dans le domaine des radionucléides, une comparaison restreinte de mesures d'activité du ^{204}Tl a commencé au cours de l'automne de 1994. Le BIPM participe à une comparaison de mesures d'activité organisée dans le cadre d'EUROMET et utilisant la technique du scintillateur liquide, technique que le BIPM n'utilise que depuis peu. Au cours de l'année dix-neuf résultats nouveaux, portant sur des échantillons provenant de dix laboratoires (Argentine, Australie, Canada, France, Hongrie, Japon, Royaume-Uni, Suisse, BIPM et laboratoires de la Commission de l'Union européenne), ont été obtenus avec le SIR, ce qui porte le total à 449 résultats indépendants pour 53 émetteurs différents de rayonnement γ . Les travaux se poursuivent dans le domaine des statistiques de comptage où l'application de méthodes rigoureuses est d'une importance primordiale. Les résultats de ces travaux, effectués au BIPM pour les besoins immédiats de la métrologie des radionucléides, présentent un intérêt beaucoup plus vaste comme le prouvent les contributions apportées au problème de l'évaluation des incertitudes.

1994/1995 Dans le domaine des rayonnements x et γ une étude approfondie a été faite sur la réponse d'une chambre de transfert en fonction de la qualité du rayonnement. Les recherches se poursuivent pour tenter de trouver une explication à la décroissance anormalement rapide que nous avons observée dans la dose absorbée pour le rayonnement du ^{60}Co , décroissance qui est de 0,2 % plus rapide que celle que l'on en attend d'après la période connue de 1925,5 jours. Le kerma dans l'air a été déterminé pour la nouvelle source de rayonnement du ^{137}Cs . L'incertitude totale est de 0,4 %, ce qui est légèrement supérieur à celle de la source de ^{60}Co . Une comparaison d'étalons de kerma dans l'air a été faite avec le Glowny Urząd Miar (GUM, Pologne) dans les faisceaux de rayons x du BIPM. Deux comparaisons d'étalons de kerma dans l'air dans le faisceau de rayonnement du ^{137}Cs du BIPM ont été faites avec le NIST (É.-U. d'Amérique) et l'Országos Mérésügyi Hivatal (OMH, Hongrie). Le BIPM a analysé les résultats de la comparaison de dose élevée (15 kGy et 45 kGy) dans le rayonnement du ^{60}Co organisée par l'AIEA, à laquelle ont participé neuf laboratoires. Plusieurs chambres d'ionisation utilisées comme étalons secondaires de kerma dans l'air ou de dose absorbée dans l'eau ont été étalonnées dans les faisceaux de rayonnement x, ou de rayonnement du ^{137}Cs ou du ^{60}Co , pour le Council for Scientific and Industrial Research (CSIR, Afrique du Sud), le Laboratoire primaire des rayonnements ionisants (BNM-LPRI, France), l'OMH (Hongrie), le Statens Institut for Strålehygiene, (SIS, Danemark), le Statens Strålevern (SS, Norvège) et l'AIEA. La collaboration active avec l'AIEA se poursuit. Une étude a été faite des méthodes qui pourraient être utilisées par le BIPM pour assurer l'équivalence internationale des étalons pour la mesure de la dose absorbée dans l'eau de faisceaux de photons ou d'électrons de haute énergie. Suite à la décision de cesser le travail expérimental en dosimétrie neutronique au BIPM, les dernières mesures dans le domaine neutronique ont eu lieu. La stabilité des trois sphères de Bonner, utilisées comme instruments de transfert dans une comparaison internationale de mesures de fluence neutronique, a été contrôlée avant que la deuxième partie de la comparaison ne commence. À la fin de cette comparaison, en 1996, les sphères seront renvoyées au NPL (Royaume-Uni) d'où elles provenaient au départ. La fonction de réponse du détecteur à scintillation liquide utilisé a été mesurée. Dans le domaine des

radionucléides, une comparaison d'essai de mesures de l'activité du ^{204}Tl a été achevée (Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Espagne, France) et les résultats ont été présentés à la réunion de la Section II du CCEMRI. Dans le cadre d'EUROMET, le BIPM a pris part à une comparaison de mesures de l'activité du ^{63}Ni . Suite au résultat d'une comparaison d'essai de mesures de l'activité du ^{192}Ir , il a été décidé par la Section II du CCEMRI qu'une autre comparaison d'essai devrait être faite pour inclure un plus grand nombre de participants. Le nombre de participants et le nombre de radionucléides entrant dans le SIR continuent d'augmenter. Dans le cadre de l'intérêt que nous portons depuis longtemps aux statistiques de comptage, à l'évaluation des résultats des comparaisons et à l'expression des incertitudes, une étude a commencé sur l'application éventuelle à la métrologie de ce que l'on appelle les « statistiques robustes ».

Étalonnages

À côté de cet éventail très large de comparaisons internationales et des travaux de recherche qui les accompagnent, des étalonnages sont effectués pour un grand nombre d'États membres de la Convention du Mètre. En 1991/1992, le BIPM a établi trente-neuf Certificats d'étalonnage et quatre Notes d'étude, en 1992/1993 soixante-douze Certificats et deux Notes d'étude, en 1993/1994, cinquante-trois Certificats et sept Notes d'étude et en 1994/1995 cinquante-trois Certificats et trois Notes d'étude.

Publications

Depuis octobre 1991 ont été publiés :

19^e Conférence générale des poids et mesures, Comptes rendus, 1991, 191 pages.

Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures, T. **59** (80^e session, septembre 1991), 221 pages, T. **60** (81^e session, septembre 1992), 223 pages, T. **61** (82^e session, septembre 1993), 268 pages, T. **62** (83^e session, septembre 1994), 222 pages.

Rapport annuel de la section du temps du BIPM, Vol. **4** (1991), 150 pages, Vol. **5** (1992), 150 pages, Vol. **6** (1993), 129 pages, Vol. **7** (1994), 127 pages.

Comité consultatif d'électricité, 19^e session (1993), 63 pages.

Comité consultatif de photométrie et radiométrie, 13^e session (1994), 67 pages.

Comité consultatif de thermométrie, 18^e session (1993), 80 pages.

Comité consultatif pour la définition de la seconde, 12^e session (1993), 74 pages.

Comité consultatif pour la définition du mètre, 8^e session (1992), 215 pages.

Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, 4^e session (1991), 88 pages, 5^e session (1993), 165 pages.

Comité consultatif pour la quantité de matière, 1^{re} session (1995), 38 pages.

Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, 12^e session (1991), 170 pages, 13^e session (1993), 141 pages.

Circular T (mensuelle), 4 pages.

Le BIPM et la Convention du Mètre, 1995, 63 pages.

À ces publications il convient d'ajouter 35 rapports BIPM et environ 150 articles parus dans des revues scientifiques, des comptes-rendus de Conférences et les volumes 29, 30, 31 et 32 de *Metrologia*.

Le président du Comité international donne ensuite lecture des projets de résolution A, B et C : le projet de résolution A sur la nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes, le projet de résolution B sur la traçabilité des étalons au niveau mondial, et le projet de résolution C sur le besoin de recherches métrologiques à long terme.

Il demande aux présidents des comités consultatifs de donner lecture des projets de résolution concernant leur domaine lors de la présentation de leur rapport, pour permettre aux délégations de faire part de leurs remarques et être en mesure de discuter les propositions de changements dans la rédaction des résolutions avant de procéder au vote définitif à la fin de la Conférence.

Une discussion s'engage sur le projet de résolution B qui sera légèrement modifié, à la demande de la délégation des Pays-Bas.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité international pour la qualité de son rapport sur les travaux accomplis depuis la précédente Conférence générale et demande s'il y a des commentaires.

M. CLAPHAM, au nom du Gouvernement britannique, félicite le président du Comité international et le directeur du BIPM d'avoir maintenu la qualité du travail et des recherches effectuées au BIPM à un très bon niveau dans un contexte économique difficile. Il souligne que certains travaux ont dû être différés pour des raisons financières, et qu'il conviendra de s'en souvenir lors du vote de la dotation.

Le président du Comité international remercie M. CLAPHAM pour ses paroles et pour les compliments relatifs aux travaux accomplis au BIPM, et rappelle qu'il serait préférable de ne pas renouveler ces restrictions budgétaires, car elles auraient de fâcheuses conséquences.

M. BLANC-LAPIERRE approuve le point de vue de M. KIND et cède la parole à M. KOVALEVSKY qui demande à la Conférence de procéder à la formation d'un groupe de travail *ad hoc* chargé de préparer la discussion sur la dotation du BIPM pour les quatre années 1997 à 2000, discussion qui fera l'objet du point 17 de l'ordre du jour.

M. KOVALEVSKY informe les délégués que le Comité international propose que ce groupe soit composé de douze États membres, qui sont choisis en tenant compte de l'importance de leur pourcentage de contribution à la dotation ainsi que d'une certaine répartition géographique. Après discussion, le groupe est constitué comme suit : Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Brésil, Canada, Chine (Rép. pop. de), France, Inde, Italie, Japon, Pologne, Russie (Féd. de), Royaume-Uni. Il est convenu que la prochaine réunion se tiendra le mardi 10 octobre à 10 h au Centre de Conférences internationales. Il invite alors les délégués des autres États membres qui ne figurent pas sur cette liste, mais qui souhaitent assister aux discussions, à le faire.

M. KOVALEVSKY est nommé président de ce groupe de travail *ad hoc*.

6a. Futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale

Le PRÉSIDENT propose de passer au point suivant de l'ordre du jour : Futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale, et invite le représentant du ministère français des Affaires étrangères à ouvrir la discussion.

M. J.-R. GEHAN, sous-directeur chargé des questions politiques à la Direction des Nations unies et des organisations internationales du ministère des Affaires étrangères présente le rapport suivant :

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Comme vous le savez, le Gouvernement français a entamé une réflexion sur les moyens de parvenir à une plus grande synergie entre les organisations qui ont pour mission de traiter des différents aspects de la métrologie au niveau international, ceci dans le but de renforcer leur rôle et également de répondre à la synergie qui existe dans tous les pays au niveau national.

Le Gouvernement français, vous le savez aussi, est dépositaire des deux Conventions relatives à la métrologie, la Convention du Mètre, signée à Paris

en 1875, qui a créé le Bureau international des poids et mesures (BIPM), dont la 20^e Conférence générale nous réunit aujourd'hui, et la Convention instituant l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) signée à Paris en 1955 et modifiée en 1968. Ces deux organisations ont leur siège à Paris, ce dont le Gouvernement français se félicite, car c'est un honneur pour notre capitale, et cela devrait pouvoir faciliter l'établissement de liens plus étroits entre ces deux organisations, selon des modalités pratiques et juridiques à déterminer par elles-mêmes.

Une étude exploratoire a été menée, du côté français, au cours de cet été, auprès des États membres des deux organisations concernées, le BIPM et l'OIML, que je viens de citer, afin de savoir quel accueil pourrait être réservé à une telle suggestion et si cette idée méritait d'être suivie.

Je dois dire que les réponses reçues, qu'il s'agisse de simples réponses de principe ou de réponses plus détaillées, m'ont paru très encourageantes, et je voudrais remercier les délégations ici présentes de cet accueil positif. Certaines de ces réponses étaient assorties d'une remarquable analyse des questions qu'il convient de se poser, voire même d'une méthodologie pour mener à bien ce qui n'est encore, à ce stade, qu'une étude de faisabilité. Je ne reprendrai pas ici la substance de ces très utiles contributions car il appartient à chacun d'exposer ses propres suggestions. Il s'agit notamment de questions institutionnelles telles que de savoir s'il est nécessaire ou non que ce rapprochement aille jusqu'à des modifications à apporter aux Conventions existantes ou encore à l'élaboration d'une nouvelle Convention permettant l'existence de liens organiques entre les deux institutions, ou toute autre procédure qui pourrait être envisagée.

Je tiens à souligner que cette idée d'un rapprochement entre organisations « sœurs » ou « cousines », si je puis dire, n'appartient plus à partir de maintenant à la France : elle est la vôtre, elle est ce que vous voudrez bien en faire, vous-mêmes et les directeurs des deux organisations concernées. Il me semble que les bureaux de ces organisations pourraient être appelés à étudier en commun les modalités concrètes sur lesquelles vous auriez à vous prononcer dans un stade ultérieur.

Je vous remercie Monsieur le Président.

M. B. ATHANÉ, directeur du Bureau international de métrologie légale (BIML), demande à s'adresser à la Conférence, demande à laquelle le président répond favorablement, et fait la déclaration suivante :

Il ne m'appartient pas de participer directement aux discussions des États membres de la Convention du Mètre, mais j'aimerais vous présenter le point de vue de mon organisation.

Comme l'a indiqué le représentant du ministère français des Affaires étrangères, la proposition d'étudier la possibilité de rapprocher les deux organisations a été très favorablement accueillie par les membres du Comité international de métrologie légale (CIML).

Les États membres du CIML se réuniront dans deux semaines à Beijing (Rép. pop. de Chine) et discuteront de cette proposition. Bien évidemment, le CIML aura eu connaissance des décisions de la Conférence générale des poids et mesures à ce sujet et, si le projet de résolution soumis à la Conférence générale est adopté, je suis persuadé que le CIML adoptera une résolution similaire. La décision du CIML devra être ultérieurement confirmée par la Conférence internationale de métrologie légale, qui se réunira en novembre 1996, mais cela ne devrait pas poser de problème.

Nous sommes donc prêts à participer à un groupe de travail commun dans les plus brefs délais.

Le PRÉSIDENT invite ensuite les délégations à faire part de leurs remarques.

M. D.G. STOICHITOIU, directeur du Bureau roumain de métrologie légale, est favorable au principe de la fusion des deux organisations, sous réserve de la signature d'une nouvelle convention intergouvernementale. Il pense qu'il ne serait pas avisé de conserver l'une des deux conventions existantes, ni même de les modifier. Il lui semble préférable de créer une nouvelle organisation intergouvernementale qui superviserait les activités des deux organisations existantes.

M. FABER, président du Comité international de métrologie légale et chef de la délégation des Pays-Bas, intervient au nom de la délégation néerlandaise :

Le Gouvernement des Pays-Bas a adopté une position neutre sur l'éventuel rapprochement des deux organisations. Il pense qu'il convient d'étudier et d'analyser la question avant de se déclarer et de prendre une décision définitive.

J'aimerais ajouter qu'autant que je puisse en juger quant à l'efficacité du travail à accomplir par ces deux organisations, il convient d'abord de bien analyser les besoins de la métrologie à long terme, et d'identifier les tâches à accomplir avant de procéder à une fusion de ces deux organisations.

M. MURGO, au nom de la délégation italienne, précise que son Gouvernement n'a pas répondu au courrier qui lui avait été adressé, mais qu'il est favorable à la fusion, sous les auspices d'une des deux conventions existantes, modifiée si nécessaire.

M. TARBÉEV, au nom de la délégation de la Fédération de Russie, fait la déclaration suivante :

Dans l'éventualité d'une fusion entre l'organisation créée par la Convention du Mètre et l'organisation instituée par le traité de l'OIML, il est nécessaire de préparer et d'approuver une nouvelle convention, une troisième, parce que les tâches de ces organisations et les moyens de les réaliser sont fort différents, notamment en ce qui concerne les États membres et les pays adhérents, leurs intérêts respectifs, le montant des cotisations, la structure de leurs organes exécutifs etc.

Dans ce contexte, dans l'éventualité d'une union entre ces deux organisations, nous proposons de conserver deux structures, l'une pour la métrologie scientifique, l'autre pour la métrologie légale, sous les auspices d'une direction commune.

Nous jugeons nécessaire d'attirer l'attention des délégations des autres États membres sur les implications budgétaires des activités de ces deux organisations. Le coût des organes de la Convention du Mètre est d'un ordre de grandeur supérieur à celui de l'OIML ; le mode de calcul des contributions est totalement différent (au BIPM, les contributions sont calculées sur la base des coefficients de l'ONU, alors qu'à l'OIML elles sont calculées en fonction de la population et du niveau technique de la métrologie dans le pays donné). De plus, le mode de calcul des pensions de retraite du personnel est différent, et les budgets des deux organisations sont organisés de manière différente.

Il est nécessaire de prêter attention à la nature fondamentalement différente de la politique à long terme de l'OIML et du programme de travail du BIPM jusqu'à l'an 2000.

Reconnaissant la nécessité d'une coordination plus étroite des activités de ces organisations internationales, qui ont toutes deux pour objectif d'assurer la traçabilité des mesures dans le monde, en dehors de toute référence à une éventuelle fusion dans le futur, nous proposons d'établir un groupe de travail commun chargé de faire des propositions pour améliorer l'efficacité de leurs activités de mesure. De plus, il convient de mentionner que les problèmes de

la métrologie et des équipements de mesure relèvent aussi de la compétence d'organismes tels que la Commission électrotechnique internationale (CEI), l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'International Measurement Confederation (IMEKO), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'International Laboratory Accreditation Conference (ILAC) etc.

Si l'on prend en compte cette dernière considération, il est possible d'organiser un Forum international de métrologie sous les auspices de l'organisation internationale créée par la Convention du Mètre.

Mme GEBBIE, au nom du Gouvernement américain, fait la déclaration suivante :

Le Gouvernement américain remercie le Gouvernement français pour avoir pris l'initiative de porter à l'attention des États membres de la Convention du Mètre la possibilité d'une fusion entre l'Organisation internationale de métrologie légale et les organes de la Convention du Mètre. Je remercie aussi M. QUINN, directeur du Bureau international des poids et mesures, pour sa lettre du 29 juin 1995 et les documents annexés, et celle du 17 juillet, et M. ATHANÉ, directeur du Bureau international de métrologie légale, pour ses lettres du 1^{er} juillet, du 19 juillet et du 4 août 1995. Ces courriers exposaient de façon claire et concise les objectifs de cette fusion et reflétaient une ouverture au changement ainsi qu'un remarquable esprit de coopération.

Le Gouvernement américain est très favorable à cette proposition, et il serait heureux d'apporter son concours aux travaux des groupes de travail ou des comités chargés d'étudier ou de négocier la dite fusion. Je rappelle pour information que le souhait d'une telle fusion avait été exprimé à un niveau de responsabilité très élevé, au Sénat et à la Chambre des représentants américains, l'hiver dernier.

Quant à la méthode la plus appropriée pour réaliser une fusion, le Gouvernement américain est favorable à une solution qui n'obligerait pas à modifier les conventions existantes ni à adopter une nouvelle convention. Cependant, il faut reconnaître que les points de vue sont partagés. Cette question devra donc être étudiée par un groupe de travail commun, qui examinera en détail les implications pratiques et légales de chaque solution proposée avant de prendre une décision. En d'autres termes, nous ne devons en aucun cas limiter la portée de cette étude.

Le Gouvernement américain demande que ce processus, pouvant éventuellement aboutir à une fusion, soit mené à bien en perturbant le moins possible les activités des deux organisations, en vue d'améliorer leur efficacité globale et éventuellement de réduire les coûts.

Il demande aussi, si les deux organisations approuvent le principe d'une fusion, que celle-ci s'effectue de manière responsable et soit bien coordonnée, ce qui n'est pas contradictoire, car il est possible d'agir de façon à la fois responsable et opportune.

Enfin, le Gouvernement américain pense qu'il faut apporter beaucoup de soin à ce que tous les intérêts, les aspects pratiques et les objectifs de la métrologie légale soient représentés au sein de la nouvelle organisation qui résultera de la fusion et de ses organes directeurs, dans les limites de la Convention du Mètre.

M. KOVALEVSKY conclut en disant que, d'après ces diverses interventions, il semble que le projet de résolution J proposé à la Conférence générale a l'assentiment général, sous réserve de quelques modifications, comme celle qui a été suggérée par la délégation néerlandaise. Il est clair que la future coopération entre les deux organisations est envisagée de manière très différente par les différents États membres. Un groupe de travail sera chargé de discuter des rela-

tions futures et des représentants seront désignés au sein de chacune de deux organisations. Ce que propose le projet de résolution J, c'est de mettre en route le processus. Au bout d'un certain temps, des juristes spécialistes du droit international pourront être appelés à se joindre à ce groupe de travail. M. KOVALEVSKY propose aux délégations de faire part de leurs suggestions éventuelles avant de procéder au vote de la résolution. Aucune délégation ne demandant la parole, le Président suggère de passer au point suivant de l'ordre du jour, c'est-à-dire à la présentation des rapports des présidents des Comités consultatifs sur leurs activités depuis la précédente Conférence générale.

7. Longueur et définition du mètre

La parole est donnée à M. P. CLAPHAM, président du Comité consultatif pour la définition du mètre, pour la présentation de son rapport.

Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) s'est réuni au mois de septembre 1992 ; c'était sa première réunion depuis l'adoption de la nouvelle définition du mètre en 1983. Rappelons que la nouvelle définition du mètre est fondée sur une valeur adoptée pour la vitesse de la lumière. La réalisation pratique de l'unité de longueur s'appuie sur des recommandations établies par le CIPM, et la principale tâche du CCDM consistait à réviser ces recommandations — ce que l'on nomme la « mise en pratique » — et en particulier à évaluer s'il convenait d'apporter des modifications à celles-ci.

Tous les laboratoires membres du CCDM réalisent le mètre au moyen d'une ou de plusieurs radiations de lasers asservis choisies dans la liste recommandée par le CIPM. Ces radiations de lasers, lorsqu'elles sont produites dans les conditions spécifiées, ont des valeurs connues de leur fréquence et de leur longueur d'onde qui se situent dans les limites d'incertitude indiquées. Toutefois, au cours des années écoulées depuis que cette liste a été établie, les techniques d'asservissement des lasers se sont améliorées et il est devenu possible de mesurer les valeurs des fréquences avec davantage de précision. Le CCDM a estimé que cette liste ne correspondait plus à ce que l'on pouvait obtenir de mieux, et qu'il convenait de mettre à jour les conditions de fonctionnement, les valeurs numériques et les incertitudes pour toutes les radiations figurant dans la liste. À cet égard je tiens à rendre hommage au rôle important joué par le BIPM pour la diffusion de ce qui est la meilleure pratique en ce qui concerne les techniques d'asservissement des lasers.

Après discussion des bases en vue d'une révision, le CCDM a chargé un groupe de travail d'en mettre au point les détails. Avant la fin de la session, les valeurs numériques des deux radiations principales avaient été établies, mais il ne restait pas suffisamment de temps pour établir la liste dans sa totalité. Le CCDM a donc donné à son groupe de travail des instructions précises pour lui permettre d'achever sa tâche par correspondance et d'aider le BIPM dans la préparation définitive du texte. Tous les membres du CCDM ont exprimé leur accord avec le document achevé au mois de mai 1993 ; après approbation par le CIPM, la version révisée de la mise en pratique a été publiée dans le numéro de janvier 1994 de *Metrologia*. Il est sans doute important de souligner que les valeurs révisées des fréquences se situent toutes dans les limites d'incertitude citées avec les valeurs données en 1983, en sorte que les laboratoires ne devraient pas constater de discontinuité dans leurs étalons de longueur.

Les bases de révision des valeurs des fréquences étaient fondées sur les nouvelles valeurs obtenues lors de mesures de la chaîne de fréquence des lasers à hélium-néon asservis sur le méthane (88 THz, 3,39 μm) et des lasers à hélium-néon asservis sur l'iode (473 THz, 633 nm). Ces résultats ont été

confirmés par deux mesures de la constante de Rydberg, l'une fondée sur un étalon au méthane et l'autre sur un étalon à l'iode. La différence entre les deux valeurs obtenues pour la constante de Rydberg était d'un ordre de grandeur inférieure à leur incertitude (3×10^{-11}).

Les incertitudes associées aux valeurs recommandées pour les fréquences pouvaient être réduites par suite des améliorations apportées au fonctionnement des lasers asservis. Pour le système asservi sur le méthane, un type de laser a été mis au point dans lequel la structure hyperfine du méthane est résolue et dans lequel les molécules lentes servent préférentiellement de référence, de telle sorte que l'effet Doppler de second ordre est très faible. Pour des lasers de ce type l'incertitude-type relative a été estimée à 3×10^{-12} . Pour le système asservi sur l'iode, de nombreuses comparaisons de lasers effectuées par le BIPM ont montré que l'on obtient un accord bien meilleur lorsque les conditions de fonctionnement de ces lasers sont voisines du centre des domaines spécifiés en 1982. En ajustant les tolérances sur ces conditions, on estime maintenant que l'incertitude-type relative du laser dans le rouge (473 THz) est de $2,5 \times 10^{-11}$. Il s'ensuit que pour les deux systèmes, asservi sur l'iode et asservi sur le méthane, l'incertitude a été réduite d'un facteur voisin de douze.

Le CCDM a également ajouté trois nouvelles radiations de laser à la liste des radiations recommandées, deux avec asservissement sur l'iode et une avec asservissement sur un jet atomique de calcium. Il y a maintenant huit radiations de lasers recommandées en plus de l'ancien étalon au krypton-86. Ces étalons se répartissent en trois catégories :

- 1) ceux qui assurent la continuité avec une précédente définition ;
- 2) ceux qui ne sont pas fréquemment utilisés pour les mesures de longueur, mais qui constituent des références importantes pour les chaînes de mesure de fréquence ;
- 3) ceux qui sont très utilisés en métrologie de haute exactitude.

Compte tenu des progrès constants effectués dans la mise au point de nouveaux lasers ou de procédés d'asservissement, comme ceux qui font appel à la spectroscopie hétérodyne ou qui sont fondés sur le piégeage d'atomes ou d'ions, il deviendra peut-être nécessaire de réduire le nombre des étalons de cette troisième catégorie afin de maintenir cette liste dans des limites raisonnables.

Le CCDM s'est également intéressé à divers aspects de la métrologie des longueurs en mécanique. Les résultats de la comparaison d'étalons d'angle qui s'est achevée en 1986, et dont il a été rendu compte à la 19^e Conférence générale, ont été officiellement présentés à cette session. Il a été convenu d'entreprendre une comparaison restreinte de cales étalons, afin de faire le lien entre une comparaison déjà en cours dans le cadre d'EUROMET et les régions d'Europe centrale, d'Europe de l'Est, d'Amérique du Nord et d'Asie/Pacifique. Afin d'établir des priorités et de coordonner le travail futur des comparaisons internationales d'étalons mécaniques de longueur, un Groupe de travail sur la métrologie dimensionnelle a été créé ; il comporte des représentants de chacune des organisations régionales de métrologie actuellement en activité.

Enfin, le CCDM a discuté du programme de travail du BIPM dans le domaine des longueurs ; il a souligné l'importance de nouvelles comparaisons internationales de lasers asservis, en particulier pour les lasers dont les radiations viennent d'être introduites dans la liste révisée de la mise en pratique. De nouvelles recherches ont été préconisées pour élucider les problèmes de contamination dans les cellules d'absorption à iode. Le BIPM a indiqué que les demandes faisant appel à ses installations d'étalonnage de règles à traits et d'étalons à bout de grande longueur sont rares, et le CCDM a envisagé que le BIPM abandonne progressivement ce type d'activités.

Il ne me semble pas nécessaire que le CCDM se réunisse dans un proche avenir. Le nouveau Groupe de travail sur la métrologie dimensionnelle devrait assurer la coordination des comparaisons et servir de centre d'échange d'informations. Le BIPM poursuivra sa tâche essentielle de coordonnateur des comparaisons internationales de fréquences de lasers dans la mesure où davantage de laboratoires suivront les recommandations de la nouvelle mise en pratique. Cependant, il est instamment demandé aux laboratoires nationaux de poursuivre leurs efforts de recherche sur de nouveaux étalons de fréquence et sur les techniques de comparaison car il n'y a aucun doute que la demande d'une exactitude toujours plus grande des mesures de longueur va se poursuivre.

À la fin de son rapport, M. CLAPHAM rend hommage au BIPM et à son personnel pour la qualité du travail accompli et annonce que d'ici deux ans de nouvelles longueurs d'onde pourraient être ajoutées à la liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre. Il donne lecture du projet de résolution D sur la révision de la mise en pratique de la définition du mètre.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité consultatif pour la définition du mètre pour son rapport sur les travaux accomplis depuis la précédente Conférence générale et demande s'il y a des commentaires.

M. VAUCHER, au nom de la délégation suisse, félicite la section des longueurs du BIPM pour son excellent travail. Ayant eu l'occasion de participer à plusieurs comparaisons internationales, il a beaucoup apprécié ce travail. La comparaison préliminaire réalisée sous les auspices d'EUROMET, qui s'est achevée en 1994, s'est avérée très satisfaisante et profitable pour tous les participants. Le rapport sera distribué prochainement aux membres du CCDM.

8. Masse et grandeurs apparentées : la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme

M. K. IZUKA, président du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, présente le rapport suivant.

Depuis la 19^e Conférence générale en 1991, le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) s'est réuni une fois : il a tenu sa 5^e session en 1993. Les six groupes de travail réorganisés lors de la 4^e session en 1988 et le Club des balances (non officiel) créé lors de cette même session ont poursuivi leurs activités respectives. Un nouveau Groupe de travail *ad hoc* sur la constante d'Avogadro a été créé en 1994. Le présent rapport donne un résumé des principales activités de ces groupes ainsi que des travaux correspondants effectués par la section des masses du BIPM.

Troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme

Faisant suite à la deuxième vérification effectuée entre 1946 et 1953, la décision d'effectuer la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme a été officiellement prise par la Résolution 1 de la 18^e Conférence générale en 1987 ; elle a débuté au mois de septembre 1988 et s'est achevée à l'automne 1992. La vérification* a comporté deux étapes :

- 1) comparaison du prototype international du kilogramme à ses six témoins et aux prototypes du BIPM ;

* Le terme *vérification* correspond à une opération que l'on appellerait aujourd'hui *étalonnage* ; il est toutefois employé ici pour assurer la continuité avec la première (1899-1911) et la deuxième (1946-1953) vérifications.

2) comparaison des prototypes nationaux à deux des témoins.

Le nombre des prototypes vérifiés est de quarante, dont trente-quatre prototypes nationaux, un appartenant à l'Académie des sciences de Paris et cinq de fabrication récente, non encore attribués.

Les détails des opérations et les résultats de cette vérification sont donnés dans le rapport publié dans les *Procès-verbaux du CIPM* (1993, **61**, G1-G34) et dans *Metrologia* (1994, **31**, 317-336). Je n'en présente ici qu'un bref résumé.

Travail préliminaire

Ainsi qu'il a été indiqué lors de la 19^e Conférence générale en 1991, une étude approfondie a été entreprise sur les variations de la masse des prototypes en platine iridié après leur nettoyage et lavage. Dans une expérience préliminaire, le BIPM a comparé la masse du prototype international à celle de deux étalons de travail dont la masse a été considérée comme effectivement constante durant une période de six mois. Cette expérience a montré qu'il y a une lente variation de la masse du prototype international, après nettoyage-lavage, à raison de + 0,036 8 µg/d. Le CIPM a donc décidé que la masse du prototype international dont il serait tenu compte pour la troisième vérification serait sa masse juste après le nettoyage et le lavage selon le procédé du BIPM et que la valeur de cette masse serait obtenue par extrapolation. Il fut décidé en outre que la masse des prototypes nationaux du kilogramme serait une première fois déterminée dans les conditions de leur réception et puis après leur nettoyage-lavage selon le procédé du BIPM, le résultat de cette dernière mesure étant retenu comme résultat de la vérification.

Comparaisons des prototypes avec le prototype international et vérification des prototypes nationaux ; résumé de la procédure adoptée

Les six témoins et quatre étalons de travail appartenant au BIPM ont été comparés directement au prototype international au moyen de la balance NBS-2 à trois reprises, d'abord avant la vérification des quarante prototypes, ensuite à mi-parcours de la vérification et enfin après la vérification.

Les quarante prototypes ont été répartis en quatre groupes de dix et ont été vérifiés, groupe après groupe, à l'aide de la balance NBS-2, par rapport à deux témoins du prototype international, de la façon suivante :

- 1) Les prototypes de chaque groupe de dix ont été comparés dans l'état de leur arrivée au BIPM à deux étalons en platine iridié appartenant au BIPM.
- 2) Ces dix prototypes ainsi que les deux témoins ont été nettoyés et lavés à peu près à la même date, juste avant les comparaisons. On a admis que la masse de tous ces prototypes augmente au même rythme, immédiatement après le nettoyage-lavage, et que les différences de masse observées entre les prototypes étaient donc les mêmes qu'à la date commune du nettoyage-lavage. Après nettoyage-lavage, dix prototypes ont été comparés entre eux et à deux des témoins dans une série de mesures très redondantes.

Les variations de la masse des deux témoins étaient contrôlées en la comparant à celle de deux étalons de travail du BIPM qui avaient été nettoyés pour la dernière fois en 1978 et qui ne l'ont pas été pendant toute la troisième vérification. La totalité des résultats a été traitée par la méthode des moindres carrés en prenant la masse du prototype international du kilogramme comme égale à 1 kg exactement.

Résultats de la troisième vérification périodique

La masse de chaque prototype national déterminée, selon la méthode indiquée, juste après nettoyage-lavage est donnée au Tableau II du rapport sur

Extrait de *BIPM Proc.-verb. CIPM*, 1993, **61**, G 9.

TABLEAU II

*Résultats de la troisième vérification périodique
des prototypes nationaux du kilogramme
(mai 1989 - octobre 1992)*

Prototype international		⌘	1 kg		
Témoins	K1	1 kg + 0,135 mg		n° 32	1 kg + 0,139 mg
	n° 7	1 kg - 0,481 mg		n° 43	1 kg + 0,330 mg
	n° 8 (41)	1 kg + 0,321 mg		n° 47	1 kg + 0,403 mg
Prototypes du BIPM		n° 25	1 kg + 0,158 mg		
		n° 9	1 kg + 0,312 mg		
		n° 31	1 kg + 0,131 mg		
Prototypes nationaux et autres prototypes	n° 2	Roumanie			1 kg - 1,127 mg
	n° 5	Italie			1 kg + 0,064 mg
	n° 6	Japon			1 kg + 0,176 mg
	n° 12	Féd. de Russie			1 kg + 0,100 mg
	n° 16	Hongrie			1 kg + 0,012 mg
	n° 18	Royaume-Uni			1 kg + 0,053 mg
	n° 20	É.-U. d'Amérique			1 kg - 0,021 mg
	n° 21	Mexique			1 kg + 0,068 mg
	n° 23	Finlande			1 kg + 0,193 mg
	n° 24	Espagne			1 kg - 0,146 mg
	n° 34	Académie des sciences de Paris			1 kg - 0,051 mg
	n° 35	France			1 kg + 0,189 mg
	n° 36	Norvège			1 kg + 0,206 mg
	n° 37	Belgique			1 kg + 0,258 mg
	n° 38	Suisse			1 kg + 0,242 mg
	n° 39	Rép. de Corée			1 kg - 0,783 mg
	n° 40	Suède			1 kg - 0,035 mg
	n° 44	Australie			1 kg + 0,287 mg
	n° 46	Indonésie			1 kg + 0,321 mg
	n° 48	Danemark			1 kg + 0,112 mg
	n° 49	Autriche			1 kg - 0,271 mg
	n° 50	Canada			1 kg - 0,111 mg
	n° 51	Pologne			1 kg + 0,227 mg
	n° 53	Pays-Bas			1 kg + 0,121 mg
	n° 54	Turquie			1 kg + 0,203 mg
	n° 55	Rép. féd. d'Allemagne			1 kg + 0,252 mg
	n° 56	Afrique du Sud			1 kg + 0,240 mg
	n° 57	Inde			1 kg - 0,036 mg
	n° 58	Egypte			1 kg - 0,120 mg
	n° 60	Rép. pop. de Chine			1 kg + 0,295 mg
	n° 65	Rép. slovaque			1 kg + 0,208 mg
	n° 66	Brésil			1 kg + 0,135 mg
	n° 68	Rép. pop. dém. de Corée			1 kg + 0,365 mg
	n° 69	Portugal			1 kg + 0,207 mg
	n° 70	Rép. féd. d'Allemagne			1 kg - 0,236 mg
	n° 71	Israël			1 kg + 0,372 mg
	n° 72	Rép. de Corée			1 kg + 0,446 mg
	n° 74	Canada			1 kg + 0,446 mg
	n° 75	Hong Kong			1 kg + 0,132 mg
	n° 3	Espagne			1 kg + 0,077 mg
	n° 62	Italie (IMGC)			1 kg - 0,907 mg
	n° 64	Rép. pop. de Chine			1 kg + 0,251 mg

la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1993, **61**, G9) reproduit à la page 79 du présent rapport. La variation de la masse des prototypes vérifiés en 1889 par rapport au prototype international va de $-44 \mu\text{g}$ à $+69 \mu\text{g}$, en mettant à part ceux qui présentent une quelconque anomalie. La valeur de la masse de chaque prototype est déduite de tous les résultats avec un écart-type statistique (incertitude de type A) de $0,35 \mu\text{g}$ à $0,65 \mu\text{g}$ selon le nombre des comparaisons auxquelles il a participé et l'incertitude composée pour la valeur de cette masse est de $2,3 \mu\text{g}$ (avec 12 degrés de liberté).

Étalons de masse

Comparaisons internationales d'étalons secondaires

Ainsi qu'il a été dit lors de la 19^e Conférence générale, le Groupe de travail sur les étalons de masse a diffusé un questionnaire portant sur les étalons secondaires, qui a confirmé un intérêt très large pour une comparaison internationale d'étalons secondaires de 1 kg. Le groupe de travail a donc décidé d'entreprendre cette comparaison aussitôt après l'achèvement de la troisième vérification des prototypes nationaux. Cette comparaison internationale fait appel à deux paires d'étalons de transfert, la préparation est terminée. Douze laboratoires, dont certains participent à d'autres comparaisons du même type sur un plan régional, y prennent part. On espère en tirer des informations utiles sur l'incertitude obtenue dans les laboratoires nationaux.

Effets du nettoyage et contamination de la surface des étalons en platine iridié et en acier inoxydable

L'effet de différentes méthodes de nettoyage, y compris le nettoyage par ultrasons, sur la surface d'étalons en platine iridié, a fait l'objet d'études détaillées faisant appel à des procédés de caractérisation de leur surface, tels que la spectroscopie des photoélectrons émis sous l'effet des rayons x, la microscopie par électrons Auger et l'ellipsométrie, et on a identifié certaines substances contaminantes. Une étude du même type a été faite sur l'effet du nettoyage (y compris par traitement thermique) et sur la contamination d'échantillons en acier inoxydable. Le National Physical Laboratory (NPL, Royaume-Uni) a récemment suggéré que la méthode utilisant les rayons ultraviolets et l'ozone convient tout à fait au nettoyage du platine iridié.

Influence des conditions ambiantes sur les étalons en platine iridié et en acier inoxydable

Bien avant et pendant la troisième vérification des prototypes nationaux, le BIPM a étudié l'influence de la variation des conditions ambiantes (humidité, température et pression) sur la masse des prototypes en platine iridié. L'étude a été faite en utilisant la balance FB-1 mise au point au BIPM. Une étude analogue de ces effets sur les étalons en acier inoxydable a été faite à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Allemagne) en utilisant principalement l'ellipsométrie comme technique d'analyse de la surface. Au cours de pesées dans le vide, on a décelé un accroissement irréversible de la masse ; on a pensé que cette contamination pouvait être due à l'huile des joints de la pompe turbomoléculaire utilisée pour faire le vide dans la chambre de pesée.

Au NPL et au National Research Laboratory of Metrology (NRLM, Japon) on a observé une contamination par le mercure sur des échantillons propres en platine iridié, bien que la quantité de mercure présente dans l'air ait été bien inférieure à la limite de sécurité ; il semblerait donc nécessaire de contrôler la contamination par le mercure dans les laboratoires des mesures de masse.

Contrôle de la stabilité des étalons de masse

Les résultats de la troisième vérification des prototypes nationaux ont soulevé des questions importantes concernant la stabilité à long terme du prototype international et de ses témoins. Le CCM s'intéresse donc tout particulièrement aux progrès effectués dans divers laboratoires pour trouver des méthodes indépendantes permettant de contrôler la stabilité des étalons de masse en se référant à des constantes fondamentales ou atomiques. En conséquence, le CCM a adopté en 1993 une recommandation tendant à encourager les laboratoires nationaux à mettre au point une méthode pour contrôler la stabilité des étalons de masse actuels, méthode qui pourrait ouvrir la voie à une nouvelle définition du kilogramme. Cette recommandation a été approuvée par le CIPM et elle est maintenant soumise à la présente Conférence générale comme projet de résolution E.

Balances

La mise au point d'une nouvelle balance à suspensions flexibles au BIPM en vue de remplacer ultérieurement la balance NBS-2 progresse correctement. Les propriétés anélastiques des matériaux des suspensions flexibles (Be-Cu et silicium) et le comportement des pivots ont fait l'objet d'analyses précises. Quelques autres laboratoires travaillent à la mise au point de nouvelles balances du même type, certaines d'une capacité supérieure. La PTB fait des recherches sur l'effet de la convection à l'intérieur de la balance, confirmant que c'est l'uniformité de la température qui impose la limite ultime de l'exactitude des comparaisons de masses.

Divers

Un nouvel instrument ultra-sensible pour déterminer la susceptibilité magnétique et l'aimantation rémanente des étalons de masse a été mis au point au BIPM. Des susceptibilités de l'ordre de 10^{-5} ont été mesurées avec une incertitude relative inférieure à 5 %. Ailleurs un certain nombre d'études ont été faites : sur la désorption des gaz à la surface d'échantillons en platine iridié, sur l'efficacité des essais de corrosion pour les matériaux servant à fabriquer des étalons de masse, sur la relation entre la désorption de gaz et le traitement de surface et sur la stabilité des étalons de masse constitués de divers matériaux.

Masse volumique

Compilation d'une table pour la masse volumique de l'eau

Une des tâches importantes du Groupe de travail sur la masse volumique a été de compiler les données récentes relatives à la masse volumique de l'eau pure, sans air, en prenant le SMOW (Standard Mean Ocean Water) comme référence de composition isotopique et de dresser une nouvelle table de masse volumique. Les participants à ce groupe de travail et le BIPM ont fait des recherches approfondies sur les facteurs qui influencent la masse volumique. Le NRLM et le Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO, Australie) ont achevé leurs mesures de la masse volumique absolue et du coefficient de dilatation thermique de l'eau et un groupe créé au sein du groupe de travail prépare la rédaction d'une nouvelle table de masse volumique avec une incertitude relative de l'ordre de 1×10^{-6} .

Masse volumique de l'air

La formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide adoptée par le CIPM en 1981 a été révisée pour tenir compte du réajustement intervenu en 1986 des valeurs des constantes fondamentales et de l'Échelle

Internationale de Température de 1990. La formule modifiée a été approuvée par le CIPM (Recommandation G 1 (1991) du CCM) et publiée dans *Metrologia* (1992, **29**, 67-70). La détermination directe de la masse volumique de l'air a fait l'objet de recherches dans quelques laboratoires et une comparaison est en cours au niveau régional.

Masse volumique du mercure

Le mercure reste un liquide dont l'utilisation joue un rôle important en métrologie des pressions. Les participants au CCM considèrent qu'il est nécessaire qu'au moins quelques laboratoires dans le monde soient toujours en mesure de comparer la masse volumique de divers échantillons de mercure. Il est également souhaitable de déterminer la masse volumique absolue du mercure avec une incertitude-type relative de quelques 10^{-7} (Recommandation G 2 (1991) du CCM).

Force

Mesure de grandes forces

Comme cela a déjà été mentionné devant la 19^e Conférence générale, de nombreuses comparaisons internationales d'étalons de force ont été effectuées au cours des vingt dernières années. L'intérêt du groupe de travail est maintenant centré sur les étalons pour des forces supérieures à 1 MN ; l'incertitude des étalons réalisés au moyen des machines à masse suspendue et des machines à multiplication hydraulique a été étudiée grâce à des comparaisons faisant appel à des étalons de transfert à jauge de contrainte. Un système dit « pyramidal » (utilisant en parallèle trois dynamomètres à jauge de contrainte) a été largement étudié et on peut maintenant faire des mesures jusqu'à 30 MN avec une incertitude de l'ordre de 1×10^{-4} .

Incertitude des dynamomètres à jauge de contrainte

Les problèmes posés par l'évaluation de l'incertitude des dynamomètres à jauge de contrainte ont constitué l'un des principaux sujets étudiés par le groupe de travail. On a fait remarquer qu'il faudrait davantage tenir compte des phénomènes d'hystérésis. De plus, de nouvelles méthodes pour évaluer l'incertitude des étalons de force et des machines étalons devraient être élaborées. Dans ce contexte, il a été longuement discuté de la façon d'accréditer les laboratoires d'étalonnage de dynamomètres.

Hautes pressions

Le Groupe de travail sur les hautes pressions a organisé au Laboratoire national d'essais (BNM-LNE, France), à Paris, en juin 1993, le second séminaire international sur la métrologie des pressions de 1 kPa à 1 GPa. Il y avait une soixantaine de participants provenant de vingt-quatre pays ; quarante-neuf communications ont été présentées et publiées dans un numéro spécial de *Metrologia* (1994, **30**, n° 6).

Suite à la comparaison internationale de mesures de pression dans un milieu liquide de 20 MPa à 100 MPa qui s'est déroulée avec succès, une nouvelle comparaison allant jusqu'à 500 MPa est en préparation. Dans ce domaine de pression (en fait de 100 MPa à 700 MPa ou même jusqu'à 1 GPa), des laboratoires européens ont déjà procédé avec succès en 1992 à une comparaison internationale dans le cadre d'EUROMET. Le groupe de travail a décidé de commencer une comparaison semblable dans la région Asie et l'Amérique du Nord avec le NRLM comme laboratoire pilote.

En coopération avec le Groupe de travail sur les pressions moyennes et basses, le groupe de travail étudie la possibilité d'organiser une comparaison internationale de mesures de pression relative en milieu gazeux jusqu'à 1 MPa. Une comparaison préliminaire entre un nombre limité de laboratoires est en cours à l'aide de balances de pression de deux types utilisées comme étalons de transfert ; l'une d'elles sera utilisée pour la comparaison complète dans un proche avenir. Le domaine de pression pourrait être étendu éventuellement jusqu'à 7 MPa.

Moyennes pressions

La comparaison internationale dans le domaine allant de 10 kPa jusqu'à 140 kPa au moyen d'une balance de pression à gaz utilisée comme étalon de transfert s'est poursuivie, avec le NPL comme laboratoire pilote. Jusqu'à maintenant, douze laboratoires appartenant à neuf pays, dont le BIPM, ont terminé leurs mesures et les résultats publiés dans *Metrologia* (1994, **30**, 705-709) indiquent que la comparaison a été couronnée de succès et utile, bien que l'on constate des différences systématiques excédant nettement l'incertitude estimée par certains laboratoires. Cette comparaison sera éventuellement étendue à cinq autres participants.

Basses pressions

La comparaison internationale qui est envisagée pour les pressions entre 1 Pa et 1 kPa a été compromise par l'instabilité de l'étalon de transfert, une jauge à diaphragme et à condensateur. Un nouveau groupe de jauges est en cours d'étude au National Institute of Standards and Technology (NIST, É.-U. d'Amérique), laboratoire pilote pour cette comparaison.

En ce qui concerne les étalons aux très basses pressions, le groupe de travail a décidé de faire une comparaison internationale dans le domaine de 3×10^{-7} Pa à 10^{-3} Pa. En tant que laboratoire pilote, la PTB a préparé l'appareillage de transfert qui comprend deux types de jauges d'ionisation et une jauge à rotor libre. Un premier essai de comparaison a été fait avec le NIST et le NPL. Les résultats sont actuellement à l'étude et la comparaison sera étendue à d'autres laboratoires dans l'avenir.

Le groupe de travail a examiné les nouvelles comparaisons que l'on peut envisager concernant des basses pressions différentielles et des mesures de pressions partielles. Les décisions ont été reportées à une prochaine réunion.

Mesure de l'humidité

Lors de la 5^e session du CCM en 1993, en raison de l'importance de la mesure des conditions ambiantes pour les mesures de précision de masse et d'autres grandeurs, il a été proposé de constituer un nouveau groupe de travail pour les mesures de l'humidité. La première réunion de ce groupe de travail s'est tenue les 18 et 19 juillet 1994 à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC, Italie), à l'issue de laquelle il a été décidé, après discussion, de préparer une comparaison internationale de mesures de l'humidité. Après la réunion, le CIPM a décidé de transférer ce groupe de travail du CCM au Comité consultatif de thermométrie (CCT), en raison de la nature des problèmes scientifiques qui risquent de se poser dans ses travaux à venir.

Constante d'Avogadro

Disposer d'une valeur plus exacte de la constante d'Avogadro serait une amélioration déterminante pour calculer les valeurs des constantes fondamentales. Plusieurs laboratoires font des efforts pour déterminer à nouveau cette constante en reliant des propriétés physiques et chimiques d'un mono-

cristal de silicium aux étalons primaires de longueur, de masse et de quantité de matière. Comme il est nécessaire qu'un certain nombre de laboratoires de métrologie et de chimie collaborent étroitement pour parvenir au but et effectuent cette nouvelle détermination, il a été proposé, à la 83^e session du CIPM en 1994, de créer un groupe de travail comportant des experts dans les aspects particuliers de ce travail et il a été convenu de mettre sur pied un Groupe de travail *ad hoc* sur la constante d'Avogadro dans le cadre du CCM. La première réunion de ce groupe s'est tenue au mois de mars 1995, au BIPM. Il a été convenu de rechercher les possibilités d'améliorer la mesure et l'évaluation de certains paramètres clés qui entrent dans la détermination de cette constante, comme la masse volumique macroscopique, la constante réticulaire, la masse molaire, l'homogénéité du cristal, au niveau le plus élevé des connaissances scientifiques expérimentales actuelles, en visant une incertitude relative globale qui ne devrait pas dépasser quelques 10^{-8} .

À la fin de son rapport, M. IZUKA donne lecture du projet de résolution E sur le contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées pour son rapport sur les travaux accomplis depuis la précédente Conférence générale et demande s'il y a des commentaires.

Une discussion s'engage entre M. IZUKA et M. VAUCHER, de la délégation suisse, sur l'accreditation des laboratoires de mesure des forces. Pour le moment, le CCM n'est parvenu à aucune conclusion définitive sur ce point, en raison de la difficulté d'obtenir un niveau d'exactitude uniforme pour les machines de mesure de force. Le groupe de travail sur les forces devra étudier comment réaliser des étalons appropriés et comment étalonner des machines de mesure de force avant de formuler une recommandation.

9. La seconde et le Temps atomique international

M. J. KOVALEVSKY, président du Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), présente le rapport suivant.

La seconde et le Temps atomique international

La seconde se distingue de la plupart des autres unités du SI par le fait qu'il ne peut pas exister de matérialisation d'un étalon. Ce qui est créé dans les laboratoires primaires, c'est une fréquence « étalon » réalisée en conformité, autant que faire se peut, avec celle qui définit la seconde. Mais il faut aussi disséminer la seconde. Ceci se fait en construisant des échelles de temps : des étalons de fréquence asservissent une horloge locale qui fournit une échelle de temps locale fondée sur la définition de la seconde.

De fait, le problème fondamental de la métrologie du temps est d'avoir une échelle de temps unique à laquelle tous les laboratoires peuvent avoir accès et, par suite, contrôler les indications de leurs horloges ou des échelles de temps locales. L'objectif du BIPM est de construire cette échelle de temps, appelée Temps atomique international (TAI), en lui assurant à la fois l'exactitude de son intervalle de temps unitaire, une stabilité aussi bonne que possible et une sûreté absolue de continuité de service. Pour atteindre ces objectifs, il faut se fonder sur un grand nombre d'horloges indépendantes et les comparer fréquemment à distance. C'est ce problème qui a été au centre des travaux du CCDS, lors de la réunion qu'il a tenue en mars 1993, car il est essentiel dans la construction du TAI. Il ne faut cependant pas négliger aussi le problème de l'exactitude de l'échelle par rapport à la définition de la seconde. C'est par là que nous commencerons cet exposé.

Étalons primaires de fréquence

Pendant une dizaine d'années, l'exactitude du TAI a été fondée presque exclusivement sur deux horloges primaires de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Allemagne). La Résolution 1 de la 19^e Conférence générale attirait entre autres l'attention des laboratoires sur la nécessité de construire de nouveaux étalons de fréquence. Cet appel a été entendu et, d'ailleurs, certains laboratoires avaient commencé à travailler avant 1991. Cependant, il s'agit d'appareils extrêmement complexes et délicats, dont le coût est tel qu'il implique pour les pays de faire un effort exceptionnel. D'autre part, et pour les mêmes raisons, la construction, les essais et les mises au point avant que l'étalon ne devienne opérationnel, prennent beaucoup de temps. La situation en 1995 est pourtant assez différente de celle d'il y a quatre ans : plusieurs nouveaux étalons ont été construits en Allemagne, en France et aux États-Unis, et sont actuellement étudiés. L'étalon NIST-7, en particulier, a fourni plusieurs résultats au BIPM ; le National Institute of Standards and Technology (NIST, É.-U. d'Amérique) estime que son exactitude relative est de 1×10^{-14} , du même ordre que celle des étalons PTB-CS1 et CS2. Notons que les résultats de l'étalon NIST-7 sont corrigés du décalage de fréquence dû au rayonnement de corps noir à l'intérieur de la cavité des étalons. Cela n'a jamais été le cas pour les étalons PTB-CS1 et CS2. Cette correction, dont la théorie est bien connue, mais qui est difficile à déterminer expérimentalement, dépend de la géométrie de la cavité et de l'environnement thermique des atomes de césium. Cependant la définition même de la seconde implique que la transition de l'atome de césium doit être non perturbée par les champs extérieurs. Le CCDS avait étendu en 1985 cette exigence à toutes les perturbations, y compris celles dues au rayonnement. C'est un problème qui est actuellement étudié par le CCDS. Si l'on décide, comme cela est très probable, suite à l'avis exprimé par le Groupe de travail du CCDS sur le TAI, de ramener les mesures à ce qu'elles seraient à 0 K, il sera alors nécessaire de faire dériver l'intervalle unitaire du TAI d'une quantité de l'ordre de 2×10^{-14} s par rapport à la réalisation précédente de la seconde du SI. Ceci signifiera aussi que les incertitudes précédemment attachées à ces étalons sont peut-être sous-estimées.

Le CCDS a toujours recommandé qu'on étudie et qu'on réalise d'autres configurations d'étalons primaires de fréquence et a réitéré cette recommandation en 1993. La voie la plus prometteuse à présent est la construction d'une horloge à fontaine d'atomes de césium refroidis dont on espère une exactitude relative de l'ordre de 10^{-15} à 10^{-16} . Un prototype est actuellement en essais préliminaires à Paris à l'École normale supérieure (ENS, France) et au Laboratoire primaire du temps et des fréquences (BNM-LPTF, France) et d'autres laboratoires travaillent sur ce sujet. La largeur des franges de Ramsey a pu être diminuée par un facteur 50. Cette amélioration de la précision et de l'exactitude des étalons primaires impliquera une prise en compte beaucoup plus fine qu'à présent des effets de la relativité générale, tant dans l'évaluation de la fréquence fournie par les étalons que dans la réduction des données de comparaisons d'horloges à distance. Au niveau de précisions relatives de l'ordre de 10^{-16} , il faudra tenir compte des termes du second ordre dans la théorie et dans l'expression des potentiels. Ceci va poser des problèmes nouveaux et, à cet effet, le CIPM a approuvé la création par le CCDS d'un Groupe de travail sur les applications de la relativité générale à la métrologie. Il devra entre autres préciser la signification des mesures dans le cadre de cette théorie et, d'une façon plus générale, indiquer à partir de quelles précisions il conviendra d'apporter un traitement relativiste des mesures en métrologie. Une définition plus rigoureuse du TAI devra être donnée. D'ores et déjà, une étude faite au BIPM sur l'application de la théorie de la relativité générale aux comparaisons d'horloges distantes au voisinage de

la Terre avec une exactitude de l'ordre de la picoseconde a été publiée et une première rédaction du rapport du groupe de travail a été préparée.

Notons que dans plusieurs laboratoires, des études se poursuivent sur l'utilisation d'oscillateurs fondés sur d'autres transitions, utilisant notamment le magnésium, le mercure ou l'ytterbium. Enfin, de nombreux travaux continuent à être faits sur les masers à hydrogène.

Comparaison des échelles de temps

La comparaison entre les échelles de temps locales, établies par divers services de temps, se fait maintenant presque exclusivement à l'aide du GPS (Global Positioning System). Ces centres, au nombre de quarante-cinq, sont équipés de récepteurs GPS et observent les satellites suivant un programme régulièrement établi par le BIPM. La plupart des sessions entre les centres situés dans la même région du globe se font par vue simultanée, ce qui a pour avantage d'enlever le bruit dans les signaux de temps, volontairement introduit pour des raisons de sécurité militaire (accès sélectif, SA). Les liaisons entre réseaux et la fermeture sont assurées par des liens à longue distance entre l'Observatoire de Paris (OP, France), le NIST à Boulder (É.-U. d'Amérique) et le Communications Research Laboratory à Tokyo (CRL, Japon). Un grand effort a été fait pour assurer le positionnement des antennes réceptrices des stations dans le système géodésique international de référence (ITRF) en utilisant, en particulier, les résidus de comparaisons de temps eux-mêmes. Les corrections ionosphériques, nécessitant la réception des deux fréquences émises, ne sont pas encore généralement déterminées. Enfin, un autre facteur d'amélioration a été rendu possible par la création du Service international GPS (IGS) qui fournit les éphémérides précises des satellites avec un délai seulement de quelques jours, éphémérides bien meilleures que celles qui sont transmises par les satellites. Avec les récepteurs GPS les plus modernes, on obtient une précision de l'ordre de 3 ns pour des distances inférieures à 1 000 km et de 5 ns pour des liaisons intercontinentales, à condition de prendre les précautions nécessaires.

En parallèle à l'utilisation du GPS, celle du système analogue russe GLO-NASS (Global Navigation Satellite System), freinée par le manque de récepteurs spécialisés, est en train de se développer. Un programme d'observation de vues simultanées par le BIPM, analogue à celui qui existe pour le GPS, est en train d'être mis en place. Des expériences montrent que la précision obtenue est du même ordre de grandeur.

Cependant, compte tenu de l'amélioration attendue de l'exactitude et de la stabilité du TAI, il est nécessaire d'améliorer l'exactitude des comparaisons d'horloges afin que les résultats soient meilleurs que ceux obtenus à l'aide de la méthode des vues simultanées du GPS. L'expérience LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit) utilisant des tirs laser sur un répondeur situé sur un satellite géostationnaire a donné une précision de 0,2 ns, les erreurs systématiques éventuelles n'étant pas connues. On s'attend toutefois à un niveau d'exactitude meilleur que la nanoseconde. La lourdeur de l'appareillage au sol ne permet pas d'en généraliser l'usage mais cette expérience pourrait être utilisée pour étalonner d'autres techniques. Le transfert de temps par la méthode d'aller et retour sur des satellites de télécommunication est actuellement testé : une campagne de deux ans d'observations régulières en Europe et sur des liaisons transatlantiques a été commencée en 1994. Elle concerne huit stations, six en Europe et deux aux États-Unis, et se déroule trois fois par semaine. Les comparaisons avec les résultats obtenus par le GPS ne font pas apparaître de résidus systématiques, alors que la précision atteinte — un peu inférieure à 2 ns — semble essentiellement limitée par les instabilités des horloges, des modems et des circuits électroniques dus probablement à des effets de température. Il est prévu

que cette méthode deviendra opérationnelle dès 1996 pour un programme à déterminer.

Il est fondamental de varier les méthodes de comparaison d'horloges. Chacune présente nécessairement des erreurs systématiques que l'on ne peut mettre en évidence que par des comparaisons faites à l'aide de plusieurs techniques. Toutes impliquent l'installation à bord de satellites d'équipements, peu encombrants et n'utilisant que peu d'énergie et de télémétrie, d'où un coût marginal par rapport à celui du satellite porteur. La réalisation de telles installations est du ressort des agences spatiales nationales ou internationales. C'est à elles que s'adresse le projet de résolution F. Une telle résolution pourrait aussi faciliter, par son rappel de la Résolution 4 de la 18^e Conférence générale en 1987, les négociations avec les agences responsables des télécommunications internationales comme INTELSAT pour permettre la poursuite opérationnelle des liaisons par aller et retour.

Établissement du TAI

L'établissement du TAI par le BIPM se fait en deux phases. D'abord, par périodes de deux mois, on construit une Échelle atomique libre (EAL) à partir des données provenant de toutes les horloges du réseau. Son rôle est d'assurer la plus grande stabilité possible de cette échelle provisoire à court et moyen terme. Dans un second temps, on corrige la fréquence de l'EAL de manière à assurer l'exactitude de l'unité d'échelle par comparaison avec les étalons de fréquence primaires et, en conséquence, obtenir aussi également une meilleure stabilité à long terme.

Au cours des dernières années, la stabilité du TAI à moyen et à long terme s'est améliorée de presque un ordre de grandeur et atteint actuellement quelques 10^{-15} . Ce résultat a été obtenu grâce à des progrès réalisés dans trois domaines.

- 1) En premier lieu, l'amélioration déjà décrite des procédures de comparaison d'horloges grâce au GPS a permis d'éliminer une grande partie des erreurs de synchronisation. Elle permet aussi d'avoir accès aux qualités propres des horloges pour des intervalles de temps inférieurs à la récurrence de dix jours des données. Ceci a en particulier été possible grâce au fait que les physiciens du BIPM, disposant de récepteurs, ont pu mettre au point les procédures d'observations simultanées et les méthodes de correction de la réfraction ionosphérique. Par ailleurs, disposant de deux horloges atomiques commerciales prêtées par l'US Naval Observatory (USNO, É.-U. d'Amérique) et le constructeur, ce personnel, tout en n'introduisant pas ces horloges dans EAL, a acquis une expertise très précieuse dans son travail.
- 2) En second lieu, des liaisons par GPS ont été établies avec les laboratoires russes qui se servent essentiellement de masers à hydrogène pour construire leur propre échelle de temps. Cela a permis de constater que celle-ci avait une très bonne stabilité et suivait de façon excellente le TAI. C'était une preuve supplémentaire que la stabilité des masers à hydrogène est sensiblement meilleure que celle des horloges à césium sur des périodes allant jusqu'à un mois. L'introduction progressive des masers à hydrogène dans le calcul de EAL a permis de vérifier la stabilité à court terme de cette échelle et, partant, celle du TAI et de l'améliorer lorsqu'on fera le calcul sur des intervalles de temps inférieurs à deux mois. Une autre voie prometteuse est de s'orienter vers des masers actifs auto-asservis qui présentent une très grande stabilité à long terme.
- 3) Enfin, en 1992 est apparu un nouveau type d'horloge commerciale, HP 5071A, dont la stabilité est de l'ordre de quelques 10^{-13} , soit dix fois mieux que les meilleures horloges commerciales précédentes. Le nombre de ces horloges a très rapidement cru et plus du quart des 230 horloges participant actuellement à l'établissement du TAI sont de ce type. Notons cependant que certains effets saisonniers pourraient exister.

Ces progrès incitent la section du temps du BIPM à revoir les algorithmes utilisés pour le calcul de EAL afin de s'adapter à ces nouvelles conditions. On propose de modifier la répartition des poids, d'assurer une contribution plus importante des masers à hydrogène dont une quinzaine contribuent actuellement au TAI et de diminuer l'intervalle entre les temps de transmission des données. De nombreux tests sur données réelles ont été et sont toujours en cours au BIPM. Une éventuelle décision d'évolution des algorithmes sera prise lors de la prochaine session du CCDS prévue en mars 1996.

Pour un avenir plus lointain, il sera peut-être possible d'utiliser les observations de pulsars-milliseconde pour contrôler et, éventuellement, améliorer la stabilité à très long terme (quelques années et plus) des échelles de temps en prenant avantage de la remarquable stabilité du ralentissement de la rotation de ces astres. Le CCDS a encouragé le BIPM à suivre, en liaison avec des observatoires astronomiques, l'évolution des mesures et à se préparer à les utiliser. Il s'agira dans un premier temps de comparer la stabilité du TAI à celle des observations des pulsars. Pour ce faire, le CCDS a demandé que les résultats des mesures de chronométrage de ces pulsars soient communiqués au BIPM.

L'exactitude relative du TAI est, comme indiqué précédemment, essentiellement fondée sur les deux étalons de la PTB et sur l'étalon NIST-7. Si le CCDS décide, lors de sa prochaine session en 1996, que les effets de rayonnement dû au corps noir doivent être systématiquement pris en compte, l'intervalle unitaire du TAI sera décalé de 2×10^{-14} s par rapport à la réalisation précédente de la seconde du SI. Elle est limitée par les effets de rayonnement du corps noir qui ne sont pas toujours pris en compte mais devraient l'être dès la prochaine session du CCDS en 1996. Cependant, pour de nombreux usagers, la stabilité est une propriété plus importante que l'exactitude et, vis-à-vis de ceux-ci, il y a eu un progrès très important, en particulier au cours des deux dernières années. Ces progrès renforcent l'usage du Temps universel coordonné (UTC) — qui est déduit du TAI par une simple correction d'un nombre entier de secondes — comme référence mondiale notamment dans un grand nombre d'applications pratiques. C'est ainsi que le temps transmis par le GPS, dont l'importance commerciale ne fera que croître, est d'ores et déjà étroitement lié à UTC. Des besoins nouveaux apparaissent, notamment dans la navigation aérienne et les télécommunications, qui exigent la poursuite des efforts vers une plus grande exactitude et une meilleure stabilité de l'échelle de temps UTC ainsi que vers une dissémination plus rapide. Ceci justifie, entre autres, le programme de travail de la section du temps du BIPM.

À la fin de son rapport, M. KOVALEVSKY donne lecture du projet de résolution F sur les comparaisons d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité consultatif pour la définition de la seconde pour son rapport sur les travaux accomplis depuis la précédente Conférence générale, qui ne fait l'objet d'aucun commentaire.

10. Étalons électriques

M. D. KIND, président du Comité consultatif d'électricité, présente son rapport, qui ne comporte aucun projet de résolution.

Le Comité consultatif d'électricité (CCE) s'est réuni deux fois depuis la précédente Conférence générale, une première fois en 1992 et la deuxième fois, tout récemment, en juin 1995. Au cours de ces deux sessions, le CCE a discuté des questions relatives aux représentations du volt et de l'ohm fondées respectivement sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique, conformément

aux Recommandations 1 et 2 (CI-1988) du CIPM. C'est pour moi une grande satisfaction de confirmer qu'un important pas en avant a été effectué grâce à l'utilisation des valeurs admises par convention pour la constante de Josephson K_J et pour celle de von Klitzing R_K , ce qui a permis d'obtenir une amélioration considérable de l'harmonisation des valeurs conservées pour les grandeurs électriques. Il est évident que les laboratoires nationaux avaient informé avec soin à l'avance les utilisateurs de la modification qui serait apportée aux valeurs de leurs étalons de référence, modification qui est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1990, et on n'a constaté aucun problème particulier. Lors de la session de 1995 un important sujet a fait l'objet d'une discussion, celui de l'identification des comparaisons internationales clés qui doivent être effectuées pour que leurs résultats puissent servir à démontrer l'équivalence des étalons électriques entre les laboratoires nationaux de métrologie.

Bien que les laboratoires aient été encouragés à faire parvenir au BIPM toute suggestion pour des additions ou des modifications éventuelles à apporter aux *Technical Guidelines for Reliable Measurements of Quantized-Hall Resistance*, rédigées en 1990 par le CCE, aucune n'a été reçue et le CCE en a conclu que pour le moment aucune révision n'est nécessaire. Lors des deux sessions, le CCE s'est penché sur le problème de la fourniture des jonctions de Josephson et des échantillons pour l'effet Hall quantique. Quatre laboratoires nationaux ont déclaré fabriquer des jonctions mais un seulement était en mesure de fournir des jonctions de 1 V. Cette activité a été ultérieurement transférée avec succès à une société privée. Pour ce qui est des échantillons pour l'effet Hall quantique, le BIPM peut fournir aux membres de la Convention du Mètre des échantillons d'arséniure de gallium (GaAs), avec leur monture ou sans monture, provenant des Laboratoires d'électronique Philips (LEP, France). Plusieurs laboratoires nationaux, en particulier l'Office fédéral de métrologie (OFMET, Suisse), le Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM, Danemark) et la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Allemagne) ont fabriqué des échantillons pour l'effet Hall quantique et les ont mis à la disposition d'autres laboratoires. En 1995, EUROMET organise la fabrication d'une seconde série d'échantillons fabriqués par le LEP. À nouveau le BIPM prendra part à cette action et les laboratoires membres du CCE pourront obtenir des échantillons auprès du BIPM.

Un sujet de discussion toujours actuel au sein du CCE est la liaison qui existe entre K_J et R_K et le prototype international du kilogramme, ainsi que la possibilité d'utiliser cette liaison pour contrôler la stabilité de l'unité de masse. Le CCE a discuté de quelques indices qui confirment la relation $R_K = h/e^2 = \mu_0 c / 2\alpha$. Si cette relation s'avère exacte, on peut alors penser que R_K ne dépend pas de l'échantillon. Bien qu'une expérience ait montré que la résistance de Hall quantifiée concordait à 3×10^{-10} près pour des échantillons de Si-MOSFET et des échantillons de GaAs, ce qui confirmait plus précisément des observations faites antérieurement par d'autres groupes, d'autres expérimentateurs ont observé des différences significatives entre ces deux types d'échantillons. Lors de la session de 1995 du CCE, toutefois, des résultats ont été présentés qui montrent que ces différences n'apparaissent que si l'on ne s'est pas strictement conformé aux *Guidelines*. Le CCE est maintenant d'avis qu'il n'existe aucune preuve expérimentale indiquant que la valeur de la résistance de Hall quantifiée pourrait dépendre de l'échantillon utilisé. Il y a maintenant tout lieu de penser que les valeurs et les incertitudes attribuées à K_{J-90} et à R_{K-90} sont raisonnables et cohérentes avec les mesures les plus récentes des constantes physiques fondamentales. Cette observation, jointe à l'absence de relation entre l'échantillon et la résistance de Hall quantifiée et à l'absence d'une quelconque raison théorique pour étayer l'opinion contraire, conduit à la conclusion que la relation $R_K = h/e^2 = \mu_0 c / 2\alpha$ est exacte.

Dans l'étude du projet envisagé de contrôler la stabilité du kilogramme par des moyens électriques, il ne faut pas perdre de vue qu'il faut comparer des masses de 1 kg et que l'unité de masse doit être conservée à court terme avec une incertitude relative d'environ 1×10^{-9} . Sur des périodes de plusieurs décennies, les différences entre des prototypes en platine iridié du kilogramme peuvent atteindre quelques 10^{-8} . Un processus de contrôle devrait être suffisamment exact pour détecter une variation de 1×10^{-8} en moins de cinq ans. De plus, il ne faut pas perdre de vue que bien que la valeur en un lieu donné de l'accélération due à la pesanteur, g , n'intervienne pas dans les comparaisons de masses, elle intervient en revanche dans le cas d'un contrôle fondé sur l'égalité de la puissance électrique et de la puissance mécanique. Des comparaisons gravimétriques effectuées au BIPM ont donné des résultats qui concordent à 1×10^{-8} ou 2×10^{-8} près.

Le CCE a pris connaissance de l'état d'avancement des expériences de la balance du watt effectuées au National Physical Laboratory (NPL, Royaume-Uni) et au National Institute of Standards and Technology (NIST, É.-U. d'Amérique) et de l'expérience de masse supraconductrice en lévitation faite au National Research Laboratory of Metrology (NRLM, Japon). Lors de sa session de 1992 il a décidé de créer un groupe de travail sur les méthodes électriques pour contrôler la stabilité du kilogramme. L'une des tâches de ce groupe de travail est de conseiller le BIPM sur les expériences qui pourraient y être montées pour assurer de façon suivie le contrôle de l'unité de masse. Lors de sa session de 1995, le CCE a pris connaissance d'un rapport de ce groupe de travail dans lequel il s'avère que les études dans les laboratoires nationaux ont avancé plus lentement que prévu. Néanmoins, on espère maintenant que des résultats des expériences faites sur la balance du watt au NIST et au NPL seront présentés à la Conférence on Precision Electromagnetic Measurements qui doit se tenir à Braunschweig en 1996.

Le CCE a passé en revue l'état d'avancement des comparaisons internationales d'étalons électriques organisées par lui-même ou par le BIPM. Il a été déjà rendu compte à la Conférence générale de la comparaison d'étalons de résistance faite par le BIPM en 1990 (*Comptes rendus de la 19^e Conférence générale*, 1991, 61). Le programme du BIPM portant sur les comparaisons d'étalons de tension fondés sur des réseaux de jonctions de Josephson a comporté quatorze comparaisons à 1 V et une à 10 V. Toutes ces comparaisons ont donné des résultats concordant à mieux que 1×10^{-9} près. Le BIPM a commencé un programme analogue de comparaisons d'étalons de résistance de Hall quantifiée faites sur place au moyen d'un dispositif transportable comportant un aimant, un cryostat et un pont de rapport de résistances fonctionnant à basse fréquence. Les résultats des deux premières comparaisons faites dans ces conditions concordent à environ 1×10^{-9} près avec des incertitudes de quelques 10^{-9} .

Dans le cadre du CCE des comparaisons d'étalons de transfert du courant alternatif en courant continu et d'inductance de 10 mH ont été achevées et font l'objet de rapports. En 1992, il a été décidé d'effectuer cinq nouvelles comparaisons, l'une de capacités de 10 pF, une autre de puissance et d'énergie en courant alternatif et trois de dispositifs de transfert du courant alternatif au courant continu. En 1995, il a été question de trois nouvelles comparaisons. Elles concernent des étalons de résistance élevée, des diviseurs inductifs de tension et des rapports de tension.

Les laboratoires nationaux sont de plus en plus sollicités pour apporter la preuve de l'équivalence entre étalons nationaux de mesure. C'est ce problème que le CIPM a abordé, dans le cadre du rôle respectif des organisations régionales de métrologie, du BIPM et des comités consultatifs, dans sa Recommandation 1 (CI-1992), en parlant du « besoin d'une reconnaissance à l'échelle mondiale des résultats de comparaisons d'étalons ». Il est mainte-

nant évident que les comparaisons internationales sur lesquelles doit se fonder l'équivalence des étalons nationaux ne peuvent être effectuées seulement sur une base bilatérale entre laboratoires. Le nombre de comparaisons à faire serait beaucoup trop important. Comme le font d'autres comités consultatifs, le CCE a entrepris de voir comment ces comparaisons devraient être organisées sur une base multilatérale. Au BIPM et dans la plupart des laboratoires nationaux ce sont les mesures électriques qui font l'objet des demandes les plus nombreuses d'étalonnages et de comparaisons. En essayant d'établir un tableau des comparaisons qui pourraient servir à apporter la preuve de l'équivalence des étalons électriques nationaux, le CCE était bien conscient de ce que l'on ne peut comparer tous les étalons à tous les niveaux. Ce qu'il faut, c'est un programme qui se limitera à un petit nombre de comparaisons clés, choisies de façon à apporter la preuve de la compétence des laboratoires dans les principales techniques dans ce domaine. Le CCE, par l'intermédiaire d'un petit groupe de travail créé lors de sa session de 1995, a déjà établi une liste préliminaire de ces comparaisons et a entrepris d'organiser celles qui ne sont pas déjà en cours.

Le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF) poursuit son importante activité de comparaisons internationales. En 1992 et en 1995, il a rendu compte au CCE de l'achèvement de treize comparaisons. Pour cinq autres comparaisons, les mesures sont terminées et les rapports en préparation. Trois comparaisons ont été abandonnées, huit sont encore en cours et huit nouvelles comparaisons ont été proposées et décidées. En 1995, cinq sujets de comparaisons ont été envisagés à la lumière précisément des exigences concernant l'équivalence internationale d'étalons nationaux, comme en a débattu le CCE. Le groupe de travail a discuté de la ligne de conduite à suivre pour l'exécution des comparaisons internationales, des rapports annuels sur l'état d'avancement et des efforts à faire pour coordonner son action avec celle des groupes régionaux de métrologie. Un sous-groupe va préparer la publication d'une liste des comparaisons réalisées au cours des vingt dernières années.

Le fait qu'actuellement les comparaisons internationales jouent un rôle de plus en plus crucial met une fois encore en lumière le rôle clé joué par le CCE dans la métrologie en électricité. Le CCE constitue le seul forum où les experts venant des laboratoires de métrologie du monde entier se retrouvent afin d'étudier les problèmes qui se posent, de faire le point sur les progrès dans le domaine et de prendre des décisions à propos des comparaisons internationales futures. La mise au point d'étalons fondés sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique, loin de réduire la nécessité d'effectuer des comparaisons internationales, a fortement augmenté l'exactitude avec laquelle on peut faire des mesures en électricité et a, par conséquent, entraîné un accroissement de la demande de comparaisons internationales, mais à un niveau beaucoup plus élevé que par le passé. Il ne semble pas que les progrès de la physique qui ont permis ces améliorations aient cessé, et pour l'avenir je prévois encore des évolutions passionnantes qui ne manqueront pas de concerner le CCE.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité consultatif d'électricité pour son excellent rapport, et lui demande dans combien de temps il sera possible de recommander de fonder les unités électriques sur la constante de Hall ou celle de von Klitzing.

M. KIND lui répond que la définition actuelle répond bien aux besoins en matière de reproductibilité. À l'aide des constantes de Josephson ou de von Klitzing, qui sont elles-mêmes liées aux constantes physiques fondamentales et ont la même valeur dans le monde entier, il sera bientôt possible d'obtenir partout le même résultat et les problèmes de reproductibilité seront résolus. Il faudra du temps pour obtenir une exactitude supérieure à celle à laquelle les laboratoires parviennent actuellement, et cela demandera un travail considérable.

11. Température : Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90)

M. L. CROVINI, président du Comité consultatif de thermométrie (CCT), présente son rapport, qui ne comporte aucun projet de résolution.

La nécessité de mesures de température de haute exactitude, traçables à des étalons adoptés au niveau international s'accroît dans le monde entier. Les enquêtes technologiques indiquent un nombre croissant d'applications de la thermométrie, de la pyrométrie et de la thermographie aussi bien pour le contrôle des procédés industriels que pour les essais de matériaux ; en même temps elles signalent une extension du domaine de température de ces applications. Les exigences de la science ne cessent d'augmenter, tout particulièrement en ce qui concerne la physique à des températures inférieures à un kelvin, les propriétés thermiques de la matière aux moyennes et aux hautes températures ou bien la métrologie de base. L'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) s'avère un moyen très efficace pour la réalisation de l'unité de température thermodynamique, le kelvin, et pour sa dissémination aux utilisateurs.

Une partie des activités du CCT a été consacrée au contrôle de la réalisation de l'EIT-90 dans les instituts de métrologie qui participent aux activités du CCT. Les résultats de l'enquête de 1993 indiquaient que presque tous les laboratoires contactés avaient réalisé l'EIT-90 pour les températures supérieures à 84 K. Il est aussi apparu qu'au-dessous de cette température, et en particulier au-dessous de 14 K, aucun d'entre eux n'avait réalisé complètement l'EIT-90 sans interruption jusqu'à 0,65 K, c'est-à-dire la température la plus basse de l'Échelle. Toutefois, l'EIT-90 était disséminée uniformément dans leurs pays en ayant recours aux réalisations secondaires de l'EIT-90 dans les domaines où il y avait des vides dans les réalisations primaires.

De 1993 jusqu'à aujourd'hui, la situation a très peu changé : quelques évolutions concernent le domaine de température au-dessous de 84 K. Au moins cinq instituts nationaux de métrologie travaillent au développement d'un thermomètre à volume constant d'hélium et à son emploi comme instrument d'interpolation de l'EIT-90. Dans le domaine des basses températures le travail de recherche concerne aussi les échelles à pression de vapeur de ^3He et de ^4He et les comparaisons au-dessous de 3 K. Les résultats publiés jusqu'ici montrent clairement que l'accord entre ces deux échelles est excellent dans la partie où elles se recouvrent, les écarts étant inférieurs à 0,2 mK.

Après la 19^e Conférence générale, le CCT s'est réuni une fois, du 7 au 9 septembre 1993, pour sa 18^e session. En cette occasion, quatre groupes de travail ont été créés, pour étudier les domaines d'activité suivants :

Groupe de travail 1 : *Définition des points fixes et des instruments d'interpolation*

Techniques de réalisation, non-unicité, mise à jour des « Renseignements complémentaires » ;

Groupe de travail 2 : *Points fixes secondaires et techniques d'approximation de l'EIT-90*

Points fixes secondaires, réalisations approchées de l'EIT-90, étalons internationaux et tables critiques, mise à jour des documents ;

Groupe de travail 3 : *Traçabilité internationale des mesures de température*

Informations sur les comparaisons régionales et bilatérales, organisation des comparaisons, procédés d'estimation des incertitudes ;

Groupe de travail 4 : *Détermination de la température thermodynamique et extension de l'EIT-90 à des températures plus basses*

T , $T - T_{90}$, $T_{90} - T_{68}$, échelles à pression de vapeur de ^3He au dessous de 3 K, échelles de température au-dessous de 0,65 K.

Comme on peut le voir, les activités de ces groupes de travail couvrent un large éventail de tâches. Le Groupe de travail 1 a entrepris la révision et la mise à jour des « Renseignements complémentaires à l'EIT-90 ». Les différents facteurs d'influence sur la non-unicité de l'EIT-90 ayant été identifiés, ils peuvent être évalués au moyen d'expériences appropriées. Le Groupe de travail 1 a aussi proposé des critères pour la réalisation optimale des points fixes de l'EIT-90, ainsi que des recommandations pour les comparaisons au niveau le plus élevé d'exactitude de mesure.

Tous les laboratoires contactés ont mis au point des systèmes de mesure fondés sur des thermomètres à résistance primaires opérant entre 660 °C et 962 °C et les techniques de réalisation des points fixes et d'emploi des thermomètres ont été sensiblement améliorées. La non-unicité de l'EIT-90 dans ce domaine de température n'a pas encore été déterminée avec grande précision ; des expériences sont en cours et les premiers résultats sont prévus pour 1995/1996. Le nombre relativement restreint des sources commerciales de thermomètres à résistance de platine de haute qualité donne quelques préoccupations au sujet de l'amélioration de l'EIT-90. Toutefois la disponibilité présente suffit pour assurer la réalisation de l'EIT-90 au niveau mondial. D'autres vérifications expérimentales de l'unicité ont été effectuées de façon occasionnelle aussi bien dans l'intervalle entre 190 °C et 420 °C qu'à des températures inférieures à 4,2 K : les résultats sont en accord avec la précision que l'on attendait.

La préparation de la publication *Recommended values of temperature on the International Temperature Scale of 1990 for a selected set of secondary reference points*, destinée à paraître dans *Metrologia* (1996, **33**, 133-154), a été confiée au Groupe de travail 2. La préparation de tables révisées pour les thermocouples et les thermomètres industriels à résistance de platine a été confiée au Groupe de travail 2 en coopération avec la Commission électro-technique internationale. Ces tables ont été publiées fin 1995 (*Tables of Physical and Chemical Constants*, 16^e ed., Longman, 1995, 65-68).

La traçabilité internationale des étalons de température nécessite que des comparaisons internationales soient effectuées au niveau le plus élevé d'exactitude de mesure à l'intérieur des groupes régionaux et entre les différents groupes d'instituts de métrologie nationaux. Il s'agit d'une tâche formidable en ce qui concerne l'EIT-90, les points fixes et les instruments d'interpolation y étant impliqués. Au cours de la session du CCT il a été recommandé de mettre à la disposition du BIPM et du CCT les informations concernant les comparaisons qui sont effectuées à l'intérieur des groupes régionaux ou sur la base d'accords bilatéraux, ainsi que les résultats de ces comparaisons. Il a aussi été recommandé d'établir des liaisons entre les groupes régionaux, au niveau d'exactitude de mesure le plus élevé, au moyen de comparaisons organisées sous les auspices du CCT en consultation avec le BIPM.

À la suite d'une autre recommandation du CCT, une comparaison de cellules à point triple de l'eau est en cours ; elle est coordonnée par le BIPM, sous les auspices du Groupe de travail 3. Une condition essentielle pour le succès des comparaisons est l'établissement préalable de règles uniformes et bien détaillées pour l'expression de l'incertitude de mesure ; ces règles doivent se conformer aux recommandations du *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* publié par l'ISO. Il est probable que d'autres comparaisons vont être effectuées au cours des cinq prochaines années.

Le CCT a aussi recommandé d'améliorer l'estimation de l'exactitude thermodynamique de l'EIT-90 au moyen de nouvelles déterminations de la température thermodynamique et de donner une base thermodynamique en vue d'une extension de cette échelle au-dessous de la limite inférieure de 0,65 K. Dans plusieurs laboratoires des expériences sont en cours. Pour cela, plusieurs techniques différentes sont mises en œuvre ; il s'agit principalement de l'utilisation de thermomètres à gaz ou à bruit ou à radiation ou de thermomètres acoustiques. Plusieurs de ces expériences sont effectuées à des températures se situant environ entre 700 K et 1 354 K. D'autres expériences visent des températures comprises entre 83 K et 300 K, et même au-dessous de 20 K.

Plusieurs laboratoires ont fait des mesures de température thermodynamique au-dessous de 1 K. On a dû toutefois constater que les méthodes thermodynamiques ne permettent pas d'obtenir l'uniformité des résultats de mesure qui est nécessaire pour les expériences de physique dans le domaine de 2 mK à 1 K. Les recherches en cours dans au moins quatre laboratoires nationaux nous donneront bientôt les résultats nécessaires pour pouvoir proposer une échelle de température reproductible dans cet intervalle.

La situation est tout à fait différente et presque inverse lorsqu'il s'agit de la détermination de la température des corps noirs employés comme étalons de radiation dans l'ultraviolet ($T > 1\,400$ K). Dans ce cas, il est souvent préférable d'avoir recours aux mesures de température thermodynamique utilisant des techniques radiométriques absolues plutôt qu'aux mesures rapportées à l'EIT-90. Pour étudier ce sujet, un groupe de travail *ad hoc* a été créé récemment au sein du CCT, en coordination avec le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR). Les missions de ce groupe sont les suivantes :

- estimer le mieux possible les incertitudes des différentes méthodes de mesure de la température thermodynamique au-dessus de 1 357 K, en particulier dans l'intervalle de 2 500 K à 3 200 K ;
- considérer l'influence probable des progrès technologiques envisageables sur ces incertitudes ;
- présenter au CCT et au CCPR les résultats de ces investigations et les recommandations qui en résultent.

Conscient de l'importance de la mesure de l'humidité des gaz pour les applications métrologiques et industrielles, le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) avait créé un groupe de travail chargé de s'informer sur la situation des étalons d'humidité et d'organiser une comparaison internationale. Récemment, la responsabilité de ce groupe *ad hoc* a été transférée au CCT, en raison de l'importance de la mesure de la température pour l'étude des propriétés thermodynamiques et de transport des gaz humides. Indépendamment, ce groupe a organisé une première réunion d'un « International Workshop on Humidity Measurement and Standards », qui a eu lieu à Turin (Italie) les 18 et 19 juillet 1994, avec la participation des experts de quinze instituts nationaux de métrologie. L'organisation d'une comparaison internationale de générateurs d'humidité (étalons à point de rosée) est en cours.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité consultatif de thermométrie pour la qualité de son rapport, et demande s'il y a des commentaires.

M. TARBÉEV, de la délégation russe, remarque qu'il est difficile d'acquérir dans le commerce des thermomètres à résistance de platine pour les mesures à haute température en nombre suffisant et demande si la situation est susceptible de s'améliorer prochainement. M. CROVINI répond qu'il est nécessaire d'améliorer la qualité de ces thermomètres ; la question sera étudiée par le CCT.

12. Photométrie et radiométrie

M. W.R. BLEVIN, président du Comité consultatif de photométrie et radiométrie, présente son rapport, qui ne comporte pas de projet de résolution.

Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR) ne s'est réuni qu'une fois depuis la 19^e Conférence générale ; il a tenu sa 13^e session au BIPM du 14 au 16 septembre 1994. Toutefois ses groupes de travail et les comparaisons internationales ont assuré un programme de travail actif et continu. Ce programme découlait de la décision prise par le CCPR lors de sa 12^e session en 1990 de ne pas effectuer de comparaisons internationales en photométrie pendant les quatre années entre 1990 et 1994 mais de concentrer son action sur la radiométrie et la spectroradiométrie.

Comparaison internationale de mesures de sensibilité spectrale

La mesure exacte de la sensibilité spectrale de récepteurs, de radiomètres et de photomètres est un besoin fondamental en radiométrie et en photométrie. Pendant la période concernée le CCPR a effectué une comparaison internationale de ces mesures, à laquelle ont participé le BIPM et dix-huit laboratoires nationaux. Des photodiodes au silicium ont été utilisées comme dispositifs à mesurer et les mesures ont été faites sur un domaine de longueurs d'onde allant de 250 nm à 1 000 nm, couvrant les régions du visible, du proche ultraviolet et du proche infrarouge du spectre.

Le BIPM a joué de façon efficace son rôle de laboratoire de coordination pour cette grande comparaison internationale ; à cette occasion il a utilisé ses installations récemment mises au point pour la mesure de la sensibilité spectrale. Les dispositifs qui ont circulé ont été des montages de photodiodes de deux types, l'un comportant une photodiode unique, plate, et l'autre comportant trois photodiodes montées en forme de récepteur-piège, absorbant presque complètement le rayonnement incident à la suite d'une série de réflexions internes. L'une des caractéristiques satisfaisantes de cette comparaison internationale a été la reproductibilité de ces dispositifs ; en effet, la plupart des instabilités était suffisamment faible pour que les résultats des différences effectives entre les étalons et les mesures faites par les laboratoires participants soient significatifs. Cela fut en particulier le cas pour les récepteurs-pièges, qui se sont révélés supérieurs aux dispositifs ne comportant qu'une seule photodiode.

Un rapport détaillé des résultats de cette comparaison internationale peut être obtenu auprès du BIPM et une version abrégée de ce rapport paraîtra dans *Metrologia* en 1996. En résumé, dans le domaine visible (400 nm à 700 nm) l'écart-type relatif des mesures des laboratoires participants par rapport à la moyenne des résultats est d'environ 2×10^{-3} pour les récepteurs-pièges et 5×10^{-3} pour les photodiodes simples. En dehors du spectre visible l'accord entre les laboratoires est nettement moins bon pour les deux types de dispositif. Dans l'infrarouge l'écart-type s'élève à environ 10×10^{-3} à la longueur d'onde de 1 000 nm, et dans l'ultraviolet à environ 20×10^{-3} à 250 nm. Alors que les résultats de plusieurs laboratoires présentent un accord nettement meilleur que ne l'indiquent ces valeurs globales, les résultats de certains autres laboratoires présentent d'importantes différences systématiques par rapport à la moyenne. L'un des résultats particulièrement utiles de cette comparaison internationale est qu'elle a permis à certains de ces derniers laboratoires d'identifier et d'éliminer les sources de leurs erreurs systématiques. Elle a aussi contribué de manière significative à la compréhension que nous avons des facteurs qui influencent la stabilité des photodiodes au silicium.

Spectroradiométrie de l'ultraviolet dans l'air

Une amélioration des mesures dans l'ultraviolet est nécessaire pour de nombreux domaines, en particulier pour la recherche spatiale, la médecine et certaines techniques industrielles. Comme il a été signalé lors de la 19^e Conférence générale, le CCPR a créé en 1990 un Groupe de travail sur la radiométrie spectrale dans l'ultraviolet chargé d'étudier les méthodes pour améliorer au niveau mondial l'uniformité des mesures en radiométrie spectrale dans le domaine compris entre 200 nm et 400 nm, en s'intéressant non seulement aux techniques traditionnelles mais aussi à des techniques plus récentes comme l'utilisation du rayonnement du synchrotron ou la radiométrie cryogénique et aux améliorations de la stabilité des étalons de transfert. Le groupe de travail a d'abord établi un état actuel de la situation tant pour les étalons fondés sur des sources que pour des étalons fondés sur des récepteurs pour l'ultraviolet dans l'air, et en 1992 il a soumis son premier rapport écrit au CCPR. Tout en traitant des sources et des récepteurs qui pourraient être utilisés comme étalons primaires, ce rapport aborde aussi la question des sources et des récepteurs de transfert et fait le point sur les comparaisons internationales passées. Il fait un certain nombre de recommandations pour le travail à venir ; cela a fait ultérieurement l'objet d'une publication dans *Metrologia* (1993, **30**, 373-374).

Une autre initiative de ce groupe de travail a été d'entreprendre en 1993 une comparaison internationale pilote de mesures dans l'ultraviolet dans l'air a) d'éclairement énergétique spectral, utilisant des lampes à deutérium et à tungstène qui ont circulé et b) de luminance énergétique spectrale, portant seulement sur des lampes à deutérium.

Lors de sa réunion en 1994, le CCPR a approuvé les recommandations faites par le groupe de travail à propos des travaux à venir et a demandé à celui-ci de continuer son action. Le comité a pris acte de la nécessité de poursuivre les recherches sur différents aspects du problème, par exemple trouver de meilleurs étalons de transfert utilisables avec les anneaux de stockage d'électrons, étudier l'emploi qui se répand du rayonnement des onduleurs, le fonctionnement des sources à corps noir à des températures allant jusqu'à 3 200 K, la meilleure utilisation des radiomètres cryogéniques et les fondements de la physique de l'état solide dans la réception de l'ultraviolet au moyen des photodiodes. L'attention s'est aussi portée sur les résultats préliminaires obtenus dans la comparaison internationale pilote mentionnée ci-dessus ; il a été demandé que soit rédigé un rapport écrit après l'achèvement de cette comparaison.

Radiomètres cryogéniques

Depuis la 19^e Conférence générale l'emploi de radiomètres à substitution électrique fonctionnant à des températures cryogéniques s'est rapidement répandu. Le BIPM et la plupart des laboratoires membres du CCPR possèdent ou vont acquérir un de ces instruments ; certains des grands laboratoires en ont plusieurs. Leur grande exactitude fait que les radiomètres cryogéniques sont de plus en plus utilisés comme étalons primaires, et les laboratoires nationaux ont une tendance croissante à rattacher leurs mesures en radiométrie et en photométrie à des instruments de ce type.

Il s'ensuit que, lors de sa session de 1994, le CCPR a estimé que le temps était venu d'entreprendre, entre 1994 et 1998, une comparaison internationale de mesures de radiomètres cryogéniques. Il a admis qu'il serait prématuré et inutilement compliqué, à ce stade, d'utiliser effectivement un radiomètre cryogénique comme instrument voyageur ; il a toutefois relevé que des comparaisons bilatérales directes de radiomètres cryogéniques ont déjà commencé et qu'elles sont à encourager. En fait, on utilisera comme instruments de transfert des photodiodes au silicium sous la forme de récepteurs-

pièges, compte tenu du fonctionnement excellent dont elles ont fait preuve lors de la récente comparaison internationale de mesures de sensibilité spectrale. Il sera demandé aux laboratoires participants de comparer la réponse des récepteurs-pièges avec leur radiomètre cryogénique à des longueurs d'onde de lasers spécifiées. La comparaison internationale sera coordonnée par le BIPM et un groupe de travail a été créé pour mettre au point les détails.

Comparaisons internationales de photométrie

Lors de sa réunion en 1990, le CCPR avait décidé d'effectuer entre 1994 et 1998 une comparaison internationale de mesures photométriques en faisant circuler comme photomètres des photodiodes au silicium corrigées pour $V(\lambda)$, ce qui représente une grande nouveauté par rapport à la tradition qui consiste à faire circuler des lampes à filament de tungstène. Toutefois, lors de la réunion de 1994, il a été convenu d'effectuer la comparaison avec les deux types d'instruments.

Le BIPM jouera le rôle de laboratoire central et coordonnera la comparaison internationale utilisant des récepteurs comme instruments voyageurs ; un groupe de travail a été créé pour mettre au point les détails. Il sera demandé aux laboratoires participants d'éclairer les photomètres qui leur seront envoyés en utilisant une source à filament de tungstène, à une température de répartition de 2 856 K et, à l'intérieur d'un domaine spécifié d'éclairement, de mesurer la sensibilité lumineuse de chaque photomètre (en exprimant le résultat dans l'unité SI, c'est-à-dire en ampères par lux).

Le CCPR a accepté avec plaisir une offre faite par la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Allemagne) de jouer le rôle de laboratoire coordonnateur pour la comparaison internationale qui portera sur des lampes qui circuleront. On a constaté que le BIPM était déjà très engagé dans d'autres comparaisons internationales et que, de toute façon, sa compétence principale était passée, au cours des dernières années, des mesures sur les sources aux mesures sur les récepteurs. Les comparaisons porteront sur les mesures d'intensité lumineuse (en candelas) et sur les mesures de flux lumineux (en lumens) ; un groupe de travail a été créé pour aider la PTB à régler les problèmes de détail pratiques.

Autres comparaisons internationales

Lors de sa réunion en 1994, le CCPR est convenu de deux autres comparaisons internationales pour lesquelles il est prévu que le nombre de participants soit plus faible.

On a constaté dans la première comparaison que les incertitudes sur la mesure de l'aire des diaphragmes optiques constituent un obstacle majeur à l'exactitude en radiométrie. Un groupe de travail, ayant à sa tête le National Institute of Standards and Technology (NIST, É.-U. d'Amérique), a été créé pour entreprendre une comparaison internationale portant sur ces mesures.

L'Institut de recherche de Russie pour les mesures en optique physique (VNIIOFI, Féd. de Russie) a exprimé l'intérêt du VNIIOFI, du NIST et de la PTB pour une comparaison de mesures de luminance énergétique spectrale sur des lampes à filament de tungstène dans un domaine de longueurs d'onde comprises entre 250 nm et 2 500 nm. Le CCPR a invité le VNIIOFI à coordonner cette comparaison si le nombre de laboratoires manifestant le désir d'y prendre part est suffisant.

Divers

Plusieurs participants à la réunion du CCPR en 1994 ont exprimé leur souci du fait que plusieurs instituts responsables d'importantes études radiométriques portant sur les ressources terrestres, l'environnement et les problèmes connexes, expriment les résultats de certaines mesures critiques en

unités locales fondées sur des méthodes et des équipements particuliers, et non pas en unités SI qui sont bien définies et admises au niveau international. Cette question a été portée à la connaissance du CIPM sous la forme appropriée d'une recommandation. Ultérieurement, le CIPM a reconnu qu'il y avait là un problème important, que l'on rencontre aussi dans d'autres domaines et pas seulement en radiométrie ; cela fait l'objet du projet de résolution A présenté à cette 20^e Conférence générale.

Dans la mise au point des étalons radiométriques, il arrive fréquemment qu'il faille déterminer la température thermodynamique de radiateurs à corps noir fonctionnant entre 2 500 K et 3 200 K. Il s'avère que les mesures radiométriques sont de plus en plus effectuées avec des méthodes autres que celles qui sont spécifiées dans l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90). La question se pose de savoir si les autres méthodes peuvent donner une exactitude comparable ou même supérieure à celle de l'EIT-90, ou si elles ont été adoptées simplement parce qu'elles étaient plus commodes dans le contexte d'un laboratoire de radiométrie. Le CCPR et le Comité consultatif de thermométrie (CCT) ont créé un groupe de travail *ad hoc*, dirigé par le président du CCT, pour étudier la question et rédiger un rapport.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité consultatif de photométrie et radiométrie pour son rapport sur les travaux accomplis depuis la précédente Conférence générale, qui ne fait l'objet d'aucun commentaire.

13. La mole et les mesures de quantité de matière

M. R. KAARLS, président du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), présente le rapport de ce comité qui a été créé par le Comité international en 1993 et s'est réuni pour la première fois au mois d'avril 1995.

Évolution des besoins en exactitude et en traçabilité des mesures en chimie

L'unité de quantité de matière, la mole, a été introduite dans le SI par la 14^e Conférence générale en 1971 à la suite des demandes faites au CIPM par l'Union internationale de physique pure et appliquée (UIPPA), l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO). La définition de la mole est unique en ce qu'elle spécifie aussi la nature de la grandeur dont l'unité est la mole. Depuis l'introduction de cette unité dans le SI jusqu'à la fin des années 1980, le CIPM n'a estimé nécessaire d'entreprendre aucune action particulière en ce qui concerne les mesures de quantité de matière.

Cependant l'uniformité et la traçabilité des mesures au niveau mondial, avec des exactitudes de plus en plus élevées, sont maintenant de plus en plus exigées pour les mesures en chimie. On constate aujourd'hui de fortes pressions des milieux commerçants et du public pour exiger l'amélioration de la fiabilité des mesures en chimie.

Le commerce international, la sécurité, les mesures de protection de la santé et de l'environnement, souvent régis par la législation aussi bien que par des règlements et des normes, exigent que les résultats des mesures et des analyses chimiques puissent être facilement comparables et traçables au niveau international.

La stabilité à long terme du système de référence pour les mesures et les analyses chimiques est une nécessité évidente pour pouvoir étudier les variations de l'environnement.

Comme les mesures en chimie sont effectuées en faisant appel à de nombreuses méthodes physico-chimiques, il est évident qu'elles sont en relation étroite avec les mesures physiques et les unités physiques de mesure qui leur correspondent.

Comme pour tous les autres types de mesures, en matière de comparabilité, de traçabilité, d'exactitude, d'incertitudes de mesure et de stabilité à long terme, les exigences ne peuvent être satisfaites qu'en rattachant solidement ces mesures à des constantes naturelles invariables. La meilleure façon de le faire est de les relier au SI.

Comparaisons entre laboratoires sous l'égide du CIPM

Dans son rapport à la 19^e Conférence générale en 1991 le président du CIPM a annoncé la création d'un Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie et le début de quelques comparaisons internationales dans ce domaine.

Ce groupe de travail du CIPM a été créé en avril 1992 ; il comportait des membres du CIPM et des experts dont les noms avaient été avancés par des membres du CIPM et de l'UICPA. Il a organisé deux séries de comparaisons internationales. Le but de ces comparaisons était de vérifier l'hypothèse selon laquelle un travail, coordonné au niveau international, portant seulement sur un nombre limité de méthodes de référence dont l'utilisation est très répandue et cela pour quelques matériaux clés de référence, peut fournir le cadre nécessaire pour établir largement la traçabilité internationale des résultats de mesures rapportées au SI avec leurs incertitudes indiquées.

Cela permettra aux principaux laboratoires nationaux qui font de la métrologie en chimie d'étendre la traçabilité internationale ainsi obtenue à une gamme plus large de méthodes et de matériaux de référence.

Les membres de ce groupe de travail appartenant au National Institute of Standards and Technology (NIST, É.-U. d'Amérique) ont élaboré un protocole (étude I du CIPM) portant sur la spectrométrie de masse par dilution isotopique (IDMS) comme méthode de référence pour l'analyse de solutions aqueuses simples d'éléments inorganiques. Deux solutions, comprenant chacune trois éléments différents à analyser, dissous dans de l'acide dilué, faisaient l'objet du protocole. Les résultats obtenus par des laboratoires qui n'utilisaient pas l'IDMS étaient acceptés mais étaient traités séparément.

Les échantillons de référence étaient préparés par gravimétrie, ce qui permettait de connaître avec une grande exactitude les valeurs à atteindre, l'objectif fixé pour l'exactitude relative des mesures faites à l'aide des autres instruments était de 1 %. Le NIST a distribué à seize laboratoires participants des échantillons pour l'analyse dans le cadre de l'étude I.

La solution 1 contenait du magnésium, du plomb et du cadmium. La solution 2 contenait du fer, du molybdène et du lithium.

Les membres du groupe de travail appartenant au Nederlands Meetinstituut (NMI, Pays-Bas) ont élaboré un second protocole (étude II du CIPM) pour l'analyse de mélanges de gaz simples soit au moyen de l'IDMS, soit par spectrométrie de masse avec exactitude élevée (HAMAS) utilisant un étalonnage externe, soit par chromatographie en phase gazeuse (GC), soit par chimiluminescence ou spectrométrie non dispersive dans l'infrarouge (NDIR), comme méthodes de référence pour l'analyse. Là encore les résultats obtenus avec d'autres méthodes ont été traités séparément. Les valeurs à atteindre étaient déterminées par préparation des mélanges par gravimétrie, et l'objectif d'incertitude était de ± 1 % en valeur relative. Cinq mélanges de gaz différents ont fait l'objet du protocole de cette étude. Le NMI a réuni au total onze laboratoires participants pour l'étude II. Les mélanges de gaz qui

ont fait l'objet des mesures comprenaient des gaz naturels : CO, CO₂, NO, SO₂, en trois compositions différentes.

Le Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie s'est réuni les 5 et 6 juillet 1994 au NIST.

Les résultats de l'étude I, portant sur les éléments inorganiques en solution, ont été discutés. Ils montrent que la plupart des laboratoires n'ont pas dans l'ensemble atteint l'exactitude ni la précision inhérentes aux méthodes absolues utilisées. La dispersion des résultats obtenue, que l'on peut considérer comme typique d'une première série d'analyses pour une étude entre laboratoires, ne répond pas aux besoins qui existent d'établir des systèmes de traçabilité pour les mesures en chimie. Il a donc été décidé de centrer l'action sur le choix et la mise en oeuvre de méthodes de correction, en particulier en établissant des protocoles pour les mesures.

Les résultats préliminaires de l'étude II, concernant les étalons primaires de mélanges de gaz, sont davantage prometteurs. Les résultats de la première série de comparaisons, portant sur le CO et le CO₂, montrent un bon accord entre la majorité des laboratoires participants, et se situent bien dans l'objectif de 1 %. Les bons résultats ont été obtenus en comparant l'étalon primaire de mélange de gaz, produit et envoyé par le laboratoire pilote, le NMi, aux laboratoires participants, aux mélanges de gaz produits par ces laboratoires en utilisant des méthodes gravimétriques.

Toutefois, dans la mesure où elles ont été utilisées, les méthodes absolues pour la détermination de la composition des gaz ont, là aussi, fait preuve d'une dispersion plus large. L'étude II se poursuit pour d'autres types de mélanges de gaz.

Comité consultatif pour la quantité de matière

En 1993 le CIPM a décidé de créer un Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM). Un certain nombre de raisons ont présidé à cette décision : la première est le fait que de plus en plus les laboratoires nationaux de métrologie sont amenés à établir au niveau international la traçabilité des mesures de chimie analytique, ainsi en créant un comité consultatif, le Comité international a) prend la direction dans un domaine appelé à prendre de plus en plus d'importance dans l'avenir, b) répond de manière adéquate et en temps voulu à des besoins largement reconnus et c), en définissant clairement les missions du comité consultatif, établit où se situent les limites des responsabilités du CIPM dans ce domaine.

Les missions du CCQM ont été définies de la façon suivante :

- conseiller le CIPM sur les questions liées à l'exactitude des analyses chimiques quantitatives et à leur traçabilité aux unités de base du SI ;
- coordonner les activités des laboratoires nationaux de métrologie en vue d'établir cette traçabilité au plus haut niveau ;
- stimuler la compréhension du concept d'incertitude et de la nécessité d'associer la donnée d'une incertitude à la donnée du résultat d'une mesure chimique et, ce faisant, encourager l'établissement de la traçabilité, en tenant compte des initiatives prises par ailleurs au niveau régional ou international ;
- examiner la nécessité éventuelle de mettre en oeuvre un programme de travail au BIPM pour soutenir cette action.

Le CCQM s'est réuni pour la première fois les 19 et 20 avril 1995. Le but de cette 1^{re} session était de tenter de définir la façon d'établir la traçabilité au niveau international dans le domaine des mesures chimiques (analyse) en se mettant d'accord sur des méthodes clés et des comparaisons internationales.

Tous les participants ont été d'accord pour dire que le travail entrepris par le CCQM au niveau métrologique le plus élevé doit être perçu par les milieux intéressés par la chimie comme s'appliquant aussi au niveau de la pratique courante.

Pour de nombreux chimistes, l'approche métrologique nécessite l'introduction d'une terminologie quelque peu nouvelle, qui est déjà familière aux physiciens. Il est donc nécessaire de se mettre d'accord sur un certain nombre de définitions. En particulier la définition d'une méthode primaire de mesure et celle d'un matériau de référence primaire ont été formulées de façon à être utilisées et comprises par les milieux intéressés. Le CCQM a proposé les définitions suivantes d'une méthode de mesure primaire et d'un matériau de référence primaire :

1) Définition d'une méthode de mesure primaire :

Une méthode de mesure primaire est une méthode assurant les plus hautes qualités métrologiques, dont le déroulement peut être entièrement décrit et compris, dont les incertitudes sont exprimées en unités SI, et dont les résultats sont donc acceptés en dehors de toute référence à un étalon représentatif de la grandeur mesurée.

2) Définition d'un matériau de référence primaire :

Un matériau de référence primaire est un matériau qui possède les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est déterminée au moyen d'une méthode de mesure primaire.

La définition d'une méthode primaire de mesure de quantité de matière (mesure chimique) conduit aux exigences suivantes : pour être considérées comme primaires, les mesures de quantité de matière doivent être faites en suivant une méthode spécifique pour un matériau déterminé et pour laquelle les valeurs de tous les paramètres, ou les corrections qui dépendent d'autres matériaux ou de la matrice, sont connues ou peuvent être calculées avec une incertitude appropriée.

Méthodes primaires

Le comité a conclu que les méthodes de mesure de quantité de matière suivantes sont susceptibles d'être considérées comme des méthodes primaires (par exemple) :

- spectrométrie de masse par dilution isotopique ;
- coulométrie ;
- gravimétrie [a) mélanges gazeux et b) analyse à l'aide d'une méthode gravimétrique] ;
- titrage ;
- détermination de la dépression du point de congélation.

Pour les méthodes choisies comme susceptibles d'être considérées comme des méthodes primaires, des groupes de travail ont été créés et chargés de préparer des documents de travail comportant en particulier :

- description de la méthode (principe primaire, modèle mathématique) ;
- état des connaissances ;
- évaluation de l'incertitude ;
- difficultés (inconvenients, écarts par rapport au modèle mathématique) ;
- comparaisons internationales en cours, s'il y en a ;

— disponibilité des matériaux de référence nécessaires pour des comparaisons internationales.

Les groupes de travail devront remettre leur rapport au CCQM avant le 1^{er} novembre 1995.

Actions à entreprendre

Le CCQM a décidé d'entreprendre les actions suivantes :

- 1) Le protocole d'utilisation de la spectrométrie de masse par dilution isotopique (IDMS) préparé par le NIST va être scindé en :
 - a) une partie générale ; elle sera traitée dans un document qui doit être préparé par le groupe de travail sur l'IDMS sous la direction de l'Institut des matériaux et mesures de référence (IMMR, Commission des communautés européennes) ;
 - b) un protocole spécifique pour la prochaine comparaison internationale de mesures de la teneur en plomb dans l'eau. Ce protocole sera préparé par le NIST, en tenant compte des commentaires adressés au NIST par les autres membres. On espère que le protocole spécifique sera disponible bien avant le 1^{er} novembre 1995 et que la comparaison internationale portant sur la teneur en plomb pourra commencer avant cette date.
- 2) Les comparaisons internationales portant sur les mélanges de gaz (étude II du CIPM) se poursuivront selon le programme prévu. Le NMI espère que l'étude II sera achevée au début de 1997.
- 3) Une comparaison internationale portant sur la détermination de teneurs en composés organiques (benzène ou éthanol) sera effectuée en 1996. Une proposition sera préparée par le Laboratory of the Government Chemist (LGC, Royaume-Uni).
- 4) Une étude des autres composants qui sont importants pour les analyses de gaz sera faite par le NMI et une proposition relative à d'autres comparaisons internationales dans le domaine des analyses de gaz sera envoyée au CCQM vers la fin de 1995.
- 5) Un document d'orientation sera préparé par le président du CCQM et le directeur du BIPM, décrivant le rôle et l'action future du CCQM et comportant, dans toute la mesure du possible, des dates d'échéance.

Le CCQM pense qu'il est important pour le BIPM d'étayer sa position centrale en acquérant une expérience pratique dans ce nouveau domaine.

La prochaine session du CCQM aura lieu au mois de février 1996.

M. KAARLS donne ensuite lecture du projet de résolution G sur la métrologie en chimie.

M. BLANC-LAPIERRE remercie le président du Comité consultatif pour la quantité de matière pour son rapport sur les travaux de ce tout nouveau comité, qui traite d'un sujet complexe et important, et demande s'il y a des commentaires.

M. M. NOGUEIRA FROTA, du Brésil, félicite M. KAARLS pour les travaux accomplis dans ce nouveau domaine d'activité. Il signale que le Brésil s'efforce d'organiser une structure pour les mesures chimiques ; les résultats obtenus par ce comité aideront le Brésil.

M. P. KÖNIG-GEORGESCU, chef du laboratoire des mesures physico-chimiques et des rayonnements ionisants de l'Institut national de métrologie de Roumanie, fait la déclaration suivante.

Je tiens à exprimer ma satisfaction, comme chimiste, pour la création du Comité consultatif pour la quantité de matière en 1993. Il me semble paradoxal, alors que le monde entier se préoccupe des problèmes de destruction de l'environnement, de la nécessité de sauvegarder les écosystèmes, de prendre des mesures de protection face aux substances toxiques polluantes, combustibles, potentiellement explosives, que ces questions restent marginales pour les métrologistes.

Je salue les premiers travaux théoriques de ce comité, ainsi que les comparaisons internationales auxquelles ont participé les laboratoires nationaux, en vue de clarifier la notion de traçabilité internationale de la métrologie en chimie.

Je regrette que les laboratoires physico-chimiques de la Roumanie, en dépit de l'intérêt qu'ils ont manifesté, aient été ignorés. Ces laboratoires pourraient participer à différents types de comparaisons dans le domaine de l'analyse des gaz, de la conductivité électrolytique, de la viscosimétrie (domaine dans lequel la Roumanie possède une expérience fructueuse de plus de dix années, sous l'égide de l'American Society for Testing and Materials), de l'humidité des gaz et des solides, de la densimétrie des liquides, de la photométrie et des matériaux de référence pour la spectrophotométrie.

Il est vrai que la Roumanie ne dispose pas des équipements très performants, qu'exige, par exemple, le protocole pour l'étude I, pour travailler dans le domaine de la spectrométrie de masse avec dilution isotopique, mais ses laboratoires peuvent participer à des comparaisons dans le domaine de l'analyse des gaz (étude II) avec ses étalons primaires préparés par des méthodes gravimétriques et ses analyseurs à infrarouge, et dans les autres domaines mentionnés ci-dessus.

L'intérêt et l'ambition de la Roumanie de participer à ce travail sont justifiés par sa volonté d'intégration à l'Europe. La Roumanie exporte des produits chimiques inorganiques et pétroliers, et elle est obligée de se conformer à une caractérisation analytique précise de ces produits. Les laboratoires roumains pensent être en conformité avec les normes ISO, et ils ont besoin de documents métrologiques qui attestent de l'état de leurs équipements et de la traçabilité des mesures afin d'obtenir leur accréditation. Ce sont les premiers indices d'une « conscience métrologique » en chimie, dont il avait été question lors d'un congrès organisé par la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Allemagne) à Bucarest sur le thème des infrastructures métrologiques modernes. Il avait alors été répondu à ma question sur la traçabilité des mesures et la manière dont celle-ci se matérialise concrètement, en particulier dans le domaine de la chromatographie des gaz, que ces travaux ne sont qu'à leurs débuts.

Je pense que c'est peut-être une opportunité favorable et unique de tenter une collaboration réelle entre tous les laboratoires intéressés et je tiens à exprimer à nouveau la volonté de la Roumanie de s'intégrer de toutes les façons au système européen, car notre législation nous y pousse, par le biais des accords bilatéraux ou multilatéraux. Par exemple, il sera interdit d'utiliser à compter de 1996 en Roumanie des analyseurs de gaz d'échappement fondés sur des principes autres que l'infrarouge, conformément à la Recommandation 99 de l'OIML.

La Roumanie est prête à soutenir les activités du Comité consultatif pour la quantité de matière, et approuve le projet de résolution présenté par son président.

M. KAARLS remercie M. KÖNIG-GEORGESCU de son intervention et se déclare heureux de l'offre de la Roumanie de coopérer à ce travail. Le CCQM projette d'organiser une comparaison en Europe en collaboration avec l'Union européenne ; il se mettra en contact avec le laboratoire roumain à ce moment-là.

M. BIRCH (Australie) félicite M. KAARLS pour son rapport et demande si l'on a pu identifier la source des mauvais résultats obtenus dans le cadre de l'étude I. M. KAARLS répond que les problèmes sont en partie dus à un manque de connaissances et d'expérience des laboratoires dans le domaine de la spectrométrie de masse par dilution isotopique. Il faudra améliorer le protocole pour la prochaine comparaison de plomb dans l'eau. Pour réaliser un bon schéma de traçabilité des mesures chimiques, il faut d'abord des résultats concrets sur des mélanges de

gaz qui soient directement utilisables par les chimistes, en partant de composés simples pour atteindre des composés plus complexes. Il est impossible d'établir une traçabilité pour tous les composés chimiques, car cela demanderait un travail excessif.

M. BLANC-LAPIERRE remercie M. KAARLS pour son rapport et tous les intervenants.

14. Rayonnements ionisants

M. G. MOSCATI présente le rapport du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), en l'absence de son président M. VANIER.

Les rayonnements ionisants continuent à jouer un rôle important dans de nombreux domaines scientifiques et techniques. La mesure exacte des rayonnements ionisants est importante dans la production industrielle d'énergie nucléaire, en médecine et de plus en plus dans un éventail varié d'autres applications industrielles. On utilise entre autres des doses élevées de rayonnement pour stériliser les produits pharmaceutiques, pour conserver les aliments et dans les industries des matières plastiques et du bois. Au total, ces applications font appel à une large gamme de rayonnements qui diffèrent quant à leur type, leur énergie et leur dose.

Même si l'exactitude à atteindre n'est pas comparable à celle que l'on recherche dans bien d'autres domaines, il est crucial que cette exactitude soit atteinte, sinon cela peut être une menace pour les êtres vivants. Dans les applications médicales des rayonnements ionisants le niveau minimal décelable pour la réponse physiologique dans le corps humain est généralement de l'ordre de 1 % et cela définit l'incertitude requise pour les mesures. Comme la méthode de mesure dépend étroitement du type, de l'énergie et de la dose du rayonnement, il est nécessaire de conserver une grande variété de techniques pour assurer le rattachement des mesures aux unités SI. Comme il est difficile d'obtenir des rayonnements ionisants bien spécifiés et qu'il faut mesurer de multiples paramètres, la métrologie des rayonnements ionisants constitue une charge importante mais lourde pour les instituts nationaux de métrologie.

Le CCEMRI joue un rôle clé en rassemblant les représentants des instituts de métrologie des rayonnements ionisants du monde entier. Les recherches entreprises par le CCEMRI, tant au BIPM qu'ailleurs, assurent les bases d'un rattachement sûr et permanent des mesures de rayonnements ionisants au SI.

Depuis la 19^e Conférence générale, le CCEMRI s'est réuni une fois, les 12 et 13 avril 1994, et chacune de ses trois Sections s'est réunie deux fois. La Section I (Rayons x et γ , électrons) s'est réunie du 21 au 23 avril 1993 et du 24 au 26 avril 1995 ; la Section II (Mesure des radionucléides) s'est réunie du 1^{er} au 3 juin 1993 et du 9 au 11 mai 1995 et la Section III (Mesures neutroniques) s'est réunie du 19 au 21 avril 1993 et du 27 au 28 avril 1995.

Dans la présentation qui suit, les travaux du CCEMRI et les activités correspondantes du BIPM sont décrits en suivant l'ordre de ces trois sections.

Rayons x et γ , électrons

Les mesures effectuées au BIPM en dosimétrie sont de deux types qui se complètent : a) comparaisons internationales décidées par le CCEMRI et étalonnages par rapport aux étalons établis et conservés, et b) travaux de recherche et de mise au point sur de nouveaux étalons.

Le CCEMRI considère comme un travail prioritaire les activités courantes de comparaison et d'étalonnage par rapport aux étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans le graphite et dans l'eau appartenant au BIPM.

Depuis 1991, dix-sept comparaisons d'étalons primaires intéressant neuf pays ont été effectuées. Pour des laboratoires nationaux qui ne conservent que des étalons secondaires, des étalonnages ont été effectués périodiquement et ce travail a porté sur quarante chambres d'ionisation pour douze pays. En coopération avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) coordonne un réseau de laboratoires conservant des étalons secondaires de dosimétrie (SSDL) qui fonctionne dans soixante-douze pays. En dosimétrie les références de l'Agence sont également traçables aux étalons du BIPM et celle-ci entretient avec le BIPM une collaboration particulière, dans le cadre de laquelle des étalonnages périodiques de ses instruments de référence (chambres d'ionisation, dosimètres thermoluminescents) sont effectués dans les faisceaux de radiation du BIPM.

Il est particulièrement nécessaire de mettre au point des étalons primaires pour la radiothérapie et la protection contre les rayonnements. C'est pourquoi la Section I du CCEMRI a recommandé en 1991 que le BIPM s'équipe d'une source de ^{137}Cs , ce qui a été fait en 1994. Un dispositif de collimation définit deux faisceaux de diamètre différent, l'un pour les mesures de kerma dans l'air et l'autre pour les mesures d'équivalent de dose ambiante. Cet équipement offre une installation bien appropriée pour effectuer des comparaisons et des étalonnages au niveau de la protection contre les rayonnements.

Des recherches ont été faites sur divers paramètres relatifs aux étalons primaires ainsi qu'aux comparaisons et aux étalonnages. Ces recherches visaient, par exemple, la relation entre le kerma dans l'air et la dose absorbée dans l'eau, ou l'influence des conditions d'irradiation sur l'étalonnage des chambres d'ionisation en fonction de la dose absorbée dans l'eau. De nouvelles recherches sur la calorimétrie dans l'eau pour mesurer la dose absorbée seront reprises très prochainement.

L'utilisation en radiothérapie de faisceaux de photons et d'électrons d'énergie élevée provenant d'accélérateurs linéaires se répand, au détriment des installations à ^{60}Co . Le CCEMRI estime que, pour assumer sa mission, le BIPM doit s'intéresser aux étalons utilisés dans ce très important domaine. Des propositions ont été discutées par la Section I du CCEMRI en vue d'établir un système fondé sur des chambres d'ionisation et fonctionnant d'une façon comparable à celle du Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma (SIR) en métrologie des radionucléides. Ce système ferait appel à des chambres d'ionisation et permettrait de faire des comparaisons entre laboratoires nationaux.

Mesures de radionucléides

Dans les mesures d'activité effectuées au BIPM en collaboration avec la Section II on peut distinguer les mesures absolues et les mesures relatives. Les mesures absolues concernent les comparaisons internationales pour lesquelles des aliquotes d'une solution radioactive sont distribuées aux participants ; les mesures relatives concernent le SIR, système auquel les laboratoires nationaux de métrologie soumettent leurs échantillons.

Pour la période couverte par le présent rapport, la Section II a choisi deux radionucléides pour des comparaisons internationales : le ^{75}Se , émetteur de rayonnement gamma, pour une grande comparaison et le ^{204}Tl , émetteur de particules bêta, pour une comparaison restreinte. Pour la première fois, les solutions ont été préparées et distribuées par le BIPM. Vingt-et-un laboratoires ont participé à la comparaison de ^{75}Se . La dispersion des résultats est assez large, de l'ordre de $\pm 2,5\%$, et l'on pense qu'elle est due à l'effet du niveau métastable du nucléide fille, le ^{75}As . La comparaison de ^{204}Tl est achevée et le BIPM a entrepris une analyse détaillée des résultats.

Les résultats des précédentes comparaisons internationales de mesures d'activité ont été publiés dans *Nuclear Instruments and Methods* : ^{133}Ba (1992, **A316**, 318-323), ^{109}Cd (1994, **A345**, 289-295), et ^{125}I (1995, **A366**, 183-191).

Le SIR joue un rôle croissant dans les efforts déployés dans le monde entier pour assurer la qualité de la traçabilité au niveau international des mesures d'activité effectuées au niveau national. Le nombre total d'ampoules maintenant mesurées s'élève à 614 ; on a obtenu 449 résultats indépendants pour 53 émetteurs de rayonnement gamma. Pour la première fois, des gaz radioactifs ont été mesurés dans le SIR. L'extension de ce système aux émetteurs de rayonnement bêta se poursuit avec succès.

Dans le domaine des statistiques de comptage, plusieurs études ont été entreprises visant toutes à améliorer nos possibilités de mesure d'activité ou d'analyse statistique des résultats obtenus.

Mesures neutroniques

L'activité de la Section III s'est principalement centrée sur deux comparaisons internationales de mesures de débit de fluence de neutrons. Les deux comparaisons ont été organisées par le BIPM et ont consisté à faire circuler des instruments de transfert entre les laboratoires participants. La première comparaison a donné un bon accord pour les mesures de débit de fluence à 2,5 MeV et à 14,7 MeV après avoir apporté à la réponse du récepteur une correction pour l'effet de l'interaction des neutrons avec le matériau lui-même de la cible productrice de neutrons. La seconde comparaison, qui porte sur des mesures avec des neutrons à 24,5 keV, s'achèvera vers la fin de 1995. Ces neutrons sont produits par l'une ou l'autre de trois méthodes différentes : faisceau filtré d'un réacteur, source radioactive de $\text{Sb/Be}(\gamma, n)$ ou réaction d'un faisceau de protons sur une cible en scandium. Lorsque chaque participant a terminé ses mesures, le dispositif récepteur est renvoyé au BIPM pour y subir des contrôles de stabilité.

Les comparaisons de mesures neutroniques se font maintenant à un certain nombre d'énergies choisies qui vont de 24,5 keV à 14,7 MeV. Une comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons thermiques est envisagée, et les instruments de transfert destinés à circuler entre les laboratoires participants sont en cours de construction.

Au BIPM, les travaux se sont poursuivis en vue d'établir la spécification d'un spectromètre à scintillation liquide à partir d'étalonnages expérimentaux et de simulations, par la méthode de Monte Carlo, de sa réponse aux neutrons rapides. Les sources neutroniques de référence du BIPM utilisant des radionucléides, les chambres d'ionisation utilisées pour la dosimétrie en champ mixte et les dispositifs de contrôle à compteur de particules associés utilisés pour produire des champs de neutrons rapides étalonnés continuent de faire preuve d'une excellente stabilité à long terme.

Suite à une décision prise par le CIPM, le travail sur les neutrons s'est arrêté au BIPM au mois d'août 1995 avec le départ en retraite du personnel qui l'assurait. L'équipement et les étalons de référence construits par le BIPM au cours des années seront renvoyés à leur propriétaire d'origine ou donnés à des laboratoires qui s'intéressent particulièrement à ce domaine. Le travail de la Section III, y compris la conduite de comparaisons de mesures neutroniques, se poursuivra bien qu'elle soit désormais privée de la contribution importante du BIPM.

M. MOSCATI termine son rapport en remerciant les participants au CCEMRI et à ses trois sections, les laboratoires nationaux membres de ce comité, et le personnel du Bureau international pour le travail qui a été accompli, en particulier les membres de la section des mesures

neutroniques du BIPM qui ont pris leur retraite récemment. Le CCEMRI ne présente aucun projet de résolution à la Conférence générale.

Ce rapport ne donne lieu à aucun commentaire ni à aucune question.

15. Le Système international d'unités (SI)

La parole est donnée à M. T.J. QUINN qui présente, en l'absence de M. J. DE BOER, président du Comité consultatif des unités (CCU), le rapport de ce comité.

En 1960 la 11^e Conférence générale a adopté le nom de Système international d'unités, avec l'abréviation SI, pour désigner un système pratique d'unités de mesure ; elle a aussi prescrit une série de règles pour l'utilisation des préfixes, des unités dérivées et des unités supplémentaires, établissant ainsi les bases d'un ensemble cohérent d'unités de mesure. À cette époque-là la Conférence générale a décidé que le SI comporterait trois classes d'unités, les unités de base, les unités dérivées et les unités supplémentaires. La classe des unités de base comporte sept unités qui, par convention, sont considérées comme indépendantes du point de vue de leur dimension. Les unités dérivées sont obtenues en combinant les unités de base selon les relations algébriques de la physique qui relie les grandeurs correspondantes. Certaines des unités ainsi obtenues ont reçu des noms spéciaux et des symboles qui peuvent être eux-mêmes utilisés pour obtenir l'expression et le symbole d'autres unités dérivées. La classe des unités supplémentaires ne comprend que le radian et le stéradian, qui sont les unités SI d'angle plan et d'angle solide.

Depuis l'adoption du SI en 1960, il a souvent plané une incertitude sur la signification de l'appellation « unités supplémentaires ». En 1969, le CIPM, dans sa Recommandation 1 (1969), a fait la déclaration suivante :

« L'appellation « unités supplémentaires » figurant dans la Résolution 12 de la 11^e Conférence générale est donnée aux unités SI pour lesquelles la Conférence générale ne décide pas s'il s'agit d'unités de base ou bien d'unités dérivées. »

Il est évident que la Conférence générale ne voulait pas prendre position et dire s'il fallait considérer les unités supplémentaires comme des unités de base ou des unités dérivées. L'incertitude sur la signification de l'appellation unités supplémentaires n'était donc pas levée et la discussion s'est poursuivie. En 1980, le CIPM a estimé que le fait de ne pas prendre position sur le statut du radian et du stéradian constituait une menace pour la cohérence du SI, il a donc décidé de clarifier la situation. Dans sa Recommandation 1 (CI-1980), le CIPM a déclaré :

« prenant en considération la Résolution 3 adoptée par l'ISO/TC 12 en 1978 et la Recommandation U1 (1980) adoptée par le Comité consultatif des unités ...,

....

considérant aussi que l'interprétation donnée par le Comité international des poids et mesures en 1969 pour la classe d'unités supplémentaires ... laisse la liberté de traiter le radian et le stéradian comme des unités de base dans le Système international,

[et] qu'une telle possibilité compromet la cohérence interne du Système international fondé sur sept unités de base seulement,

décide d'interpréter la classe des unités supplémentaires dans le Système international comme une classe d'unités dérivées sans dimension pour les-

quelles la Conférence générale des poids et mesures laisse la liberté de les utiliser ou non dans les expressions des unités dérivées du Système international. »

En rédigeant cette recommandation, le Comité international des poids et mesures a été fortement influencé par la recommandation faite en 1980 par son Comité consultatif des unités ainsi que par la Résolution faite en 1978 par le Comité technique TC 12 de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) « Grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion et tableaux de conversion » (ainsi qu'il s'appelait alors). Il convient de noter que la décision du CIPM concernant le statut des grandeurs et des unités d'angle ne se rapportait pas à la science en général mais seulement à l'utilisation des grandeurs et des unités d'angle dans le cadre du SI, à l'égard duquel le CIPM a une responsabilité particulière puisqu'il l'a créé et en surveille la bonne utilisation.

Tout en interprétant le radian et le stéradian comme des unités dérivées sans dimension, la recommandation faite par le CIPM en 1980 n'éliminait pas la classe des unités supplémentaires en tant que telle. Il ne pouvait en effet en être autrement car une décision de ce type est une prérogative de la Conférence générale. Cependant dans les différentes éditions de la brochure sur le SI préparées par le CCU et parues en 1981, 1985 et 1991, le radian et le stéradian étaient traités comme des unités dérivées sans dimension tout en figurant dans une section séparée des autres unités dérivées.

En 1994, une fois de plus, le CIPM s'est penché sur la question du statut des unités supplémentaires du SI. Enfin, à la suite d'une proposition faite par le Comité technique TC 12 de l'ISO et après discussion au sein du CCU, le CIPM soumet à la présente Conférence générale le projet de résolution H demandant de supprimer la classe des unités supplémentaires dans le SI et, par conséquent, de considérer le radian et le stéradian comme des unités dérivées sans dimension. Ce faisant, le CIPM demande à la Conférence générale d'avaliser la décision qu'il a prise en 1980 et de mettre fin à une incertitude sur le statut de ces unités qui subsiste depuis 1960 et qui est fâcheuse pour la cohérence interne du SI.

M. QUINN présente le projet de résolution H, sur la suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI et, avant de terminer son exposé, il salue le travail de M. DE BOER qui a présidé, avec beaucoup de distinction et de sagesse, le Comité consultatif des unités depuis sa 1^{re} session, en 1967. Il souligne aussi la contribution de M. DE BOER, conjointement avec le regretté U. STILLE, à la création du Système international d'unités.

M. BLANC-LAPIERRE remercie M. QUINN pour son rapport et se joint à lui pour saluer l'excellent travail accompli par M. DE BOER comme président du CCU.

16. Programme des travaux futurs du Bureau international des poids et mesures

Le PRÉSIDENT donne la parole à M. QUINN, directeur du BIPM, pour la présentation du programme de travail du BIPM pour les années 1997-2000.

M. QUINN rappelle aux délégués qu'ils ont eu l'occasion de visiter les laboratoires du Bureau international des poids et mesures le mercredi 11 octobre et de voir les travaux en cours.

Le travail du BIPM est actuellement réparti en trois domaines principaux : la conservation des étalons afin d'assurer leur stabilité à long terme ; l'organisation de comparaisons internationales et, le cas échéant, la participation à ces comparaisons en utilisant les étalons et les étalonnages du BIPM ; les activités de recherche en vue de maintenir un niveau de connaissances suffisant pour les comparaisons et les étalonnages. En tant que directeur, il partage avec le Comité

international la responsabilité de pondérer les demandes concurrentes qui sont soumises au Bureau international.

Il attire l'attention des délégués sur un aspect du travail qui a beaucoup évolué depuis la précédente Conférence générale : il s'agit de la manière dont les comparaisons internationales se déroulent. Dans le passé, celles-ci avaient lieu au BIPM même, où les laboratoires apportaient leurs étalons. Maintenant, avec le développement d'étalons primaires indépendants transportables, il est possible de réaliser directement des reproductions d'étalons primaires des unités du SI et d'effectuer des comparaisons internationales de manière différente, en transportant les étalons dans les laboratoires nationaux. Les étalons primaires du BIPM peuvent être transportés par le personnel du BIPM dans un laboratoire national pour y être comparés à d'autres étalons appartenant à plusieurs laboratoires nationaux de la même zone géographique. Les avantages de cette façon de faire compensent largement l'effort supplémentaire qui est demandé à notre personnel. Des comparaisons internationales sont organisées de plus en plus souvent de cette manière, et le BIPM fait de son mieux pour en réduire le coût et faciliter l'accès des laboratoires nationaux à ces comparaisons.

Le PRÉSIDENT remercie M. QUINN pour son excellent rapport et ouvre la discussion.

M. KAARLS (Pays-Bas) rappelle, en qualité de président du Comité consultatif pour la quantité de matière, qu'il est nécessaire que le BIPM acquière une certaine expérience et des connaissances suffisantes dans le domaine de la métrologie en chimie pour faire autorité dans ce domaine. Ce point n'était pas mentionné dans le programme de travail.

M. TARBÉEV souligne que, lors des réunions du Groupe de travail *ad hoc* sur la dotation, la Fédération de Russie a témoigné son soutien total aux activités scientifiques du BIPM et à son directeur. Le programme de travail du BIPM est bon : il permet aux États membres de bénéficier des progrès techniques de toute la communauté internationale.

M. BLANC-LAPIERRE donne la parole à M. KOVALEVSKY pour la présentation des questions relatives à la dotation.

17. Dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures

En qualité de président du groupe de travail *ad hoc* sur la dotation, M. KOVALEVSKY présente le rapport suivant :

Le groupe de travail *ad hoc* sur la dotation a examiné les propositions de dotation pour les années 1997-2000 présentées dans la Convocation à la 20^e Conférence générale.

Le groupe a reconnu l'excellence et l'importance du travail du BIPM ainsi que du programme proposé. Il reconnaît également les efforts considérables déployés par le BIPM pour améliorer l'efficacité de son fonctionnement et son engagement à continuer ces efforts. Cependant, il est aussi très conscient de la situation économique difficile existant actuellement dans de nombreux États membres de la Convention du Mètre.

Le groupe accepte les arguments présentés à la Conférence en faveur d'un accroissement annuel de la dotation pour la Caisse de retraite, l'entretien et la remise en état des bâtiments du BIPM et l'inflation prévisible en France.

Le groupe reconnaît également que la complexité croissante de la métrologie induit des coûts supplémentaires.

Prenant en considération ce qui précède, le groupe de travail *ad hoc* sur la dotation recommande à la Conférence un projet de résolution I modifié de manière à ramener l'augmentation de la dotation à 4,5 % par an.

Le secrétaire de la Conférence rappelle que le groupe de travail a procédé à un vote préliminaire sur la dotation, et que l'Italie a voté contre. Avant de procéder au vote définitif, les délégations sont appelées à donner leur avis sur le projet de dotation pour les quatre années 1997

à 2000. M. KOVALEVSKY rappelle aux délégués que la dotation doit être adoptée sans aucun vote négatif.

M. KOVALEVSKY donne lecture du projet de résolution I sur la dotation du BIPM et, après s'être assuré que cela ne soulève aucune objection de principe, demande à chaque État membre de procéder à un vote blanc. Le vote fait apparaître quatre abstentions (É.-U. d'Amérique, Canada, Israël, Italie).

Mme GEBBIE (É.-U. d'Amérique) fait la déclaration suivante :

Les États-Unis reconnaissent la contribution substantielle du BIPM à la croissance économique, au commerce international et à la santé. L'étendue et la qualité des recherches faites au BIPM et des services rendus avec un budget aussi réduit sont vraiment impressionnants.

Nous pensons que les augmentations demandées par M. QUINN pour couvrir l'inflation, l'entretien des bâtiments, l'augmentation des fonds de pension et l'augmentation croissante de la complexité du travail scientifique sont bien justifiées.

Toutefois, le Congrès américain juge aussi prioritaire de réduire les déficits. Il exerce donc une très forte pression dans la législation des États-Unis d'Amérique pour réduire les dépenses de tous les organismes gouvernementaux. Le Département d'État, qui finance les contributions aux organisations internationales, est lui aussi soumis à cette pression.

Bien que le vote du budget ne soit pas terminé, il est déjà clair que les ressources dont les États-Unis disposeront pour les affaires étrangères en général seront réduites, et que celles qui seront disponibles pour financer les organisations internationales en particulier seront sévèrement réduites et le resteront dans un avenir prévisible.

Cela signifie que, pour l'année fiscale 1996, nous allons devoir faire face à une réduction importante des fonds affectés aux organisations internationales, ce qui menace notre capacité à faire face complètement à nos engagements.

Pour réduire l'effet de la réduction des recettes budgétaires, les États-Unis demandent systématiquement à toutes les organisations internationales de ne pas augmenter, en francs constants, leur budget, voire de le réduire. Si le budget de ces organisations augmente, le problème sera exacerbé : le déficit américain, et peut-être aussi celui d'autres États membres, augmentera, et les organisations ne seront plus capables d'exécuter les programmes pour lesquels le budget a été voté. Il faut réduire ces budgets à un niveau tel que les États membres puissent les assurer.

En ce qui concerne le BIPM en particulier, nous ne pensons pas disposer des fonds nécessaires pour financer la totalité du budget prévisionnel, même en 1996, mais plus encore pour la période 1997 à 2000. Ce serait malhonnête et irresponsable d'affirmer le contraire.

Je souligne que le traitement que nous réservons au BIPM n'est en rien spécifique ; nous appliquons systématiquement le même traitement à toutes les organisations. Nous avons même émis des votes négatifs à l'égard d'autres organisations qui demandaient une augmentation assez minime de leur budget. Nous reconnaissons toutefois qu'un vote négatif sur la dotation occasionnerait de sérieuses difficultés pour votre organisation et pourrait vous obliger à reconvoquer une Conférence générale d'ici quelques mois pour tenter d'établir un budget acceptable.

Les États-Unis s'abstiendront donc lors du vote de la dotation si celle-ci dépasse la somme de 25 918 000 francs-or pour la période 1997-2000.

Je vous remercie Monsieur le Président.

La délégation canadienne fait la déclaration suivante :

Le Gouvernement canadien a récemment annoncé des réductions importantes d'un grand nombre de dépenses. Ces mesures comprennent une réduction significative du budget du Conseil national de recherches du Canada qui finance, entre autres choses, le programme métrologique canadien. Ce programme englobe la contribution du Canada au BIPM, et toute augmentation du budget du BIPM implique une réduction des autres activités.

Le Canada reconnaît la grande qualité du travail accompli par le BIPM et les mesures difficiles qui ont été prises récemment pour restreindre les dépenses du BIPM. Toutefois, dans le climat de sévères restrictions financières actuel, le Canada se voit obligé de pousser le BIPM à prendre d'autres mesures pour réduire toute augmentation de la dotation du BIPM à l'avenir.

Dans ce contexte, le Canada devra s'abstenir lors du vote de la dotation telle qu'elle est proposée dans le projet de résolution I, qui demande une augmentation de 4,5 % du budget annuel pour les années 1997-2000.

La délégation danoise reconnaît la grande qualité et le bien fondé du travail accompli par le BIPM, les efforts accomplis par le personnel du BIPM pour répondre aux besoins des États membres, malgré la diversité de ces besoins, et la bonne volonté du BIPM d'adopter de nouveaux modes de fonctionnement qui auront une grande influence sur l'efficacité de la métrologie mondiale à l'avenir.

La délégation italienne rend hommage à la qualité et à l'efficacité du travail accompli au BIPM et au programme de travail pour la période 1997-2000 et fait la déclaration suivante :

La délégation italienne comprend les raisons qui ont conduit le BIPM à demander une augmentation de la dotation et prend acte, avec satisfaction, de la volonté de stabiliser les effectifs.

Le Gouvernement italien est cependant très préoccupé de l'augmentation de la contribution italienne résultant de la modification des pourcentages de répartition, augmentation supérieure à celle des autres pays. Cette augmentation est demandée au Gouvernement italien à un moment où celui-ci est déterminé à geler ses dépenses, voire à les supprimer, c'est pourquoi la délégation italienne a exprimé un vote négatif à l'encontre de la proposition présentée lors de la réunion du groupe de travail *ad hoc* sur la dotation.

Toutefois, pour assurer la continuité de l'activité du BIPM, la délégation italienne s'abstiendra lors du vote final. Enfin, elle exprime le vœu que le mode de calcul des pourcentages de répartition soit révisé d'ici la prochaine Conférence générale.

La délégation japonaise se joint aux nombreux autres pays pour féliciter le BIPM pour son excellent travail et soutenir la proposition du groupe de travail sur la dotation, reconnaissant l'importance de la métrologie pour le développement des sciences et des techniques modernes. Cependant, depuis quelques années, le Gouvernement japonais est préoccupé des arriérés de contributions dus par certains pays, arriérés qui atteignent aujourd'hui environ 4 % de la dotation globale du BIPM et qui sont répartis sur les autres pays, conformément à l'Article 6 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre. Le Gouvernement japonais espère que les États membres feront des efforts supplémentaires pour réduire ces arriérés au minimum dans le futur, tout en comprenant que certains pays aient actuellement des difficultés économiques passagères.

La délégation indienne souhaite que, à l'avenir, le programme de travail et le budget adoptés par la Conférence générale correspondent à la période entre deux conférences générales. Elle estime utile que les études prospectives du Comité international soient communiquées en temps utile aux délégations, afin de permettre aux Gouvernements de savoir si l'on se dirige vers une politique de croissance linéaire, une asymptote ou une croissance exponentielle.

La Conférence générale a procédé ensuite au vote définitif (*voir* Point 20, page 113).

18. Propositions des Délégués

Le PRÉSIDENT informe les délégués que le Comité international n'a reçu aucune proposition officielle à soumettre à la Conférence générale.

La délégation du Brésil demande si la Conférence générale ne pourrait pas aider les laboratoires nationaux des pays en voie de développement en souscrivant à une assurance de groupe moins onéreuse pour couvrir les risques encourus par le transport d'étalons lors des comparaisons internationales.

M. QUINN lui répond que la question du transport des instruments est une question délicate qui englobe à la fois des problèmes d'assurance et de sécurité. Une solution est de demander à un membre du laboratoire concerné de transporter les instruments à la main. Une autre solution est d'utiliser la valise diplomatique, mais beaucoup de pays y sont réticents.

19. Renouvellement par moitié du Comité international

Le PRÉSIDENT demande à M. KOVALEVSKY de procéder au renouvellement par moitié du Comité international, conformément à l'Article 8 du Règlement annexé à la Convention du Mètre (1921). Sont soumis à cette élection tous les membres qui ont été cooptés depuis la précédente Conférence générale, plus, éventuellement d'autres membres si la liste n'est pas complète. Le secrétaire annonce que le Comité international a coopté dix membres depuis la dix-neuvième Conférence générale, la liste est donc complète.

Il est procédé au vote à bulletin secret, par pays, chaque chef de délégation étant appelé à déposer son bulletin dans l'urne. Le dépouillement est confié à deux scrutateurs : MM. KOSE (Allemagne) et BLEVIN (Australie). Après une interruption de quelques minutes, le résultat du vote est proclamé. Trente-sept votes ont été exprimés :

MM. CROVINI	37
GAO Jie.....	37
Mme GEBBIE	36
MM. GOPAL	37
KAARLS	37
LOUNASMAA	36
MOSCATI	36
PÂQUET	35
TARBÉEV	35
VANIER	36

Tous les membres proposés par le Comité international sont élus. Aucun nouveau nom n'est proposé.

20. Questions diverses

Vote des résolutions

Le PRÉSIDENT rappelle que les projets de résolution ont été présentés et discutés lors de la présentation des rapports du président du Comité international et des présidents des comités consultatifs, et que les délégués ont déjà été appelés à exprimer leurs remarques ou suggestions.

Avant de procéder au vote, le délégué de la Turquie informe le Président de la Conférence qu'il sera obligé de s'absenter une partie de l'après-midi. Au cas où le vote de la dotation interviendrait à ce moment-là, il exprime le souhait de déléguer son vote à la délégation française. Après s'être assuré qu'il n'y a aucune objection de principe, le Président prend acte de cette

délégation de pouvoir. Celle-ci n'a pas été utilisée pour le vote de la Résolution sur la dotation du BIPM, puisque le délégué de la Turquie avait rejoint la Conférence au moment du vote.

M. KOVALEVSKY donne lecture du projet de résolution A. Ce projet concerne la nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes. La résolution est adoptée, sans changement, à l'unanimité, comme Résolution 1.

Il donne ensuite lecture du projet de résolution B. Ce projet concerne la traçabilité des étalons au niveau mondial. Cette résolution est adoptée, après de légères modifications, comme Résolution 2, avec une abstention (Nouvelle-Zélande).

La délégation de Nouvelle-Zélande explique qu'elle s'est abstenue parce qu'elle craint que le développement des groupes régionaux de métrologie n'empêche, d'une certaine manière, les laboratoires nationaux d'accéder directement au BIPM. En approuvant cette résolution, la Conférence générale semble donner du poids aux groupes régionaux.

M. QUINN lui répond que, du point de vue du BIPM, l'existence de groupes régionaux ne constitue en aucune manière une barrière entre les organes de la Convention du Mètre et les laboratoires nationaux de métrologie. Chaque laboratoire national aura toujours le choix de relier ses étalons à ceux des groupes régionaux ou directement à ceux du BIPM.

M. KOVALEVSKY présente le projet de résolution C. Ce projet concerne le besoin de recherches métrologiques à long terme. Cette résolution est adoptée, sans changements, à l'unanimité, comme Résolution 3.

M. KOVALEVSKY donne ensuite lecture du projet de résolution D. Ce projet concerne la révision de la mise en pratique de la définition du mètre. Cette résolution est adoptée, sans changements, à l'unanimité, comme Résolution 4.

Le projet de résolution E concerne le contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme. Cette résolution est adoptée, sans changements, à l'unanimité, comme Résolution 5.

M. KOVALEVSKY poursuit en donnant lecture du projet de résolution F, sur la comparaison d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites. La résolution est adoptée, sans changements, à l'unanimité, comme Résolution 6.

Puis il donne lecture du projet de résolution G, sur la métrologie en chimie. Cette résolution est adoptée, sans changements, à l'unanimité, comme Résolution 7.

Le projet suivant concerne la résolution H, sur la suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI. Cette résolution est adoptée, sans changements, à l'unanimité, comme Résolution 8.

M. KOVALEVSKY rappelle ensuite le projet de résolution I, sur la dotation du BIPM, qui a déjà été soumis aux délégués pour un vote blanc. Cette résolution est adoptée, avec quatre abstentions (É.-U. d'Amérique, Canada, Israël, Italie), comme Résolution 9.

Plusieurs délégations rendent ensuite hommage au travail effectué par les laboratoires du BIPM. M. KOVALEVSKY souligne l'effort considérable qui a été fait par les États membres dans la situation économique difficile que nous connaissons et les remercie de leur confiance.

M. KOVALEVSKY donne lecture du projet de résolution J. Ce projet concerne les futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale. Cette résolution est adoptée, avec quelques changements et ajustements dans l'anglais, à l'unanimité, comme Résolution 10.

La dernière résolution proposée, le projet de résolution K sur les besoins à long terme de la métrologie, est adoptée, après quelques changements, à la demande de la délégation américaine, à l'unanimité, comme Résolution 11.

Rapport du Groupe de travail ad hoc sur l'équivalence des étalons nationaux

M. KIND, président du Comité international, présente le rapport du Groupe de travail *ad hoc* sur l'équivalence des étalons nationaux qui s'est réuni le mercredi 11 octobre, avec la participation des présidents des comités consultatifs. Les conclusions de ce groupe sont les suivantes :

Le BIPM est tout d'abord chargé d'étudier la situation actuelle, en collaboration avec les Comités consultatifs, en vue de la reconnaissance des étalons de mesure et il est demandé à M. QUINN de prendre contact avec les organismes d'accréditation ayant une expé-

rience dans ce domaine pour savoir quels sont les besoins réels en termes d'équivalence internationale.

Un projet de rapport sera présenté à la prochaine session du CIPM.

Réception au ministère des Affaires étrangères

Le lundi 9 octobre, à 18 h, M. J. DE GLINIASTY, directeur des Nations unies et organisations internationales du ministère des Affaires étrangères de la République française, a ouvert, au nom de son Excellence Monsieur le ministre des Affaires étrangères, la réception offerte aux délégués à la Conférence générale dans les salons du Centre de conférences internationales de l'avenue Kléber.

Il a rappelé que l'organisation créée par la Convention du Mètre il y a cent vingt ans, le Bureau international des poids et mesures, est la plus ancienne organisation intergouvernementale en France. À ce fascinant aspect historique s'ajoutent toute la technicité et la qualité du travail réalisé par le Bureau international.

Les pressions exercées actuellement en vue de la rationalisation et d'une plus grande efficacité du travail conduisent au rapprochement des deux organisations intergouvernementales de métrologie basées à Paris, le Bureau international des poids et mesures et le Bureau international de métrologie légale, une question à l'ordre du jour de cette conférence.

M. DE GLINIASTY a terminé son discours en souhaitant beaucoup de succès à cette conférence.

M. KIND, au nom du Comité international, a remercié M. DE GLINIASTY pour cette réception. Il a rappelé l'aspect historique du Bureau international, ainsi que la haute technicité et la précision du travail réalisé dans ses laboratoires, en collaboration avec les laboratoires nationaux de métrologie.

Réception à l'ambassade d'Allemagne

Le mardi 10 octobre, à 18 h 30, les chefs de délégation à la Conférence générale ont été invités par M. le baron W. von STACKELBERG, Premier conseiller scientifique à l'ambassade d'Allemagne, à une réception donnée à la chancellerie de l'ambassade d'Allemagne.

Visite du Bureau international des poids et mesures

Comme de coutume, les délégués à la Conférence générale ont été invités à une visite des laboratoires du Bureau international des poids et mesures, le mercredi 11 octobre 1995. Il leur a ainsi été possible de visiter les laboratoires du Bureau international et de discuter avec les physiciens qui leur ont présenté :

- les horloges à césium Hewlett-Packard et les récepteurs de temps du GPS ;
- le laboratoire de l'effet Hall quantique et l'étalon de tension utilisant des réseaux de jonctions de Josephson, ainsi que les installations pour les mesures automatisées de résistances de 10 k Ω pour les étalonnages et les comparaisons bilatérales ;
- les méthodes utilisées pour les mesures de radioactivité et les mesures de rayonnement gamma dans l'air (étalon au ^{137}Cs) ;
- le radiomètre cryogénique du BIPM et le dispositif expérimental de spectro-radio-métrie ;
- les installations pour la mise en pratique de la définition du mètre ;
- la balance à suspensions flexibles FB-2, la balance à couteaux NBS-2, la balance hydrostatique et la balance HK 1000 MC.

La visite des laboratoires a été suivie, à 16 h, de la visite du dépôt des prototypes métriques et, à 17 h, d'une réception au Pavillon de Breteuil offerte par le président du Comité international et le directeur du Bureau international.

Visite du dépôt des prototypes métriques

La visite officielle au caveau où sont conservés les prototypes métriques a donné lieu au rapport suivant :

PROCÈS-VERBAL
DE LA
VISITE DU DÉPÔT DES PROTOTYPES MÉTRIQUES

Le 11 octobre 1995, à 16 h, en présence du président du Comité international des poids et mesures, du directeur du Bureau international des poids et mesures et du représentant du conservateur des Archives de France, il a été procédé à la visite du dépôt des prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clés qui ouvrent le dépôt : celle qui est confiée au directeur du Bureau international, celle qui est déposée aux Archives nationales, à Paris et que Madame L. Favier avait apportée, celle enfin dont le président du Comité international a la garde.

Les deux portes de fer du caveau ayant été ouvertes ainsi que le coffre-fort, on a constaté dans ce dernier la présence des prototypes et de leurs témoins.

On a relevé les indications suivantes sur les instruments de mesure placés dans le coffre-fort :

température actuelle	:	21,5 °C
température maximale*	:	21,5 °C
température minimale*	:	20,0 °C
état hygrométrique	:	70 %

On a alors refermé le coffre-fort ainsi que les portes du caveau.

Le Directeur
du BIPM,
T.J. QUINN

Pour le Conservateur
des Archives de France,
L. FAVIER

Le Président
du CIPM,
D. KIND

Clôture de la Conférence générale

M. KIND constate que l'ordre du jour est épuisé. Au nom du Comité international des poids et mesures, il remercie tous les délégués à cette Conférence générale et tient à exprimer sa satisfaction du travail accompli par le Bureau international. Il lui semble que son sentiment est partagé et se reflète dans les réactions positives des États membres de la Convention du Mètre. Il remercie M. BLANC-LAPIERRE pour la manière dont il a présidé cette vingtième Conférence générale.

M. BLANC-LAPIERRE s'associe à M. KIND pour féliciter le BIPM pour son excellent travail. Cette conférence a été pour lui une grande promenade dans la physique de qualité. Il rappelle qu'il avait déjà eu la chance il y a douze ans d'être à cette place, et c'est pour lui un plaisir et un honneur de déclarer clôturée, à 16 h 45, cette vingtième Conférence générale des poids et mesures.

* depuis la précédente visite.

RÉSOLUTIONS ADOPTÉES PAR LA
20^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

Nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes

RÉSOLUTION 1

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant que

— les effets des activités industrielles et commerciales ainsi que ceux de nombreuses autres activités humaines sur la géosphère et la biosphère et leurs conséquences sur la santé et le bien-être humains font l'objet d'importantes études dans le monde entier,

— les Gouvernements sont de plus en plus amenés à prendre des décisions réglementant ces activités, avec des répercussions économiques et politiques majeures,

— les choix politiques des Gouvernements sont influencés par les résultats d'études qui dépendent de manière critique de l'exactitude et de la cohérence de mesures pouvant nécessiter d'importants investissements économiques,

— de nombreuses preuves scientifiques importantes sur lesquelles s'appuient ces décisions sont issues de mesures de petites variations à long terme de certains paramètres clés, mesures qui s'étendent parfois sur plusieurs décennies,

— certaines mesures critiques ont été traditionnellement exprimées en utilisant des unités *ad hoc*, fondées sur des instruments et des méthodes spécifiques, et non pas les unités du SI, lesquelles sont bien définies et adoptées au niveau international,

— depuis de nombreuses années l'expérience montre que les mesures qui ne sont pas reliées directement au SI ne sont ni fiables à long terme, ni comparables aux mesures semblables faites ailleurs ni adaptées à la mise en évidence de relations avec les mesures faites dans d'autres domaines scientifiques,

recommande que les responsables des études sur les ressources terrestres, l'environnement, le bien-être humain et les problèmes connexes fassent le nécessaire pour que les mesures effectuées dans le cadre de leurs programmes soient exprimées en unités bien définies du SI afin d'en assurer la fiabilité à long terme, la cohérence mondiale et le rattachement aux autres domaines scientifiques et techniques grâce au système de mesures mondial établi et conservé dans le cadre de la Convention du Mètre.

Traçabilité des étalons au niveau mondial

RÉSOLUTION 2

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— les exigences croissantes de traçabilité des mesures à différents niveaux d'exactitude pour les sciences, les techniques et le commerce international,

— l'existence de groupes au sein desquels collaborent des laboratoires nationaux de métrologie dans les différentes régions du monde,

— le besoin d'une reconnaissance à l'échelle mondiale de l'équivalence ou de la traçabilité des étalons entre les laboratoires nationaux et les groupes régionaux au sein desquels collaborent des laboratoires nationaux,

— les possibilités d'étalonnage qu'assure le Bureau international des poids et mesures (BIPM) au bénéfice des laboratoires nationaux,

— le rôle du BIPM dans la coordination et l'exécution, à l'échelle mondiale, de comparaisons des étalons au plus haut niveau entre les laboratoires nationaux,

— la participation nécessaire des laboratoires nationaux aux comparaisons internationales,

accueille favorablement la tendance des laboratoires nationaux de métrologie à former des groupes régionaux, en tant que méthode efficace pour développer la coopération et l'exécution de comparaisons régulières des étalons nationaux entre des laboratoires dont certains ne participent pas aux comparaisons effectuées par le BIPM ou les Comités consultatifs,

reconnaît l'intérêt que présentent les liaisons entre les comparaisons organisées sous l'égide du BIPM et celles qu'effectuent ces groupes régionaux,

recommande

— que les laboratoires nationaux de métrologie, en collaboration avec le BIPM, fassent en sorte que les comparaisons nécessaires d'étalons nationaux soient effectuées en nombre suffisant pour assurer l'équivalence ou la traçabilité des étalons au niveau mondial,

— que des liaisons convenables soient maintenues entre les comparaisons exécutées sous l'égide du BIPM et celles qui sont effectuées par les groupes régionaux,

— et que les résultats des comparaisons effectuées par les groupes régionaux soient communiqués au BIPM sous une forme convenable pour publication par le BIPM afin qu'ils puissent ainsi bénéficier d'une reconnaissance au niveau international.

Besoin de recherches métrologiques à long terme

RÉSOLUTION 3

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— que les besoins des sciences, des techniques et du commerce international en matière d'exactitude et d'efficacité des mesures croissent de façon permanente,

— que la mise au point de meilleurs étalons et techniques de mesure doit être effectuée bien avant leur application dans les domaines scientifiques et industriels,

— que de tels progrès ne peuvent avoir lieu qu'à partir de bases solidement établies sur des recherches métrologiques à long terme, elles-mêmes étroitement liées aux progrès des sciences,

recommande que les laboratoires nationaux

— continuent à entreprendre des recherches métrologiques à long terme aussi bien qu'à répondre aux besoins plus immédiats des services métrologiques et

— informent régulièrement le Bureau international des poids et mesures des résultats des travaux liés à la métrologie fondamentale.

Révision de la mise en pratique de la définition du mètre

RÉSOLUTION 4

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

rappelant

— que la 17^e Conférence générale des poids et mesures, en 1983, a adopté une nouvelle définition du mètre,

— que la même année, la Conférence générale a invité le Comité international des poids et mesures

— à établir des instructions pour la mise en pratique de cette définition,

— à choisir des radiations qui puissent être recommandées comme étalons de longueur d'onde pour les mesures de longueur par interférométrie et à donner les instructions nécessaires pour leur utilisation,

— à poursuivre les études nécessaires pour améliorer ces étalons et à étendre ou réviser ces instructions en temps utile,

— que, en conséquence, le Comité international a publié en 1983 une recommandation pour la mise en pratique de la définition du mètre,

considérant

— que les sciences et les techniques continuent à exiger une exactitude croissante des réalisations du mètre,

— que, depuis 1983, les travaux effectués dans les laboratoires nationaux, au Bureau international des poids et mesures et ailleurs ont amélioré de façon substantielle la reproductibilité des radiations qui peuvent être utilisées pour la mise en pratique de la définition du mètre,

— que ces travaux ont aussi permis de réduire notablement l'incertitude associée à la valeur de la fréquence et de la longueur d'onde de certaines de ces radiations,

accueille favorablement l'adoption par le Comité international d'une version révisée de la mise en pratique de la définition du mètre, qui tient compte des résultats de ces récents travaux

et

recommande aux laboratoires nationaux de poursuivre leurs recherches sur les étalons de longueur d'onde et de fréquence optiques en vue d'améliorer encore la base expérimentale du Système international d'unités.

Contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme

RÉSOLUTION 5

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— les résultats de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme qui font apparaître des dérives de la masse des prototypes nationaux, des étalons de travail du Bureau international des poids et mesures et des témoins par rapport à celle du prototype international,

— l'impossibilité de tirer de ces résultats, de par leur nature, des conclusions catégoriques quant à la stabilité à long terme du prototype international et des autres prototypes,

— les résultats des recherches effectuées dans de nombreux laboratoires nationaux pour tenter de comprendre les phénomènes qui conduisent à l'instabilité des étalons de masse,

— les progrès actuels obtenus par divers laboratoires dans l'étude de méthodes indépendantes pour contrôler la stabilité des étalons de masse,

recommande que les laboratoires nationaux poursuivent les recherches entreprises et en explorent de nouvelles afin de contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme et, le moment venu, d'ouvrir la voie à une nouvelle définition de l'unité de masse fondée sur des constantes fondamentales ou atomiques.

Comparaison d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites

RÉSOLUTION 6

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— que l'on a besoin de comparaisons d'horloges distantes avec la meilleure exactitude possible,

— que des comparaisons d'horloges entre l'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord ont été réalisées, avec succès, et avec une précision de 100 ps, par l'expérience LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit), sur satellite géostationnaire,

— que l'exactitude des techniques de comparaison d'horloges, telles que celles qui utilisent les systèmes GPS (Global Positioning System), GLONASS (Global Navigation Satellite System) ou des méthodes bidirectionnelles par satellites, doit être confirmée par des méthodes indépendantes,

— que des solutions ont été proposées qui peuvent conduire à des comparaisons d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites à défilement,

rappelant la Résolution 4 de la 18^e Conférence générale en 1987, qui concerne aussi les comparaisons d'horloges au moyen de satellites,

recommande que les agences spatiales étudient l'installation sur leurs satellites d'équipements permettant d'effectuer des comparaisons d'horloges utilisant des techniques par laser visant des satellites.

Métrologie en chimie

RÉSOLUTION 7

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— que la fiabilité des résultats d'analyses chimiques quantitatives est importante pour le commerce international, pour la protection de l'environnement, et pour la santé et la sécurité humaines,

— que la fiabilité implique l'uniformité mondiale et la stabilité à long terme et qu'elle ne peut être assurée qu'en reliant fermement les mesures au Système international d'unités,

— que d'énormes difficultés existent pour établir la traçabilité au niveau international pour les mesures chimiques,

— que les laboratoires nationaux de métrologie sont de plus en plus engagés dans l'établissement de cette traçabilité,

accueille favorablement la création par le Comité international d'un Comité consultatif pour la quantité de matière pour explorer ce domaine

et

invite les laboratoires nationaux et les autres organismes nationaux, régionaux ou internationaux compétents réunissant des spécialistes de la mesure en chimie à collaborer avec le Comité international et le nouveau Comité consultatif en vue d'établir mondialement la traçabilité au plus haut niveau pour les mesures chimiques.

Suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI

RÉSOLUTION 8

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— que la 11^e Conférence générale, en 1960, dans sa Résolution 12 établissant le Système international d'unités, SI, a distingué trois classes d'unités, celle des unités de base, celle des unités dérivées et celle des unités supplémentaires, cette dernière comprenant seulement le radian et le stéradian,

— que le statut des unités supplémentaires par rapport aux unités de base et aux unités dérivées a donné lieu à des discussions,

— que le Comité international des poids et mesures (CIPM), en 1980, constatant que le statut ambigu des unités supplémentaires compromet la cohérence interne du SI, a interprété dans sa Recommandation 1 (CI-1980) les unités supplémentaires, dans le SI, comme des unités dérivées sans dimension,

approuvant l'interprétation donnée par le CIPM en 1980,

décide

— d'interpréter les unités supplémentaires, dans le SI, c'est-à-dire le radian et le stéradian, comme des unités dérivées sans dimension dont les noms et les symboles peuvent être utilisés, mais pas nécessairement, dans les expressions d'autres unités dérivées SI, suivant les besoins,

— et, par conséquent, de supprimer la classe des unités supplémentaires en tant que classe séparée dans le SI.

Dotation du BIPM

RÉSOLUTION 9

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— l'importance des travaux effectués par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) et les services que celui-ci rend aux États membres de la Convention du Mètre,

— les efforts considérables déployés par le BIPM pour améliorer l'efficacité de son fonctionnement, et son engagement à continuer ces efforts,

— la nécessité de lui assurer les ressources suffisantes pour qu'il puisse accomplir de façon satisfaisante les tâches que lui prescrit la Conférence générale,

— la situation économique difficile existant actuellement dans de nombreux États membres de la Convention du Mètre,

décide que la partie fixe de la dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures sera augmentée de telle façon que l'ensemble de la partie fixe et de la partie complémentaire (définie à l'Article 6 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre de 1875) soit, pour les États parties à la Convention à l'époque de la 20^e Conférence générale des poids et mesures, portée à

27 144 000 francs-or en 1997
28 365 000 francs-or en 1998
29 642 000 francs-or en 1999
30 976 000 francs-or en 2000.

Futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale

RÉSOLUTION 10

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

— la proposition faite par le Gouvernement français d'un rapprochement entre les organisations créées d'une part par la Convention du Mètre et d'autre part par le Traité de l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), en vue d'une fusion éventuelle des deux organisations,

— l'accord de nombreux États membres de la Convention du Mètre reconnaissant que les discussions communes suggérées par la proposition française sont souhaitables,

— la nécessité de prendre spécialement en compte dans ces discussions le besoin permanent d'optimiser l'efficacité des organisations intergouvernementales dans l'exécution de leurs missions, actuellement aussi bien qu'à plus long terme,

invite le président du Comité international des poids et mesures, conjointement avec le président du Comité international de métrologie légale, à désigner un groupe de travail commun pour étudier les moyens d'améliorer la coopération et l'efficacité des deux organisations dans la réalisation de leurs objectifs et l'utilisation de leurs ressources, y compris, mais non exclusivement, la possibilité de les fusionner

et

demande au Comité international des poids et mesures, après avoir pris connaissance du rapport de son président, de faire connaître aux États membres de la Convention du Mètre les résultats des discussions et son opinion au sujet de l'opportunité de poursuivre des actions dans ce sens.

Métrieologie : besoins à long terme

RÉSOLUTION 11

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

se référant à la Résolution 1 : Nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes, à la Résolution 2 : Traçabilité des étalons au niveau mondial, et à la Résolution 3 : Besoin de recherches métrologiques à long terme,

considérant

— l'impact tout particulier de la métrologie sur le développement économique et le commerce international des États membres,

— la contribution du Bureau international des poids et mesures (BIPM) et des laboratoires nationaux de métrologie à ces objectifs,

demande au Comité international des poids et mesures d'étudier les besoins nationaux et internationaux à long terme relatifs à la métrologie, les nécessaires collaborations internationales et le rôle primordial du BIPM pour faire face à ces besoins, les engagements financiers ou autres qui seront demandés aux États membres au cours des décennies à venir, et d'en rendre compte.

20th CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

PROCEEDINGS

Note on the use of the English text

Following a suggestion made by a delegation at the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures and to make them more accessible to the many readers who are more familiar with the English language than with the French, the proceedings of the 20th Conférence Générale are published in English as well as in French. Note, however, that the official version, particularly of the Resolutions voted by the Conférence, is the French one.

Note sur l'utilisation du texte anglais

Suite à la suggestion faite par une délégation à la 18^e Conférence générale des poids et mesures et pour faciliter leur consultation aux nombreux lecteurs qui sont plus familiers avec la langue anglaise qu'avec la langue française, les Comptes rendus de la 20^e Conférence générale sont présentés en anglais en même temps qu'en français. Il n'en demeure pas moins que la version officielle, en particulier des résolutions adoptées par la Conférence, est la version en langue française.



CONVOCATION

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures is hereby convoked for Monday the 9th of October 1995

Constitution of the Conférence Générale des Poids et Mesures

Convention du Mètre (1875): Article 3 (*)

The operation of the Bureau International shall be under the exclusive direction and supervision of a *Comité International des Poids et Mesures*, which latter shall be under the control of a *Conférence Générale des Poids et Mesures*, to be composed of the delegates of all the contracting Governments.

Rules annexed to the Convention du Mètre (1875): Article 7 (*)

The Conférence Générale, mentioned in Article 3 of the Convention, will meet in Paris on the convocation of the Comité International at least once every six years. Its task is to discuss and to initiate measures necessary for the propagation and improvement of the metric system, and to sanction new fundamental metrological determinations which may have been made between its meetings. It will receive a Report of the Comité International on the work accomplished and will proceed, by secret ballot, to the renewal of half of the Comité International.

Votes at the Conférence Générale take place by States: each State has the right to one vote.

The members of the Comité International have the right to take part in the meetings of the Conférence. They may at the same time be delegates of their Governments.

Place and dates of sessions

All the sessions will take place at the
Centre de Conférences Internationales, 19, avenue Kléber, Paris 16^e
in a room offered by the
Ministère des Affaires Étrangères de France
with simultaneous translation in French, English and Russian

First	session,	Monday 9 October 1995	at 10 h.
Second	session,	Monday 9 October 1995	at 15 h.
Third	session,	Wednesday 11 October 1995	at 15 h.
Fourth	session,	Thursday 12 October 1995	at 15 h.
Fifth	session,	Friday 13 October 1995	at 10 h.
Sixth	session,	Friday 13 October 1995	at 15 h.

A visit to the Bureau International followed by a reception at the Pavillon de Breteuil will take place on Tuesday 10 October 1995 at 15 h.

(*) BIPM translation.

PROVISIONAL AGENDA

1. Opening of the Conference.
Address by His Excellency the Ministre des Affaires Étrangères de la République Française.
Reply by the President of the Comité International des Poids et Mesures.
Address by the President of the Académie des Sciences de Paris, President of the Conference.
 2. Presentation of credentials by Delegates.
 3. Nomination of Secretary of the Conference.
 4. Establishment of the list of Delegates entitled to vote.
 5. Approval of the Agenda.
 6. Report of the President of the Comité International on the work accomplished.
 7. Length and the definition of the metre.
 8. Mass and related quantities: the third periodic verification of national prototypes of the kilogram.
 9. The second and International Atomic Time.
 10. Electrical standards.
 11. Temperature: the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90).
 12. Photometry and radiometry.
 13. The mole and measurements of amount of substance.
 14. Ionizing radiation.
 15. The Système International d'Unités (SI).
 16. Programme of future work at the Bureau International.
 17. Annual dotation of the Bureau International.
 18. Proposals from Delegates.
 19. Renewal of half of the Comité International.
 20. Other business.
-

NOTES ON THE PRINCIPAL POINTS OF THE AGENDA

1. Opening of the Conference

The date of the opening of the 20th Conférence Générale des Poids et Mesures is four years after the opening of the previous Conference. This interval is appropriate in view of the recent and still existing rapid rate of evolution in metrology resulting from advances in physics and technology, advances which, in turn, must be supported by a continually updated metrology.

2. Presentation of credentials by Delegates

To ensure the proper running of the Conference it is desirable that the Bureau International be informed of the composition of each Delegation at least two weeks before the opening of the Conference.

On their arrival, Delegates are asked to present their credentials to the Conference Secretariat.

6. Report of the President of the Comité International des Poids et Mesures on work accomplished

Article 19 of the Rules annexed to the Convention du Mètre stipulates that "The President of the Comité International will give the Conférence Générale an account of work carried out since the time of the last meeting".

In his Report the President will highlight the increasingly important role that metrology now plays in international trade, in high technology manufacturing, in the protection of the environment and in human health and safety. In all of these areas a stable and easily accessible world-wide system of measurement based on the Système International d'Unités (SI) is essential. This is particularly important when determining small changes in key parameters occurring over a long period of time. This matter is addressed in draft Resolution A.

The need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues

Draft Resolution A

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering that

— the effects on the geosphere and biosphere of industrial and commercial activities and of many other human pursuits, and the consequences for human health and well-being, are the subject of major studies world-wide,

— governments are increasingly faced with decisions of great economic and political significance concerning the regulation of these activities,

— the policies of governments are influenced by studies depending critically on accurate and mutually compatible measurements often requiring very large economic investments,

— much of the important scientific evidence required for decisions by governments comes from measurements of small changes in certain key parameters, measurements sometimes extending over several decades,

— certain critical measurements have traditionally been made in *ad hoc* units based upon special instrumentation or procedures, and not in the well-characterized and internationally agreed SI units,

— experience over many years has shown that measurements not directly linked to the SI cannot be relied upon in the long term, cannot be compared with similar measurements made elsewhere and do not adequately bring out possible relationships with measurements made in other scientific disciplines,

recommends that those responsible for studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues ensure that measurements made within their programmes are in terms of well-characterized SI units so that they are reliable in the long term, are comparable world-wide and are linked to other areas of science and technology through the world's measurement system established and maintained under the Convention du Mètre.

The need for demonstrable world-wide traceability of measurement standards has intensified in recent years, one important reason being the greater attention paid to quality assurance and its dependence on accurate metrology. In response, the BIPM and the Comités Consultatifs are placing increased emphasis on international comparisons of measurement standards at the highest level between national metrology laboratories. These are carefully chosen so as to link not only the participating institutes but also the groups of such metrology laboratories in different regions of the world. The roles of these comparisons and those of the regional groups of metrology institutes are addressed in draft Resolution B and will be further developed by the President in his report to the Conférence Générale.

World-wide traceability of measurement standards

Draft Resolution B

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the increasingly stringent requirements of science, technology and international trade for traceability in measurement at many levels of accuracy,

— the existence of groups of cooperating national metrology laboratories in different regions of the world,

— the need to demonstrate world-wide equivalence or traceability of measurement standards among national laboratories and regional groups of cooperating national laboratories,

— the role of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in carrying out and coordinating world-wide comparisons of standards at the highest level among the national laboratories,

welcomes the trend towards regional grouping of national metrology laboratories as an efficient way of promoting cooperation and regular comparisons of national standards among laboratories, some of which do not participate in comparisons carried out by the BIPM or the Comités Consultatifs,

recognizes the global advantages of interconnections between the comparisons carried out under the auspices of the BIPM and those of the regional groups of metrology laboratories,

recommends

— that national metrology laboratories, in collaboration with the BIPM, ensure that the necessary comparisons between national standards are carried out in sufficient number to demonstrate international traceability of measurement standards,

— that adequate interconnections are maintained between the comparisons carried out under the auspices of the BIPM and those carried out by the regional groups

— and that, the results of comparisons carried out by the regional groups be communicated to the BIPM in appropriate form for them to be published by the BIPM and thereby given wide international recognition.

The establishment of accurate and practical measurement standards linked to fundamental constants, and having the range and diversity required for the whole of modern science and technology, is a major undertaking. With the exception of the kilogram, measurement standards are rarely static and those for practically all the other units of the SI have been transformed in recent years to take advantage of discoveries in physics. The different domains of measurement science, for example length, time and electricity, are much more closely linked than in the past since all are now intimately linked through a common dependence on quantum and solid-state physics. This underlines the need addressed in draft Resolution C for long-term metrological research.

The need for long-term metrological research

Draft Resolution C

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the continual increase in demand for accurate and efficient measurement in science, technology and international trade,

— that the development of improved measurement standards and techniques needs to be carried out well in advance of their application in science and industry,

— that these developments can only take place on the basis of a solid foundation of long-term metrological research closely linked to advances in science,

recommends that national laboratories

— continue to undertake long-term metrological research as well as meeting the more immediate requirements of measurement services and

— keep the Bureau International des Poids et Mesures informed as to the results of the work related to fundamental metrology.

Since the last Conférence Générale an important new area of metrology has been taken up by the Comité International. This concerns measurements of amount of substance, a quantity whose unit is the mole. By establishing a Comité Consultatif in this field, the Comité International has responded to a clear and rapidly growing need for world-wide coordination at the highest level. The Comité Consultatif will have as one of its principal aims that of improving the accuracy of measurements in national laboratories and thereby beginning the process of establishing world-wide traceability in chemical measurements, something that is now urgently needed.

In addition to giving a detailed account of the work carried out in the laboratories of the Bureau International, the President will report to the Conférence Générale on the financial and other measures taken by the Comité International in response to the sudden reduction in income to which the Bureau was subjected, shortly after the 19th Conférence Générale, as a result of world-wide political events affecting certain Member States of the Convention du Mètre.

7. Length and the definition of the metre

The provision of highly accurate standards for length measurement remains one of the central tasks of national laboratories. These include not only laser wavelength standards but also a wide variety of mechanical standards, such as those required for the calibration and verification of coordinate measuring machines, line standards for micrometrology and angle standards. New international comparisons have begun in these fields under the auspices of the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre taking particular care to include laboratories from each of the main regional groups of national laboratories around the world.

Since the last Conférence Générale, there has been a considerable increase in the number of international comparisons of laser wavelength and frequency standards carried out by the BIPM. This reflects the growing need of national laboratories to demonstrate the equivalence of their realizations of the SI definition of the metre. New, more accurate, measurements of the frequency of the key radiations in the *mise en pratique* of the definition of the metre adopted by the Comité International in 1983 led the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre to propose a revision which was approved by the Comité International in 1992. As a result of these new measurements, the accuracy of the best realizations of the metre has improved by more than a factor of ten. Progress continues to be made in this field and research in optical wavelength and frequency standards may, in due course, allow further improvements in the accuracy of the realization of the metre. Draft Resolution D presented to the Conférence Générale refers to the new *mise en pratique* of the definition of the metre.

Revision of the *mise en pratique* of the definition of the metre

Draft Resolution D

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

recalling

— that in 1983 the 17th Conférence Générale des Poids et Mesures adopted a new definition of the metre,

— that in the same year the Conférence Générale invited the Comité International des Poids et Mesures

— to draw up instructions for the practical realization of the metre,

— to choose radiations which can be recommended as standards of wavelength for the interferometric measurement of length and draw up instructions for their use,

— to pursue studies to improve these standards and, in due course, to extend or revise these instructions,

— that in response to this invitation the Comité International made recommendations in 1983 concerning the practical realization of the metre (the *mise en pratique*),

considering

— that science and technology continue to demand improved accuracy in the realization of the metre,

— that since 1983 work in national laboratories, the Bureau International des Poids et Mesures and elsewhere has substantially improved the reproducibility of radiations which are suitable for the practical realization of the metre,

— that such work has also substantially reduced the uncertainty in the determined values of the frequencies and wavelengths of some of these radiations,

welcomes the adoption by the Comité International of a revised *mise en pratique* of the definition of the metre, taking account of the results of this new work,

and

recommends that national laboratories pursue their research on optical wavelength and frequency standards to improve yet further the experimental basis of the Système International d'Unités.

8. Mass and related quantities: the third periodic verification of national prototypes of the kilogram

The third periodic verification of national prototypes of kilogram, begun in September 1989, was completed in November 1992. Thirty-four member nations of the Convention du Mètre sent their national prototypes, made from platinum-iridium, to the Bureau International. These, together with the working standards of the BIPM and the official copies of the kilogram and several others, made up the total of fifty prototypes that took part. A full report on the outcome of the verification will be given to the Conférence Générale but, in summary, the conclusions that were drawn are as follows: first, the mass of the ensemble of national prototypes continues to increase with respect to that of the international prototype, on average by about 0,5 μg per year since the second verification in the late 1940s; second, the mass of the international prototype and, probably, that of most other prototypes, increases by about 1 μg per month during the four months immediately following cleaning and washing using the BIPM procedure; and, third, the reproducibility of weighings using the NBS-2 balance, about 0,5 μg , is significantly better than the stability of the mass of many of the prototypes, which is about 2 μg . Overall, the third verification has highlighted the need for a method of linking the mass of the international prototype of the kilogram to atomic or fundamental constants.

As a result of the improvements now taking place in the accuracy of realization of many of the other base units of the SI, the absence of a firm link between the inherently stable constants of nature and the unit of mass is becoming a significant weakness of the SI. In draft Resolution E, the Conférence Générale is asked to endorse the CIPM's call for national laboratories to devote some of their effort in fundamental metrology to the development of methods by which the mass of the international prototype can be monitored with respect to atomic or fundamental constants. An eventual redefinition of the kilogram would depend on the outcome of such preliminary, and essential, experiments. Meanwhile, work continues at the BIPM and some national laboratories with the aim of obtaining a better understanding of the processes that lead to changes in mass of platinum-iridium standards. These studies include vacuum weighings and, at atmospheric pressure, the effects of changes in ambient relative humidity, pressure and temperature as well as microscopic surface studies aimed at understanding the mechanisms of such effects. The programme of work at the BIPM to improve the accuracy of balances for the comparison of one kilogram mass standards continues. The objective is to provide the means to measure, with reasonable speed, the changes in mass standards that up to now could only be observed in the long term.

The Comité International, through its Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, has continued to work to improve the accuracy and uniformity of measurements of force, pressure, density and acceleration due to gravity. International comparisons of absolute gravimeters continue to take place periodically at the BIPM and are organized in collaboration with the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG).

Monitoring the stability of the international prototype of the kilogram

Draft Resolution E

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the results of the third periodic verification of national prototypes of the kilogram, which showed drifts, with respect to the international prototype, of the national prototypes and of the working copies and official copies held by the Bureau International des Poids et Mesures,

— the fundamental impossibility of drawing definite conclusions from these results about the long-term stability of the international prototype and its copies,

— the results of work in many national laboratories aimed at understanding the processes that lead to the instability of mass standards,

— the progress now being made in various laboratories towards independent methods of monitoring the stability of mass standards,

recommends that national laboratories pursue their work on these experiments, and develop new ones, with a view to monitoring the stability of the international prototype of the kilogram and in due course opening the way to a new definition of the unit of mass based upon fundamental or atomic constants.

9. The second and International Atomic Time

Since the transfer to the BIPM on 1 January 1988 of responsibility for International Atomic Time (TAI) and its diffusion through Coordinated Universal Time (UTC), great changes have taken place both in the technology of time transfer and in the performance of commercial caesium clocks. While progress continues through the research being carried out in national laboratories on novel forms of frequency standards, the accuracy of the SI second is still based, essentially, on the primary caesium clocks of just one laboratory. This is not a satisfactory situation and the Comité International has called attention to its dangers on a number of occasions.

The almost universal adoption of the GPS (Global Positioning System) as the means of time transfer used to provide data for the calculation of TAI has led to an improvement in the quality of the data by more than a factor of ten. This, in turn, has stimulated many studies of the performance of GPS carried out at the BIPM. The application, by the US Department of Defence, of Selective Availability to most satellites of GPS has required that special measures be taken to avoid the degradation of time-transfer data. The Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) has drawn up, in collaboration with the manufacturers of GPS equipment, a detailed specification covering the essential requirements of such equipment when used for high-accuracy time transfer. In parallel with the regular use of GPS, studies are also being carried out, by the BIPM and national laboratories, of other methods of satellite time transfer. These include the Russian system GLONASS (Global Navigation Satellite System) and laser time transfer techniques (LASSO) as well as the use of commercial communication satellites.

Thanks to generous loans by national laboratories and manufacturers, the BIPM has been able to acquire sufficient equipment, including two commercial caesium clocks, for it to carry out experiments and participate in time-transfer programmes. This was recognized by the CCDS as being essential if the BIPM is to maintain the expertise necessary for its central task of establishing TAI.

Further improvements in the stability of TAI can be foreseen from the increasing use of hydrogen masers, whose performance over periods of up to about one month is significantly better than that of caesium standards. The prospect of such improvements in stability, and in due course corresponding improvements in accuracy, that will result from trapped-ion or cooled-atom frequency standards, has led the CIPM to establish a CCDS working group on the application of general relativity to metrology. This working group has begun by examining the application of general relativity to time transfer in the vicinity of the Earth when accuracies of the order of parts in 10^{16} are sought.

While practical applications of timing and frequency measurement at these levels have yet to be made, those at the limits of present day capabilities are very wide. Extensive commercial applications of GPS now exist and a substantial industry is engaged in the production of equipment for a growing business and domestic market. Commercial air navigation is likely soon to be based on GPS and the fact that GPS is closely steered to UTC will reinforce the importance of UTC's being seen to be reliable and to have long-term stability. The other important use for accurate timing and frequency measurements is international telecommunications. The transmission of a high volume of data at high rates, between linked national telecommunications systems is limited principally by fluctuations in the phase stability between the systems. The increasing use of fibre-optic transmission, with its greater bandwidth, is likely to lead to much greater demands being placed on the frequency standards upon which such communication is based.

The Comité International through its Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde is working with national laboratories to ensure that when these requirements become current the world's metrological system will be ready.

Clock comparison by satellite laser techniques

Draft Resolution F

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the need for long distance time transfer at the highest possible level of accuracy,

— that successful time transfer with a precision of 100 ps has been achieved between Western Europe and North America using the LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit) experiment on a geostationary satellite,

— that time transfer techniques, such as GPS (Global Positioning System), GLONASS (Global Navigation Satellite System) and two-way satellite time transfer, need an independent means of assessment of their accuracy,

— that solutions have been proposed that may lead to clock synchronization by laser techniques using non-geostationary satellites,

recalling Resolution 4 of the 18th Conférence Générale in 1987, which also concerns clock comparison by satellite techniques,

recommends that the space agencies consider the installation on their satellites of appropriate equipment for clock comparison by satellite laser techniques.

10. Electrical standards

The implementation on 1 January 1990 of the two CIPM Recommendations in which the Comité International defined and attributed conventional values K_{J-90} and R_{K-90} to the Josephson constant K_J and the von Klitzing constant R_K , has resulted in a substantial improvement in the uniformity of electrical measurements throughout the world. International comparisons carried out by the BIPM using its transportable Josephson system have demonstrated uniformity among seven of the world's principal national metrology laboratories to a few parts in 10^{10} in their reproductions of K_{J-90} . A similar exercise now under way uses a transportable system for the realization of R_{K-90} by means of the quantum Hall effect. Reference standards such as these allow a uniformity to be obtained among national laboratories that is much better than their accuracy with respect to the SI. In electrical measurements this is because the direct realization of the definitions of the SI ampere and volt depend on difficult experiments in which electrical and mechanical energies are compared. There seems little prospect that such experiments could ever be made with an accuracy that matches the reproducibility of the Josephson and quantum Hall effects embodied in K_{J-90} and R_{K-90} . Indeed, since the present definition of the kilogram is based upon a material artefact whose definition is not precise at these levels, such an accuracy in the measurement of a mechanical energy is not possible. Increasingly, therefore, the Josephson and quantum Hall effects will be used for the practical maintenance of electrical standards with the effect that the traditional hierarchy of measurement standards in a calibration chain extending from national primary standards of the highest accuracy to relatively low accuracy industrial standards no longer applies. National laboratories and national calibration services must, therefore, adapt their methods to deal with these independent reference standards, which will soon be found as commonly in an industrial laboratory as in a national laboratory.

The Comité Consultatif d'Électricité (CCE) in considering the role of the Josephson and quantum Hall effects in providing highly stable reproductions of electrical standards linked directly to fundamental physical constants, has established a working group to advise the BIPM on electrical experiments to monitor the stability of the international prototype of the kilogram. The need to carry out such experiments is now well established, so it seems likely that the BIPM will build on the experience now being acquired in national laboratories and, in collaboration with them, in due course embark upon such an experiment. Although the outcome cannot be foreseen, it is clear that knowledge of the stability of the international prototype is an essential pre-requisite to any attempt to redefine the unit of mass.

In parallel with these more fundamental activities, the CCE, together with its working group on radiofrequency quantities and the BIPM, continues to organize the international comparisons of electrical units that are required to establish and maintain international uniformity in electrical measurements.

11. Temperature: the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)

The first meeting of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) since the ITS-90 came into force on 1 January 1990, took place in 1993. The rapid introduction of ITS-90 into practical thermometry was welcomed and it is clear that the many advantages of the ITS-90 over its predecessor the International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68) were quickly appreciated by users. It is expected that realizations of the ITS-90, now being carried out in national laboratories, will show improved reproducibility as a consequence of the development of better techniques for the realization of fixed points and improved interpolating instruments. Further research and regular international comparisons will, however, continue to be necessary to reach this goal. International reference tables for the most common types of thermocouples and for industrial platinum resistance thermometers have been produced under the auspices of the CCT, and these are now in course of adoption by the national and international bodies concerned. The importance of

accurate thermometry in many industrial processes is well understood by the CCT, and the practical documents that accompany the ITS-90 will be updated periodically in line with the evolving requirements of these users.

The possible extension of the ITS-90 to temperatures below its present lower limit of 0,6 K is under discussion and a proposal is likely before the next Conférence Générale in 1999. Although the ITS-90 is based on fundamental research on thermometry carried out over the past twenty years, there are certain temperature ranges within which the accurate measurement of thermodynamic temperature remains difficult, with the effect that more work is needed. The importance of maintaining research on fundamental thermometry was drawn to the attention of national laboratories in Resolution 3 of the 19th Conférence Générale. This Resolution remains just as valid today as at the time of the 19th Conférence Générale.

12. Photometry and radiometry

Most national laboratories now base their realization of the photometric unit, the candela, on detector-based radiometry. This development was anticipated at the time of the adoption of the new definition of the candela by the 16th Conférence Générale in 1979, but advances in absolute and spectral radiometry during the 1980s have made high accuracy more readily achievable. The Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) plans to base one of its next international comparisons of national photometric standards on the circulation of colour-corrected photodiode detectors, and a working group is finalizing the details. High-quality lamps continue to have an important role as photometric standards, however, and another CCPR working group is charged with coordinating a further international comparison of standards of luminous intensity and luminous flux.

A sound basis for radiometric measurements, firmly linked to the SI, is essential not only for photometry and illumination technology but also for many other fields; for example, in a wide range of fibre-optic communication applications, for environmental monitoring, and for the increasingly important field of ultra-violet measurement for health and industrial applications. A CCPR working group has prepared an overview of the present state of spectral radiometry in the air ultraviolet, and has planned a pilot international comparison of such measurements over the wavelength range 200 nm to 400 nm. Accurate radiometry is also crucial for important space-borne studies of Earth resources and solar irradiance. Measurement of changes in the solar irradiance can be reliable only to the extent that the radiometric standards upon which they are based are themselves stable in the long term, and this makes a firm link to SI imperative.

Following the establishment of a radiometric laboratory at the BIPM, as reported at the 19th Conférence Générale, the CCPR has completed its first spectro-radiometric comparison with the BIPM serving as the central laboratory. The BIPM has more recently acquired a cryogenic radiometer to provide a stable and accurate reference for future work in this field, and is organizing an international comparison of radiant flux measurements made with such instruments.

13. The mole and measurements of amount of substance

At its meeting in 1993 the Comité International decided to establish a Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM) and at its subsequent meeting in 1994 adopted the following terms of reference for the new Comité:

- to advise the CIPM on matters relating to the accuracy of quantitative chemical measurements and traceability to the SI,
- to coordinate the activities of national metrology laboratories in establishing this traceability at the highest level,
- to stimulate understanding of the concept of uncertainty and the assignment of uncertainty statements in chemical measurements, thereby encouraging the establishment of traceability, taking into account other initiatives at regional and international levels,
- to keep under review the question of whether or not there is a need for a programme of work at the BIPM to support this activity.

The SI base unit of amount of substance, the mole, was introduced by the 14th Conférence Générale in 1971 following requests to the Comité International from the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) and the International Organization for Standardization (ISO). The definition of the mole is unique in that the definition also specifies the nature of the quantity whose unit is the mole. From its introduction until the end of the 1980s, the Comité International did not find it necessary to take any particular action regarding measurements of amount of substance. What has now changed is that improved compatibility between such measurements, i.e. chemical analytical measurements, is increasingly required in the implementation of legislation and regulations concerning international trade and environmental protection. In consequence, there are now powerful commercial and public pressures demanding reliability in chemical measurements. There are thus demands both for international comparability and for long-term stability in the results of such measurements. As for all other types of measurement, these two demands can only be met by linking them firmly to the unchanging constants of nature. This can best be done by linking them to the SI.

There are many difficulties in establishing for chemical measurements a measurement system comparable with that which long has existed for physical measurements. There are many reasons for this: some are related to the absence in the past of a perceived need to provide such a system and others to the inherent difficulty in many areas of making accurate chemical measurements. Much of the pioneering work in establishing the need for international comparability in chemical analysis was carried out in the 1970s and 1980s by the then Bureau Communautaire de Référence (BCR) and Bureau Central de Mesures Nucléaires (BCM), both of the Commission of the European Communities. In his Report to the 19th Conférence Générale, the President of the Comité International announced the formation of the CIPM working group on metrology in chemistry and the initiation of some pilot international comparisons in this field. The decision in 1993 to create a Comité Consultatif was based on a number of factors: primarily the increasing involvement of national laboratories in establishing international traceability for measurements in analytical chemistry, but also because, by creating a Comité Consultatif, the Comité International would be seen to be *a*) taking the lead in a field that will be of increasing importance, *b*) responding in an adequate and timely way to a need that has become widely recognized and *c*), through the terms of reference of the Comité Consultatif, establishing the boundaries within which the responsibilities of the CIPM in this field are seen to lie. A report on the initial activities and programme of work of the new Comité Consultatif will be presented to the 20th Conférence Générale.

Metrology in Chemistry

Draft Resolution G

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— that reliability in the results of quantitative chemical analyses is important for international trade, for the protection of the environment, and for human health and safety,

— that reliability implies world-wide uniformity and long-term stability and can only be achieved by firmly linking measurements to the Système International d'Unités,

— that formidable difficulties exist in establishing international traceability for measurements in chemistry,

— that national metrology laboratories are increasingly involved in establishing such a system,

welcomes the action of the Comité International in creating for this field a Comité Consultatif pour la Quantité de Matière

and

invites national metrology laboratories, other expert national, regional and international organizations bringing together specialists in measurement in chemistry to collaborate with the Comité International and the new Comité Consultatif in establishing world-wide traceability at the highest level for measurements in chemistry.

14. Ionizing radiation

The provision of standards for ionizing radiation occupies an important place among the responsibilities of the Comité International because of the need to provide stable references for therapeutic and diagnostic purposes, and for radiation protection in the industrial applications of ionizing radiation. For more than thirty years the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), with the ionizing radiation laboratories of the BIPM, has played a key role in coordinating the work of the national laboratories in this field. The work of the CCEMRI and the BIPM has materially contributed to improvements in the metrology of ionizing radiation that have taken place over the past three decades. As in most fields of metrology, the main means for assessing the reliability of the actual procedures and for checking proposed new approaches is through international comparisons. These differ very much from one type of radiation to another and may even be specific to a given radionuclide. Such comparisons will continue to be at the centre of the BIPM activities in this domain.

In the field of dosimetry, comparisons are made of the performance of instruments (such as ionometric or calorimetric devices) used as standards for a given quantity. There is an increasing demand from standardizing laboratories to reinforce traceability to the BIPM. Recently a new, accurate and very stable standard for the measurement of absorbed dose to water has been developed and successfully compared with those of national laboratories. The gain of accuracy obtained by means of these standards will have implications all along the calibration chain down to the level of the user. In the field of neutron measurements, several comparisons have led to the establishment of reliable transfer standards, normally in the form of reference instruments.

Radionuclides for comparisons are usually distributed in ampoules from which the sources are prepared by each participant. Over the years, the kind of radionuclides chosen has evolved from simple cases, like ^{60}Co , to isotopes having complex

decay schemes which present serious experimental difficulties. As a result of the effort devoted to this work, both at the BIPM and in participating laboratories, uncertainties in activity measurements have been reduced significantly. While the organization and analysis of a comparison involving absolute methods is complicated and time consuming, relative measurements can readily be performed for many gamma-ray emitting nuclides by means of an ionization chamber taken as a basic reference (Système International de Référence, SIR). This has become a BIPM service which is universally recognized for its utility and as an efficient means for ensuring precision and uniformity. This will continue. At present, the SIR involves some 30 laboratories and more than 50 radionuclides have been measured. Using liquid-scintillation techniques, the system is now being extended to beta emitters.

Following the decision of the CIPM in 1985 to concentrate BIPM efforts in the field of ionizing radiation to radioactivity and to the dosimetry of x rays and γ rays, experimental work on neutrons will cease in 1996. The financial and human resources thus released will be transferred to x-ray and γ -ray dosimetry, thereby assuring the long-term viability of work in this area.

15. The *Système International d'Unités* (SI)

The *Système International d'Unités* has evolved since its creation in 1960 by the 11th *Conférence Générale*. An additional base unit, the mole, was added in 1971: various changes have taken place to the definitions of the second, the metre, the kelvin and the candela to take account of developments in metrology resulting from advances in physics; the list of SI prefixes has been extended; and many minor modifications have been made to the text of the SI brochure. The SI has now reached a stage of development such that few major modifications should be required other than changes in the definitions of the base units consequent upon advances in physics. Nevertheless, the *Comité International*, responding to a suggestion from the ISO and after consulting its *Comité Consultatif des Unités*, is proposing draft Resolution H to the 20th *Conférence Générale* in which the class of Supplementary Units is abolished and the radian and steradian are subsumed into the class of derived units of the SI. This proposal is a logical consequence of the decision of the CIPM in 1980 to consider the supplementary units in the SI as dimensionless derived units for which the CGPM allows the freedom of using or not using their names in expressions for SI derived units. The adoption of draft Resolution H by the 20th *Conférence Générale* will thus, at the same time, formalize the intention of the CIPM as expressed in its 1980 Recommendation, remove a small incoherence between the ISO interpretation of this Recommendation and the formal 1960 CGPM definition of the classes of units of the SI, and remove the possibility of misunderstandings by users of the SI.

The President of the CCU will give a Report to the 20th *Conférence Générale* on this and other minor points that have been discussed concerning the text of the SI.

Elimination of the class of supplementary units in the SI

Draft Resolution H

The 20th *Conférence Générale des Poids et Mesures*,

considering

— that the 11th *Conférence Générale* in 1960 in its Resolution 12, establishing the *Système International d'Unités*, SI, distinguished between three classes of SI units: the base units, the derived units, and the supplementary units, the last of these comprising the radian and the steradian,

— that the status of the supplementary units in relation to the base units and the derived units gave rise to debate,

— that the Comité International des Poids et Mesures, in 1980, having observed that the ambiguous status of the supplementary units compromises the internal coherence of the SI, has in its Recommendation 1 (CI-1980) interpreted the supplementary units, in the SI, as dimensionless derived units,

approving the interpretation given by the Comité International in 1980,

decides

— to interpret the supplementary units in the SI, namely the radian and the steradian, as dimensionless derived units, the names and symbols of which may, but need not, be used in expressions for other SI derived units, as is convenient

— and, consequently, to eliminate the class of supplementary units as a separate class in the SI.

16. Programme of future work at the BIPM

A detailed programme of the work to be carried out at the BIPM during the years 1997 to 2000 will be proposed by the Comité International in a document entitled "Programme of work and budget of the Bureau International des Poids et Mesures for the years 1997-2000" which will be sent as a complement to this present document.

17. Annual dotation of the Bureau International des Poids et Mesures

The 19th Conférence Générale des Poids et Mesures in October 1991 decided to increase the annual dotation of the Bureau International by 6 % per year from 1993 to 1996. Shortly after the 19th Conférence Générale, however, major political events affecting certain member nations of the Convention du Mètre led to serious concern as to the future funding of the Bureau International. As a result, the CIPM in September 1992 adopted a financial plan for the years 1992 to 1996 designed to reduce overall expenditure progressively and ensure a balanced budget by 1996. While the financial situation of the BIPM is much better than was foreseen in September 1992, most of the plan then drawn up is still being implemented. Reductions in expenditure are being made, principally by temporarily restricting the replacement of retiring permanent staff and imposing a ceiling on those increases of annual pay and pensions ordinarily related to the cost of living. These measures will limit increases in staff costs to a total of about 8,5 % over the period from 1992 to 1996. This is a significant reduction relative to what was foreseen at the 19th Conférence Générale. Every effort is being made to maintain laboratory investment at an adequate level and to take care of the fabric of the buildings. This programme, combined with measures to improve efficiency, should allow as much as possible of the programme adopted by the 19th Conférence Générale to be accomplished. We have been helped in all of this by the low level of price inflation in France since 1991.

The experience of this unsettled period reinforces the view of the Comité International that a level of reserves equivalent to a substantial proportion of one year's expenditure is essential.

In presenting proposals to the Conférence Générale for the dotation for the years 1997 to 2000, the Comité International wishes to draw the attention of member governments to the fact that the dotation must cover the totality of the operating costs of the Bureau International. This includes not only the annual running expenses of the laboratories but also such items as pensions, health insurance, building and land maintenance as well as occasional major renovations or constructions of buildings and acquisitions of equipment,

and the start up costs of new programmes. For example, recent expenditures for new buildings (the laser building, 1984, and the Nouveau Pavillon, 1988) have been funded exclusively from the annual dotations as have the development of Josephson and quantum Hall systems for electrical measurements, installation of a new ^{60}Co source for ionizing radiation work, taking over responsibility for International Atomic Time and the development of radiometry. In addition, the BIPM pension fund has had to be increased considerably over the past ten years, and must be increased again, to prepare for a doubling in the number of BIPM pensioners expected by the year 2010. It must be expected that similar, but individually non-recurring, requirements for major expenditures will continue; they must be met if the BIPM is to continue to fulfil its role of underpinning the world's metrological system.

It is evident from the above that the long term health of the BIPM requires a reasonable margin between annual income and annual running expenses. The Comité considers that the dotation voted by the 19th Conférence Générale is not now sufficient to provide such a margin and is, therefore, asking at this Conférence Générale for the dotation to be increased at a rate above the rate of price inflation in France. Since the early 1980s, the periods covered by the dotations voted by the 16th, 17th and 18th Conférences Générales, price inflation has fallen in France. It has now reached a level where further significant reductions are unlikely. The Comité International wishes, nevertheless, to draw the attention of member governments to the strong arguments, even in the present period of low price inflation, for voting annual increases in dotation above the estimated price inflation in France, for the period 1997 to 2000.

Arguments for maintaining the funding of the BIPM at a level such that the present range and level of work can be continued or even extended must, of course, include justification for the work itself and why it should be done at the BIPM. While these arguments will be presented and developed in the Report of the President of the Comité International to the 20th Conférence Générale, they are, in brief, the following:

— International trade, the manufacture of high technology products, scientific research, including frontier domains such as space research and oceanography, the protection of the environment, and many aspects of human health and safety, are increasingly dependent on accurate measurements and require easy access to a stable and world-wide system of measurement. This is provided by the *Système International d'Unités*, maintained by the ensemble of national metrology laboratories working together with the BIPM under the auspices of the *Convention du Mètre*.

— The BIPM represents an efficient and cost-effective way of assuring the multiplicity of links necessary to demonstrate the equivalence of measurement standards maintained by national laboratories and to provide international traceability. At the same time, it provides certain unique and essential services such as the calibration of mass standards in terms of the international prototype of the kilogram and the world's time scale UTC. Through its calibration services, the BIPM provides an essential link to world metrology for certain metrological services of member nations of the *Convention du Mètre*.

— The increasing requirement for the strict application of performance criteria in the field of quality certification and laboratory accreditation assumes the existence of the world-wide measurement system maintained under the *Convention du Mètre*. For member nations of the *Convention* the activities of the BIPM are an important and highly effective way of assuring this basis for measurement.

— To fulfil its role, the BIPM's scientific work, and hence the professional capabilities of its staff, its laboratory facilities, its equipment, must keep up with the most recent advances in national laboratories.

The proposal that the Comité International now makes for increasing the dotation during the period 1997 to 2000 is based, in summary, on the following objectives:

(i) to continue the development of the scientific work in the laboratories, keeping up with advances and changes in technique developed largely in the national laboratories, but driven by advances in physics and the needs of industry and government.

It is foreseen that the already high demand for international comparisons will increase further as a result of pressures on national laboratories to demonstrate equivalence and international traceability not only in traditional areas of metrology but also in new ones such as metrology in chemistry. Note that the total number of permanent staff at the BIPM in the year 2000 is planned not to exceed that for the year 1992.

— cost: projected price inflation in France plus an annual additional sum of 390 000 gold francs for unforeseen developments in science, additional international comparisons and the continuation of automation of the calibration services, equivalent to 1,5 % increase in the dotation foreseen for 1996,

(ii) to return to an adequate level of spending on building maintenance, and bring the laboratory infrastructure up to date:

— cost: an annual additional sum of 200 000 gold francs, equivalent to a 0,8 % increase in the dotation foreseen for 1996,

(iii) to build up the pension fund to meet foreseeable pension requirements from the late 1990s into the first decade of the next century:

— cost: an additional 320 000 gold francs per annum above the annual budgetary payments to the pension fund, at present equal to 16 % of annual salaries (plus 9 % of salaries paid by the staff) and equivalent to an annual increase of 1,2 % in the dotation foreseen for 1996. A further increase is likely to be requested at the 21st Conférence Générale in 1999.

Continued attention will be given to cost reduction through increases in efficiency. Even with this, however, the requirements outlined here call for an annual increase of 3,5 % above price inflation in France. On the assumption that price inflation in France will remain at an average of 2 % per annum for the remainder of the decade, there is thus a requirement for an overall increase of 5,5 % per annum. It must be emphasized, however, that this figure of 2 % per annum for future price inflation in France is at the lower limit of current forecasts.

The Comité proposes as the starting point for the calculation of the dotation for the years 1997 to 2000, the sum of 25 975 000 gold francs. This is obtained by taking the dotation for 1996 voted by the 19th Conférence Générale, namely 25 918 000 gold francs, and then increasing it by 0,22 %, which is the net difference corresponding to the disappearance of the States of Yugoslavia and Czechoslovakia and the adhesion of the Czech and Slovak Republics and Singapore. On this basis the Comité asks the Conférence Générale to increase the dotation for the years 1997 to 2000 by adopting the values given in the following draft Resolution I.

Dotation of the BIPM

Draft Resolution I

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the importance of the work carried out by the Bureau International des Poids et Mesures and the services it renders to Member States of the Convention du Mètre,

— the need to provide the resources necessary for the efficient carrying out of the tasks given to it by the Conférence Générale,

decides that the fixed part of the annual dotation of the Bureau International des Poids et Mesures will be increased in a way such that the sum of the fixed part and the complementary part (defined by Article 6 (1921) of the Rules annexed to the Convention du Mètre, 1875) shall, for those States members of the Convention du Mètre at the time of the 20th Conférence Générale des Poids et Mesures, be

27 404 000 gold francs in 1997

28 911 000 gold francs in 1998

30 501 000 gold francs in 1999

32 178 000 gold francs in 2000.

18. Proposals from Delegates

Delegates from Member States are requested to let the Comité International know of their wishes or any proposals they would like to submit to the Conférence Générale as soon as possible, but in any case at least six months before the Conférence, so that, in accordance with the decision of the 7th Conférence Générale (1948), "the wishes or proposals thus deposited will be distributed by the bureau of the Comité to all Member States of the Convention at least four months before the opening of the Conference so that Delegates may receive the necessary instructions and authority; all other wishes and proposals being presented to the Conference only if the Comité has time to study them and has approved them".

19. Renewal of half of the Comité International

In conformity with Articles 7 (1875) and 8 (1921) of the Rules Annexed to the Convention du Mètre, the Conference will proceed by secret ballot to the renewal of half of the membership of the Comité International. Outgoing members are first, those who in the case of vacancies have been provisionally elected since the last Conference, and second, those selected by ballot from among the remaining members of the Comité. Outgoing members are eligible for re-election.

December 1994

For the Comité International des Poids et Mesures,
Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex

The Secretary,
J. KOVALEVSKY

The President,
D. KIND

AGENDA OF THE CONFÉRENCE GÉNÉRALE

20th Meeting — 1995

The provisional agenda (*see* page 128) is adopted
as the final agenda

with the addition of the following item:

6a. Future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale.

20th CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

1. Opening of the Conference

Address by His Excellency the Ministre de l'Industrie de la République Française

Monsieur Philippe KASPI, the advisor on international affairs to His Excellency the Ministre de l'Industrie, opened the Conference with the following address:

Madam PRESIDENT, DELEGATES,

I represent Mr Yves GALLAND, the French Ministre de l'Industrie, who intended to open this conference but has been detained on government business. He sends his apologies.

One hundred and twenty years ago, to be precise on 20 May 1875, the Convention du Mètre was signed, setting up the Bureau International des Poids et Mesures under the authority and supervision of the Comité International des Poids et Mesures. The Comité itself was placed — and remains — under the authority of the Conférence Générale des Poids et Mesures. It is a great honour and a pleasure for me, on behalf of the government of the French Republic, to welcome you today and to declare the Conférence Générale des Poids et Mesures open.

In addition to marking the anniversary of the Convention du Mètre, this conference is the twentieth to be held since 1875. I will capitalize on this coincidence to give a brief review of the history of one of the oldest international treaties still in existence, one which exists not only on paper but in reality, by developing cooperation between some fifty countries and ensuring fruitful harmonization in trade and industry around the world.

The history of the Bureau International des Poids et Mesures reflects the scientific and industrial development that has taken place over the last hundred and twenty years. The need for two physical units led to its formation: the metre and the kilogram. The third unit — the second — was then in the hands of astronomers because time was measured from observations of the passage of stars across the meridian. Fourteen years would go by before a sufficient number of metre and kilogram standards had been constructed, compared and distributed following the first Conférence Générale des Poids et Mesures in 1889. Seven more Conférences Générales would be held before the Second World War. After the war the pace stepped up and, since 1960, conferences have been held at four-yearly intervals. The major contribution of the 1950s was the establishment of a practical and coherent system of units of measurement based on seven, rather than three, physical quantities: length, mass, time, electric current, thermodynamic temperature, amount of substance and luminous intensity. This is the "Système International d'Unités" on which your work as metrologists is based but which is, above all, the principal instrument of international cooperation wher-

ever measurements are required, that is, in fields as diverse as science, industry, the environment, trade, health, and so on.

This *Système International d'Unités* is not, however, a static entity. It is a framework which allows advances in science and technology to be followed up and continual improvements made in the realization of the base units, their multiples and sub-multiples, and all the derived units, such as the volt, the watt, the ohm, the metre per second or the pascal, which are sometimes used more than the base units themselves. The Bureau International des Poids et Mesures and the principal national metrology laboratories play a decisive role in this development. In a certain number of cases, new experimental procedures make it possible considerably to improve the accuracy with which the units are realized. At this Conference new procedures for the *mise en pratique* of the realization of the metre will be described, procedures which will have the effect of increasing the accuracy of measurements. The Comité International des Poids et Mesures carried out a similar exercise seven years ago with the volt and the ohm, which you approved four years ago.

It may also happen that the physical phenomenon used to define a unit no longer satisfies the growing demand for accuracy. The Conférence Générale thus redefined the metre in 1960 and in 1983, the second in 1960 and in 1967, the candela in 1967 and in 1979. But on each occasion you have taken care to ensure that the new definition is strictly compatible with the old one, so successfully that the measurements made before and after the new definition remain perfectly comparable: there is no need to specify which definition of the unit has been used.

These developments are not only remarkable, they are indispensable to satisfy the requirements of high-technology industry as well as those of the health and environmental protection services. France has always supported, and will continue to support unreservedly, the work of the Bureau International des Poids et Mesures and at the same time to develop the major French laboratories now grouped under the authority of the Bureau National de Métrologie (BNM). This year, the Ministère de l'Industrie and the Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Insertion Professionnelle have combined their efforts to give fresh impetus to French metrology, setting up a new structure both unifying and more flexible, the "Groupement d'intérêt public BNM" for which the long-term objective is to evolve into a public metrological institution.

We cannot, however, ignore the wishes of users of metrology, increasingly numerous and exacting in their requirements. They are served by the traceability chains organized by the Comité Français d'Accréditation and by the legal metrology services. International cooperation is common between French metrologists and their overseas colleagues. Numerous agreements have been drawn up between the Bureau National de Métrologie and its equivalents in other countries to ensure mutual recognition of the quality of calibrations. In the research field, tens of joint work programmes with other countries have been carried out under the auspices of EUROMET.

The organizing body that deals with calibrations in Western Europe, the Western European Calibration Cooperation (WECC), has played a major role in coordinating the accreditation of calibration laboratories. There are similar regional bodies in other parts of the world. Indeed, there is a synergy between the requirements and the means of achieving them in the fields of scientific metrology, calibrations, tests and verifications.

We may well ask ourselves, then, if this affinity which may be found in all countries should not have an international counterpart and if much closer links should not be established between the Bureau International des Poids et Mesures and the Organisation Internationale de Métrologie Légale.

For this reason, the French government proposes that this Conférence Générale reflect along these lines, with a view to possible direct contact between the bureaux of the two organizations.

Whatever the outcome of these proposals and the nature of future relations between the two bodies, scientific metrology is certain to continue to fulfil, in this world of rapid technological innovation, its underpinning role for human activity. The good wishes of the French government go with you in this endeavour and I wish you a successful outcome to your discussions at this Conférence Générale and, when you return to your respective countries, every success in the work of your national metrology institutes.

Reply by the President of the Comité International des Poids et Mesures

Prof. D. KIND, President of the Comité International des Poids et Mesures, replied as follows:

MONSIEUR LE CONSEILLER,

I thank you for your opening address and your good wishes. A hundred and twenty years after the signing of the Convention du Mètre, this 20th Conférence Générale has a certain significance. It is a great pleasure for me to respond that the organs and the Member States of the Convention du Mètre have always received strong support from France and its government. The "umbrella" of the French government was indeed necessary and has been essential in keeping the organs of the Convention du Mètre in a good state to meet the world's needs in metrology over the last decade. On behalf of the Comité International des Poids et Mesures, I thank you and your government for your continuous support.

Address by the President of the Académie des Sciences de Paris, President of the Conference

Mme M. GRUNBERG-MANAGO, President of the Académie des Sciences de Paris, and President of the Conference, gave the following address:

MONSIEUR LE CONSEILLER, MR PRESIDENT, LADIES AND GENTLEMEN,

When Jean KOVALEVSKY told me that it fell upon the President of the Académie des Sciences to make the opening presentation at the Conférence Générale des Poids et Mesures, I was very honoured but at the same time also a little worried, as I do not consider myself a natural choice to talk about weights and measures. To give you an example, when I was a biochemistry student, I was questioned on the measurement of blood pressure. This question came out of the blue and I could only think to reply: "when someone has a pressure of 24 it is much too much". I still remember the examiner's response: "not everyone has the good fortune, Mademoiselle, to have family and friends with hypertension."

However, in the subsequent years, having become a molecular biologist, I rapidly became aware of the importance of measurement in my work. In fact, it is because of the fact that qualitative observations are nowadays backed up by quantification, in daily laboratory work, that our discipline has become predictive, i.e. one that has passed from a "natural science" as it was, to modern biology. We juggle so much with picomoles of proteins, nucleic acids or enzyme markers such as beta-galactosidase, it sometimes happens during an experiment that the changes in quantity of product detected approach the detection limits of the measuring apparatus: it is then that statistics, as much as the researcher's intuition, come into play to determine whether the values are significant.

To illustrate the growing role of measurement in biology, I have chosen two aspects to talk to you about today. I shall first illustrate the dimensions of the biological entities which a molecular biologist meets every day, and then discuss the new methods involved in human genome¹ mapping.

I shall indicate the size of various objects from man (around 1,70 m) to the atomic scale (0,01 nm), through the dimensions of proteins (10 nm), viruses (around 100 nm), bacteria (1 μm), eucaryotic cells² (around 10 μm) or deoxyribonucleic acid (DNA) (*E. coli*³ (1 mm), yeast (4,6 mm), human (1 m)).

If one considers that the human body is composed of 5×10^{12} cells, and that each cell has 1 m of DNA, one finds that the total length of DNA present in a human being is 5×10^9 km, some thirty times the distance from the Earth to the Sun (i.e. $30 \times 1,5 \times 10^8$ km). One grasps the enormity of this distance in realizing that it would take light 5 hours to cross it !

Following with genome dimensions, it is perhaps important to recall the dimensions of DNA: 20 Å (2 nm) in diameter, 3,4 Å (0,34 nm) for a base pair, 10 base pairs for one turn of the double helix. On looking at an electron microscope image of a ruptured bacterium, one can see a part of its DNA; the bacterium measures 0,16 μm \times 0,5 μm and the DNA is 1 mm long; one has a measure of the degree of packing of the genome *in vivo* !

The genome (about 1 mm long) of *E. coli* can code for about 3 000 to 4 500 proteins. One gene corresponds to between 900 and 1 500 base pairs and there is a co-linearity between the gene, the mRNA (messenger ribonucleic acid) and the corresponding protein ("direct" coding).

With eucaryotes, because the genes are in small, separate parts of the DNA, 90 % of the sequences do not code for proteins. Human DNA has a length of 1 m incorporated in 46 chromosomes. As with the bacteria, the packing of DNA in these structures achieves a remarkable density, especially as no chromosome is more than 10 μm in length. These values are interesting to bear in mind when considering the effort needed to sequence DNA in the human genome. Currently, 36 000 base pairs are being sequenced each day, and at this moment, 5 636 genes are known and sequenced out of the approximately 100 000 which make up the human genome. For comparison, the DNA of bacteriophage lambda includes only 100 genes. The price of this sequencing work is about 0,50 francs (10 cents USA) per base pair.

The various biological processes also differ in their speed (unwinding of DNA helix: 10^{-6} μs , enzyme catalyzing reaction: 1 μs , synthesis of a protein: 10 s, one generation of bacteria: 10^3 s).

Let us now turn to the three methods available to determine molecular structure:

- X-ray crystallography is the most precise, on condition however that one has the crystals available ! The resolution achievable is on the atomic scale (0,1 nm);
- Nuclear magnetic resonance gives equivalent resolution but is limited to molecular weights less than 15 000 to 20 000 daltons⁴. The structures of numerous proteins, or nucleic acids have already been resolved by these methods, for example in the case of tRNA⁵ (80 nucleotides, 25 000 daltons and longest dimension: 8 nm);
- Electron microscopy provides novel information because it produces images of individual molecules, which allows, for example, the study of changes of the structure of complexed DNA molecules and of ligands (pro-

¹ the complete set of different genes in chromosomes in each cell nucleus.

² cells in which the nucleus is separated with a membrane from the cytoplasm.

³ *Escherichia coli*, or colon bacillus.

⁴ dalton: name used in biochemistry for the unified atomic mass unit.

⁵ transfer ribonucleic acid.

teins or drugs). With isolated protein images, the resolution achievable is 2 nm. The best results (0,2 nm to 0,5 nm) are obtained when it is possible to average the signals produced by a large number of individual molecules in the two-dimensional arrangements observed in electron cryomicroscopy (using liquid nitrogen).

I would like now to discuss briefly the methods of chromosome gene mapping. These methods are based on the fact that, if the genes are carried by the same chromosome, they can in certain cases become dissociated, because there is an exchange of genetic material between two chromosomes of the same pair when the gametes⁶ are formed. This type of exchange between two chromosomes of the same pair is called a "cross-over", which can be translated into French as "enjambement".

During the chromosome pair exchange when the gametes are formed, let us take one of the chromosomes as coloured blue and the other as red. The exchange at the end produces a blue and red chromosome. If the exchange occurs between two genes A (on the blue chromosome) and B (on the red chromosome), certain gametes will carry one chromosome where both genes A and B are present, which were not associated initially on the same chromosome. One says that the genes A and B have recombined and this recombination will be transmitted to future generations.

Why detail this concept at this point? It is because it provides a method which allows one to order the genes along the chromosomes and to measure their spacing. In effect, if the two genes are very close together on a chromosome, they are rarely dissociated or recombined during a cross-over. If, alternatively, they are far apart, they will more often be dissociated or recombined. It was by studying *Drosophila* flies and counting which flies carried or did not carry various hereditary characteristics after each generation, that T.H. Morgan ordered the genes which govern these characteristics, along the chromosomes, and evaluated the distance between these genes. It was in this way that the first chromosome map was established in 1922.

Let us consider the *Drosophila* chromosome map. This fly possesses four pairs of chromosomes, which one can represent schematically as vertical bars; the genes which control different characteristics can be indicated as horizontal bands on these bars. The unit of measurement of the length of these genes was described as the percentage recombination, called "centimorgan". This map was called a genetic map because it was founded on the analysis of genetically transmitted characteristics. Since 1936, it has become clear that this genetic map actually corresponds to a physical reality.

In certain tissues of *Drosophila*, the DNA undergoes a considerable amplification and the chromosomes become visible under the microscope; on these chromosomes, the different genes can be distinguished as well-defined "bands". With certain mutants, one can ascertain that a band which disappears corresponds to the gene position. One can also see that the order of genes defined genetically is actually the same as the physical position. In one case, one can see the position of genes as bands and in the other, their position is determined genetically. Thus the correlation between the genetic map and the physical map was established. You can see thus that there are two different approaches to determine the distance between the genes on a chromosome, and that these two approaches are in agreement.

In order to be able to predict which individuals are at risk for a given disease in future generations, human geneticists have long wanted to create a human chromosome map. To this end, the Centre d'Étude du Polymorphisme Humain has collected data from large families which have enabled the esti-

⁶ A gamete is a germ or reproductive cell which, when fused with another, forms a new individual.

mation of recombinant frequencies between different characteristics by studying how the dissociation or recombination of these characteristics is distributed among the descendants. But the major obstacle was to mark the characteristics for which one could follow the transmission through generations. This obstacle was resolved during the eighties, and so enabled the birth of the research programme on the human genome.

It was David Botstein who imagined how one could draw up genetic maps of the human chromosomes. It is known that the DNA sequence of various individuals carries small differences in the base sequences. These differences mostly pass unnoticed because they do not modify the visible characteristics of the individual. D. Botstein realized that these small differences could be detected by the molecular tools which we now have available. Subsequently, they have become the genetic markers with which one can now follow their transmission across the generations. One is thus able to measure their recombination and so determine their relative position on the genetic map.

The first generation of such markers explored were those found in restrictive polymorphism. The variants in the DNA sequences from one individual to another can easily be detected if they concern sites associated with restriction enzymes (specific enzymes which hydrolyze particular nucleotide sequences). In effect, the total digestion of DNA by one of these enzymes creates a population of discrete length fragments, of which the extremities correspond to two known sites; the disappearance of one of these sites is seen as a corresponding change in size of the DNA fragment which can easily be observed. The interest in this source of polymorphism is that all of the associated genes are detectable. Subsequently, another source of polymorphism was discovered, resulting from tandem repeated sequences dispersed throughout the genome. These elements sometimes consist of a repetition of ten or so base pairs, sometimes of a dinucleotide repetition. It is notably these tandems of dinucleotides (called "microsatellites") which allow the generation of the high resolution genetic maps that are available today, thanks to the work of J. Weissenbach of Généthon. The repetitions of the dinucleotide CA (cytosine; adenosine) exist around every 50 000 bases in the human genome. The number of repetitions at a given position in the genome varies from one individual to another, but is stable at the time of its transmission from generation to generation. It is the polymorphism in the number of tandem repetitions inside the microsatellites which can be used as the markers along the DNA.

Once the sequences have been determined by establishing the microsatellite marker, one can then calculate the percentage recombination between these different markers, following their transmission from generation to generation within the very large families studied by the researchers in the Centre d'Étude du Polymorphisme Humain in Paris.

After having located the portion of the DNA within which the gene of interest can be found between two markers, one can start the research on the actual gene itself. This is laborious work, because only a very small fraction of the genome (2 %) carries coding information. Thus, to localize a gene in a non-coding sequence is like searching for a needle in a haystack. Unfortunately, there are as yet no other techniques sufficiently powerful to identify the genes in a particular DNA fragment.

How can these maps help us to isolate the mutant genes responsible for hereditary diseases ? The idea is the following: if one is capable of locating the fragment containing such a gene on the human chromosomes with sufficient precision, one could, in the near future, analyze the DNA contained in the interval and find the gene responsible for the disease by different techniques. It is this which is the new approach. Previously, one identified the

defective function related to the disease through the protein responsible for this function. It was only afterwards that the gene coded for this protein was identified. The approach was thus made from the disease to the protein, then to the gene. The new approach is based exclusively on the localization of the gene on the chromosomes. It goes from the disease straight to the gene, then to the protein. This approach does not call for knowledge of the defective protein or a description of it, which represents a huge progress.

For the very large majority of hereditary diseases, we have not the least idea of the defective function. Two procedures nevertheless remain necessary to prove the link between a gene and a disease. The first consists of locating the defective gene on the chromosomes by studying the distribution of the corresponding disease throughout families, and the second of searching for mutations in these patients' genes. It is only when such mutations are established that one can conclude that the specific gene is indeed responsible for the disease.

Today, 9 000 genes out of some 100 000 have been located in the genome of man. Amongst these genes, more than a hundred have been identified as responsible for hereditary diseases. It is thanks to technical progress in molecular biology, that medicine and pharmacology are entering a new era.

I have tried to show you how molecular biology needs the discipline of metrology to which you yourselves are attached. You will, during this week, refine this art which is yours. In the name of the Académie des Sciences, I wish you every success for your work at this meeting.

At the end of her discourse, Mme GRUNBERG-MANAGO informed delegates that, having other commitments related to the bicentenary of the Institut de France, she was obliged to leave the Conférence Générale, but that Prof. BLANC-LAPIERRE, a physicist and former President of the Académie des Sciences de Paris, who had already participated in the activities of the Conférence Générale in 1983, would replace her for the remainder of the conference.

2. Presentation of credentials by Delegates

After an interval of some fifteen minutes, the Conference reconvened under the presidency of Prof. BLANC-LAPIERRE. He noted how pleased he was to preside at the conference, and recalled that he had already had the pleasure and the honour to preside at the 17th Conférence Générale in 1983, the Conference that adopted the present definition of the metre.

He informed delegates that it had been necessary to modify some of the dates of sessions of the Conference because of a strike of French civil servants due to take place on Tuesday 10 October.

Prof. KOVALEVSKY, the Secretary of the CIPM, informed the Conference that delegates had presented their credentials to him before the opening of the conference and that all was in order.

3. Nomination of the Secretary of the Conference

Following a proposal by Prof. BLANC-LAPIERRE, the 20th Conférence Générale nominated by acclaim Prof. J. KOVALEVSKY, Secretary of the CIPM, as Secretary of the Conference.

Prof. KOVALEVSKY thanked Prof. BLANC-LAPIERRE and asked that a Deputy-Secretary also be nominated, as he had to be absent for part of the afternoon because of unavoidable commitments at the Académie des Sciences. He suggested that Prof. L. CROVINI, the Deputy-Secretary of the CIPM, be Deputy-Secretary for the conference. His proposal was approved.

4. Establishment of the list of Delegates entitled to vote

As the credentials for all delegations had been presented in advance, the Secretary proceeded to the establishment of a list, by Member State, of those delegates eligible to vote. This list, in alphabetical order (in French), is as follows:

South Africa	Mrs M.S.E. WIMMERS
Germany	E.O. GÖBEL
United States of America	Mrs K.B. GEBBIE
Australia	B.D. INGLIS
Austria	R. GALLE
Belgium	H. VOORHOF
Brazil	G.F. GUIMARÃES DE MOURA
Canada	A.L. VANKOUGHNETT
China (People's Rep. of)	GAO Jie
Korea (Rep. of)	CHOE Hong-Guhn
Denmark	K. CARNEIRO
Egypt	M.A.H. EL FEKI
Spain	A. GARCIA SAN ROMAN
Finland	Mrs U. LÄHTEENMÄKI
France	J. KOVALEVSKY
who delegates his vote to	A. KELLER
Hungary	P. PÁKAY
India	E.S.R. GOPAL
Indonesia	M. ANWAR
Israel	A. SHENHAR
Italy	M. MURGO
Japan	Y. KURITA
Mexico	J. GONZALEZ BASURTO
Norway	H. KILDAL
New Zealand	J.V. NICHOLAS
Netherlands	G.J. FABER
who delegates his vote to	R. KAARLS
Poland	K. MORDZINSKI
Portugal	M. VIDIGAL
Romania	G.D. STOICHITOIU
United Kingdom	P.B. CLAPHAM
Russian Federation	Y.V. TARBEYEV
Singapore	V. TAN Khai Shuan
Slovakia	L. ŠUTEK
Sweden	K. SIEGBAHN
Switzerland	B. VAUCHER
Czech (Rep.)	M. TOŠOVSKÝ
Thailand	S. YAMASMIT
Turkey	M. SAHINLER

Of the forty-eight States signatories to the Convention du Mètre, thirty-seven were represented.

5. Approval of the Agenda

The provisional agenda proposed in the Convocation was adopted with the addition of item 6a: Future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale.

The PRESIDENT asked Prof. KIND, President of the CIPM, to present his report.

**6. Report of the President of the
Comité International des Poids et Mesures
on the work accomplished since the 19th Conférence Générale**
(October 1991 – September 1995)

Prof. D. KIND, President of the Comité International des Poids et Mesures, presented the following report.

In conformity with Article 7 of the Rules annexed to the Convention du Mètre it is my pleasure as President of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) to report to the 20th Conférence Générale on the work accomplished since the 19th Conférence Générale. This Report, therefore, covers the four years that have elapsed since October 1991.

Development of international metrology

This year marks the one hundred and twentieth anniversary of the signature of the Convention du Mètre in Paris. During these one hundred and twenty years the Convention has provided the framework within which today's comprehensive and world-wide measurement system was built. The Système International d'Unités (SI) and the complex web of interactions that now exists between the BIPM and the national metrology institutes of the Member States of the Convention du Mètre have become part of the hidden, but essential, infrastructure of the modern world.

Since 1875 the range of activities carried out under the Convention has extended considerably. Not only does the Bureau International undertake more itself, but also the CIPM has become more active through the work of its Comités Consultatifs. These extensions demonstrate the good health of the organization and reflect the growing importance of metrological work expressed by the Member States as they respond to the needs of science, industry, commerce and governments.

Initially, the activities of the organs of the Convention just concerned the metre and the kilogram, that is two units of the three basic mechanical quantities, length, mass and time. It soon became clear, however, that a well defined unit of another quantity, temperature, was necessary in order to carry out proper measurements of length.

When the Convention du Mètre was signed, discussions had already taken place on how best to define units and practical measurement standards for magnetic and electrical quantities. These began in 1832 when Gauss proposed that magnetic measurements be made in terms of "absolute" units defined in terms of the mechanical unit of force. Soon after, Gauss and Weber had introduced an absolute system for all electrical measurements based on the millimetre, milligram and second. In the 1850s William Thomson, later Lord Kelvin, began making measurements in terms of the British mechanical units then in use.

The ideas underlying these developments were very clearly expressed by Maxwell who, in 1863, wrote: "The phenomena by which electricity is known to us are of mechanical origin and, therefore, they must be measured by mechanical units or standards". From then until the end of the century a great deal of work took place, much of it under the auspices of the British Association, to provide a firm practical foundation for these ideas. Important international meetings took place, in Paris in 1881, 1882, 1889 and 1900, in Chicago in 1893, in Berlin in 1905 and in London in 1908. A striking feature of these meetings is the presence of figures such as Kelvin, Rayleigh, Siemens, Helmholtz, Clausius, Kirchhoff, Mach, Govi and Ferraris which confirms not only the importance placed on establishing a proper system of

units for these quantities but also that this topic was central to the physics of the day.

Although not among the activities with which it was initially charged, the BIPM began electrical measurements in 1884 with the construction of standards of one ohm for the French government. In 1907 new ohm standards, again for France, were made to the pattern adopted by the Chicago conference of 1893. With the creation in 1927 of a Comité Consultatif d'Électricité, the BIPM began the wider range of electrical standards work that continues today.

In 1937 the CIPM decided to extend the activities of the BIPM and established a photometric laboratory. In 1960 the 11th Conférence Générale, taking note of the industrial and medical applications of the then rapidly growing field of nuclear physics, again extended the activities of the CIPM and the BIPM, and entered into the field of standards for ionizing radiation. An extension to the site was obtained and new laboratories were built.

The invention of atomic clocks and the creation of atomic time scales more stable than those of astronomy led the 13th Conférence Générale in 1967 to abandon the astronomical basis for the definition of the second. In due course, responsibility for International Atomic Time (TAI), the basis for the world's time scale, was assumed by the CIPM and the task of maintaining the scale was transferred to the BIPM from the Bureau International de l'Heure at the Observatoire de Paris. This extension of the activities of the BIPM was approved by the 18th Conférence Générale in 1987 and took effect on 1 January 1988.

Metrology in chemistry

Modern chemistry and chemical engineering are intimately involved with highly sophisticated measurement. During the development of metrology for physics and engineering, however, there was little demand for anything similar in chemistry: the pressing requirements for accurate measurements in international trade, high-technology manufacturing and basic physics were not accompanied by corresponding requirements in chemistry. Only in the past fifteen to twenty years has the need for an international agreement on measurements in chemistry become evident, but it is now recognized that accurate chemical measurements are necessary to provide long-term stability and to ensure comparability between measurements in different areas. This can only be achieved if quantities are expressed in SI units. In response to a clear demand that something should be done at the highest metrological level in this field, the CIPM began examining the problem in 1990.

After considering the recommendations of a working group, whose existence I reported to the 19th Conférence Générale in 1991, the CIPM created a new Comité Consultatif in 1993: the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM). The CCQM met for the first time in April 1995 and the President of this new Comité will present his first report at this Conférence. Among the terms of reference of this new Comité Consultatif is the requirement that it coordinates its work with that of other international bodies working in the field, among them the International Union of Pure and Applied Chemistry, Eurachem (the European cooperation in chemical measurements) and EUROMET (the European cooperation in metrology). At its 1st meeting, the CCQM made a strong recommendation to the CIPM that resources be made available to begin laboratory work at the BIPM in the field of metrology in chemistry. We are already familiar with the arguments supporting this recommendation for the domains of work corresponding to other Comités Consultatifs: that more efficient support can be given to a Comité Consultatif if BIPM staff are actively engaged in scientific work in the field and that inter-

national comparisons carried out at the BIPM or directly by the BIPM staff have many advantages over those carried out by the national metrology institutes. Although no specific request for additional funds to begin such work is made at this Conférence Générale, we hope that it will, nevertheless, be possible to make a start in this field before the next Conférence Générale. As ever, we shall rely heavily on the support of national metrology institutes as we embark on work in this new field.

International comparisons and the role of the SI

I come now to the increasingly important role of the international comparisons carried out by the BIPM and the Comités Consultatifs. I shall mention their role in verifying the accuracy of national measurement standards, in providing documented evidence of equivalence at the highest level of national measurement systems for the purpose of trade agreements and in providing essential links between the large number of comparisons now being carried out by regional metrology organizations.

International comparisons have always been one of the principal means of demonstrating the accuracy of national realizations of the units of the SI. They serve to compare different methods, to compare the results of the same methods implemented by different people and to demonstrate that the national measurement standards of the participating national laboratories are, or are not, in agreement. Differences disclosed by international comparisons are one of their most useful outcomes and are often the only means of uncovering errors in primary realizations of units.

The importance of international comparisons has recently taken on quite a new aspect. This has stemmed from the growing need to complete national accreditation and certification procedures by providing documented evidence for the equivalence of national measurement standards among the Member States of the Convention du Mètre. For these purposes the occasional and mostly science-driven programmes of comparisons currently carried out by the BIPM and the Comités Consultatifs are insufficient. Consequently, the BIPM and the Comités Consultatifs are now engaged in an exercise to draw up a programme of comparisons that will cover the principal units of the SI on a regular basis and over a sufficient range of values to meet these new requirements. It is by no means straightforward to design such a scheme that does not so overburden the participating laboratories and the BIPM that it becomes unworkable. In essence, what is required is a scheme that calls for the minimum number of comparisons to provide a check on the principal techniques in each field and for repetition only when some significant change has taken place either in the techniques used or in the personnel concerned.

Although this requirement for documented equivalence will inevitably lead to additional work both for the national laboratories and for the BIPM, it is work that must be done. If not initiated and organized jointly by the national laboratories and the BIPM, it will be imposed from outside under conditions far less favourable for the national laboratories. It must further be remembered that international comparisons carried out on a multilateral basis are much more efficient than those carried out on a bilateral basis. To demonstrate equivalence among the national metrology institutes of the Member States of the Convention du Mètre on a bilateral basis would be wholly impractical as the metrology institutes would be overwhelmed by the number of comparisons required.

An essential requirement of international comparisons demonstrating the equivalence of national measurement standards is that the results should be published. Regular publication of summaries of the comparisons carried out

by the BIPM and the Comités Consultatifs has already begun in *Metrologia*. In addition, it has been agreed that summaries of the results of international comparisons carried out under the auspices of the regional metrology cooperations, notably EUROMET and the APMP (Asia/Pacific Metrology Programme), will also be published in *Metrologia* in a common format. The first such publications from EUROMET and the APMP have already appeared and they include, of course, the uncertainties associated with each result.

Using the results of comparisons published in *Metrologia* as the technical basis, pairs of national metrology institutes will be able to draw up bilateral agreements of equivalence for some or all of the units reported upon. Indeed, it may be that some institutes will choose to draw up agreements that cover a wider range of units and standards than those for which direct comparisons have been made. It is likely that this will happen as a result of the overall competence demonstrated by individual national institutes as they take part in the basic minimum set of comparisons that I hope the Comités Consultatifs will shortly draw up.

I now come more specifically to the role played by regional metrology cooperations such as EUROMET, APMP, NORAMET (the North and Central American Cooperation) and COOMET (the Central and Eastern European Cooperation) in international comparisons. The comparisons organized by the Comités Consultatifs primarily involve members of the Comités Consultatifs, that is those institutes most expert in the field. The demonstration of international equivalence, or international traceability, must extend further than this. The regional metrology cooperations provide the means for such an extension. Their local comparisons include laboratories that are not members of Comités Consultatifs and laboratories of States not yet members of the Convention du Mètre. The CIPM, in its Recommendation 1 (CI-1992), drew attention to the importance of this aspect of the work of the regional metrology cooperations. In all comparisons now being set up by Comités Consultatifs, care is taken to include at least one member from each of the principal regional metrology cooperations.

A final word on international comparisons concerns the changes in the organization of comparisons by the BIPM. Increasingly, our comparisons are made by transporting a BIPM primary standard to a national metrology institute for comparison with standards from other institutes; sometimes as many as ten standards from one region are brought together in this way. This has been done for Josephson volt comparisons and for laser wavelength and frequency comparisons. Preparations are in hand for similar comparisons using the BIPM travelling quantum-Hall system and the BIPM cryogenic radiometer. The advantages of such a method of operation are clear. It allows many more institutes to have direct contact with the BIPM than would be possible if they had all to come to the BIPM; it also leads to greater accuracy in many of the comparisons because the BIPM travelling primary standards are much more stable than the best travelling secondary standards used in the past. This is a development that, while increasing the work load and costs for the BIPM, is wholly beneficial for world metrology.

Metrology in today's world

This is neither the time nor the place to review the importance of metrology in today's world. In its deliberations, however, the CIPM is always conscious of the role that accurate measurement plays in international trade, in high-technology manufacturing, in the protection of the environment, and in human health and safety. In the Convocation to this Conférence, Draft Resolution A concerns the need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues. I commend this

Resolution to the Conférence as an important statement drawing the attention of communities not always closely concerned with accurate measurement, to the need to link important measurements to a world-wide and easily accessible system of units, namely the SI, for its accuracy and stability in the long term is guaranteed by its firm links to atomic and fundamental physical constants.

I also commend to the Conférence draft Resolution B concerning the world-wide traceability of measurement standards. The roles of the CIPM, the Comités Consultatifs and the BIPM in providing the underlying basis for world-wide uniformity of measurement standards is one of the central subjects of this Conférence and one that is of increasing importance.

In draft Resolution C, the Comité draws attention to the continuing need to extend the basic knowledge of metrology upon which all practical standards, international comparisons and calibrations are based. In times such as these, when governments seek to reduce their expenditure, it must not be forgotten that today's calibrations and industrial measurements depend on research that was done in earlier years. Any long term and systematic reduction in support for fundamental metrological research would have very unwelcome consequences for practical metrology in the future. I commend, therefore, draft Resolution C to the Conférence.

Developments at the BIPM

I come now to the BIPM. At the 19th Conférence Générale I reported on the completion of the Nouveau Pavillon, constructed as part of the long-term plan for buildings drawn up by the CIPM in 1980. This plan included: a new laboratory for the laser work, completed in 1984; a new building for a library and offices, completed in 1988; and new facilities for workshops. The last of these has not yet been accomplished. There remains, therefore, the problem of the unsuitability of the accommodation presently used for the mechanical workshop. Despite the considerable improvement in the capabilities of the workshop brought about by the installation of numerically controlled machines, the conditions under which these machines are housed remain below the standard that can be considered acceptable. The financial constraints imposed on the operations of the BIPM since 1992, to which I shall refer shortly, have again led to postponement of actions to alleviate this problem. Meanwhile, every effort is being made to improve the existing accommodation and maintain adequate safety in the operation of the machines despite the very restricted space available.

When the Time section was created at the BIPM in 1985, it was recognized that the accommodation then available was hardly adequate. The installation of a small time laboratory for communications equipment and one of two atomic clocks was begun before any proper laboratory space was available. I am now pleased to report that a spacious and fully air-conditioned laboratory for all this equipment has been made in part of the attic of the Observatory building. Since no major alteration to the structure of the building was required nor any change in the roof line, the overall cost of the work was very modest and it was carried out without significantly perturbing the other work in the Observatory. The success of this operation has shown that the much larger space still remaining in the attics could easily be transformed into office space at reasonable cost.

The cessation of experimental work on neutron dosimetry at the BIPM, which has now taken place, stems from the decision of the CIPM in 1985 to concentrate efforts in dosimetry on x and γ rays and to transfer progressively to these fields the resources formerly devoted to neutron dosimetry. The retirement, in 1995, of the two members of the BIPM staff working on neutron dosimetry

allowed the transfer of two posts to the x and γ ray work. Section III of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants at its meeting in April 1995 paid tribute to the work carried out at the BIPM in the field of neutron dosimetry and the key role it played in establishing the fruitful cooperation that now exists through the continuing activities of the Section.

The CIPM decision to cease experimental work in the neutron field has the effect that the building erected specifically for this work in 1964 is now available for other purposes. The light construction of the walls, to reduce neutron scattering, means that adaptation for any other use will require substantial work. Nevertheless, we now have the possibility of carrying out a conversion.

At its meeting in 1992, the CIPM was informed by the Director of the BIPM that, as a result of the world events then taking place, he expected a shortfall in income of some 10 %. He had already taken steps to cut laboratory investment by 50 % and to postpone all but the most essential building maintenance. He also proposed that, in view of future uncertainties in funding, a plan be put in place progressively to reduce overall expenditure by some 8 % over the period 1992 to 1996. The CIPM adopted the plan proposed by the Director, a plan described in detail in the *Procès-Verbaux du CIPM* for 1992: this plan is now being implemented. The principal savings come from a reduction in staff numbers, by not replacing the five members of staff who retire during this period, and by restricting pay and pension increases.

In the Convocation to the Conférence we drew your attention to the need to increase the contributions to the BIPM pension fund in preparation for the doubling in the number of pensioners foreseen beyond the year 2005. By increasing the budgetary contributions progressively, by the equivalent of about an additional 1 % of the budget per year, starting in 1995, it should be possible to provide by 2005 a capital sum sufficient to meet the needs. The origin of this increase in the number of BIPM pensioners is, of course, the increase in size of the BIPM that took place in the 1960s. The staff recruited in that period will shortly retire. The CIPM considers that by making early provision for the increase in pension charges it is taking a prudent and necessary step that must not be postponed. As most of you are well aware, similar increases in pension commitments will be faced at about the same time by the governments of most industrialized States.

At the last Conférence Générale I announced that the copyright of our journal *Metrologia* had been purchased from Springer-Verlag and that from 1 January 1991 the journal would be edited and published at the BIPM. Since then a major effort has been put into improving the journal. The high scientific level of the articles has been maintained but the number of pages published has more than doubled. The journal now appears six times a year, instead of the four previously, and includes four regular issues, one special issue devoted to a particular topic and one which is the proceedings of a conference having a metrological content. I draw your attention particularly to the special issue on units (1995, **31**, No. 6). The subscription list for *Metrologia* remains small, as it has for many years, but I am pleased to say that since 1992 the decrease in subscribers of some 4 % per year that has been felt by most of the major scientific journals has not happened to *Metrologia*. I hope, therefore, that when an upsurge in economic activity reaches the scientific world, *Metrologia* will be well placed to respond.

In 1993, the International Organization for Standardization (ISO) published a *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. This is a very important document. Its origin is a BIPM initiative in 1980 and the CIPM's decision to recommend a uniform practice in the expression of the uncertainty of a measurement in its Recommendation 1 (CI-1981). The *Guide* has been wide-

ly adopted in many fields of metrology with the effect that it is now becoming easier to compare the results of measurements made in different institutes, or by different types of organizations, because a single set of principles is used to express the uncertainties. The widespread acceptance of the *Guide* is due in no small part to the fact that, in addition to the ISO, six bodies cooperated in the preparation of the text: the BIPM, the Organisation Internationale de Métrologie Légale, the International Electrotechnical Commission, the International Federation of Clinical Chemistry, the International Union of Pure and Applied Chemistry, and the International Union of Pure and Applied Physics.

The Comités Consultatifs

I come now to the activities of the Comités Consultatifs. Since the last Conférence Générale there have been ten meetings of Comités Consultatifs: the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), the Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM), and the Comité Consultatif des Unités (CCU) have each met once and the Comité Consultatif d'Électricité (CCE) has met twice. In addition, the three Sections of the CCEMRI have each met twice, the CCDS working group on TAI has met twice; the working groups of the CCM on mass, force, pressure and the Avogadro constant have each met once; the working groups of the CCT on thermodynamic temperature measurements and on practical aspects of thermometry have each met once; and the working group of the CCE on radiofrequency quantities has met twice. Increasingly, the Comités Consultatifs are setting up small *ad hoc* working groups to carry out specific tasks decided at their meetings. The need to carry out international comparisons quickly and to come speedily to decisions on matters related to the realization of units has led most Comités to adopt this way of working.

Although the President of each Comité Consultatif will give his own detailed report on the activities of his Comité, I shall make just a few remarks on each. The CCDM met in September 1992 after a period of ten years without a meeting. It last met just before the adoption of the new definition of the metre in 1983. The implementation of the new definition and advances in physics since that time led to significant improvements in the accuracy of the wavelengths and frequencies specified in the 1983 *mise en pratique* of the definition of the metre. The CCDM, therefore, proposed to the CIPM a new *mise en pratique* taking into account all this new work. This was adopted by the CIPM as the *mise en pratique* of the definition of the metre (1992). The CCM at its meeting in June 1993 received the final report on the third periodic verification of national prototypes of the kilogram. Work began on this verification in 1989 and was completed at the end of 1992. The experiments, based on atomic or fundamental physical constants, that may one day lead to a new definition of the kilogram advance more slowly than was expected. Both the CCE and the CCM follow their progress closely. The CCDS, in March 1993, and its working group on TAI, in March 1993 and March 1995, made important recommendations concerning the calculation and diffusion of International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC). These take advantage of significant improvements in both commercial caesium clocks and GPS (Global Positioning System) time transfer techniques: they should lead to a more accurate UTC and one made available more rapidly to its users. The CCE met twice, in 1992 and 1995. At its meeting in June 1995,

the CCE was confronted with the problem of identifying the necessary and sufficient number of international comparisons that would be required to establish equivalence in electrical standards between national metrology institutes. As President of the CCE, I shall bring its conclusions before you later in the Conference. The CCT met in June 1993 and had before it reports from member laboratories of their experiences in the implementation of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). The CCEMRI met once, in 1994, but each of its three Sections met twice. An important item of discussion has been the need to find ways of maintaining a sound base for x and γ ray dosimetry without using the increasingly high energies that are coming into use in practical radiotherapy. The CCPR met in September 1994 and received the report of the first international comparison in the field of spectro-radiometry carried out by the BIPM. A schedule of international comparisons was agreed for the next four year period including, for the first time, one using cryogenic radiometers. The first meeting of the new CCQM took place in April 1995. One of the principal tasks identified by the new Comité was to define and select primary methods of measurement of amount of substance, and the CCQM decided that the selection and development of such primary methods would be its first and most important action. Finally, the CCU met in February 1995 to approve the draft Resolution H that we have before us now for a modification of the definition of the SI doing away with the class of supplementary units, and placing the radian and the steradian in the class of derived units of the SI. The CCU also began discussing the text of the 7th edition of the SI brochure with a view to adopting it at its next meeting arranged for April 1996.

The CIPM

Coming now to the composition of the CIPM and news of Honorary members, it is with sadness that I inform you of the death of Tomasz PLEBANSKI, member of the Comité since 1983, who died in August 1994. At a time when the Comité has become closely involved with metrology in chemistry his loss is deeply felt not only for the personal qualities that were apparent during the years he was a member but also for his long experience in physical chemistry. We were also informed of the death of an Honorary member of the Comité, Fred LEHANY, who was for many years President of the CCE and guided the CIPM in matters concerned with fundamental electrical measurements.

During the four years since the last Conférence Générale nine other members of the CIPM have resigned, Messrs DE BOER, BRAY, JENSEN, JOSHI, LYONS, POUSTOVOIT, PRESTON-THOMAS, SALA and WANG Daheng, bringing to ten the total number of vacancies declared. In recognition of the long and distinguished service he gave to the Comité, as Secretary from 1962 to 1989 and as President of the CCU from 1964, Jan DE BOER was elected an Honorary member of the Comité. Another election to Honorary membership was that of Hugh PRESTON-THOMAS who was President of the CCT from 1969 to 1992 and Vice-President of the Comité from 1984 to 1992.

These departures from the Comité led to the election by co-option of Mrs GEBBIE and Messrs CROVINI, GAO Jie, GOPAL, KAARLS, LOUNASMAA, MOSCATI, PÂQUET, TARBIEYEV and VANIER. In conformity with Article 8 (1921) of the Rules annexed to the Convention du Mètre, these provisional elections are now submitted for ratification by this Conférence Générale. Since the number of co-options since the last Conférence Générale exceeds nine, half the number of the Comité, no other names have been drawn by lot to be offered for re-election.

Legal metrology and the Convention du Mètre

I now come to the question of legal metrology and the Convention du Mètre. By diplomatic note dated 7 July 1995, the French government, as depository of the two Conventions concerned, informed Member States of the Convention du Mètre and of the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) that it would view favourably moves towards a single intergovernmental organization for metrology. A first approach on this matter was made by the French Ministère des Affaires Étrangères at the end of March 1995 and the bureau of the Comité gave an initial response in June. This response was positive and was made after informal discussions between the Director of the BIPM, the President of the OIML and the Director of the Bureau International de Métrologie Légale (BIML). The full CIPM has now considered the matter. I propose that, in view of its importance, we take this as an additional Agenda item immediately after this Report.

Work of the BIPM

My next and final item is the report on the activities carried out in the laboratories of the BIPM during the four years from October 1991 to September 1995. It covers a very active and successful period indeed.

Length

1991/1992 In the course of the year the Length section engaged in collaborative work with a number of laboratories, much of it devoted to frequency comparisons. Notable were comparisons with lasers from the Institut National de Métrologie (BNM-INM, France), of which one was with a laser whose absolute frequency had recently been determined to within a few parts in 10^{11} by the Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (BNM-LPTF, France) and another with that used for a new determination of the Rydberg constant at the École Normale Supérieure (ENS, France). Work also took place in collaboration with the Laboratoire de l'Horloge Atomique (LHA, France) on diode lasers, the BNM-LPTF and the Établissement Technique Central de l'Armement (ETCA, France) on the development of lasers stabilized at $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$, and the Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA, USA) on the development of a He-Ne laser for an absolute gravimeter. Collaboration with the All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radio-Technical Measurements (VNIIFTRI, Russian Fed.) led to the improvement of lasers stabilized at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$. The circle of international comparisons for lasers stabilized at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ was, for the first time, extended to include Portugal, Romania and Switzerland. Good progress was made on a new argon laser which is iodine-stabilized at $\lambda \approx 515 \text{ nm}$ using an external cell.

1992/1993 Considerable time was devoted to final preparation of the new *mise en pratique* of the definition of the metre, agreed in outline by the CCDM and CIPM in September 1992. The final version, prepared by the BIPM in consultation with a small working group of the CCDM, was agreed by the CCDM and then formally adopted by the CIPM. It was published in the *Procès-Verbaux du CIPM* of 1992, in *Metrologia* (1993/94, **30**, 523-541) and in the report of the meeting of the CCDM. In classical length measurement the last of a series of line standards and end gauges was calibrated for Poland. As no other such standards were then awaiting calibration it was decided, following the advice of the CCDM, that the calibration of line scales and end-gauges should progressively be phased out in favour of increased effort in the laser field, that no further such calibrations would be made. Further collaboration took place with the team at the ENS making measurements of the

Rydberg constant. A new, and more accurate, determination was made using a BIPM methane-stabilized laser at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ as the frequency reference. Among the laser wavelengths recommended in the new *mise en pratique* of the definition of the metre are those at 515 nm, 543 nm, 612 nm, 633 nm and $3,39 \mu\text{m}$, all of which are maintained or are under study at the BIPM. Nevertheless, most international comparisons continue to take place at a wavelength of 633 nm. Calculations were made of the hyperfine structure of iodine near $\lambda \approx 633 \text{ nm}$. Work at $\lambda \approx 515 \text{ nm}$ was concentrated on the new Ar^+ system stabilized using the FM sideband technique. Problems with parasitic mode operation impeded progress with the lasers stabilized at $\lambda \approx 543 \text{ nm}$, but these were expected to disappear after installation of new laser tubes. At $\lambda \approx 612 \text{ nm}$ geometrical effects, similar to those studied some years previously in the methane stabilized laser at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$, were the subject of a combined theoretical and experimental investigation. The CO_2 laser stabilized at $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ began operation and experiments were carried out to characterize its servo control and other operating parameters. An associated $1,75 \text{ m}$ Fabry-Perot interferometer was constructed. The filling and supply of iodine cells for national laboratories and others continued: fifty were prepared in the period from August 1992.

1993/1994 The long-standing BIPM programme of laser frequency comparisons at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ continued with multilateral comparisons in Helsinki (Finland) in which three Nordic countries participated (Denmark, Finland, Sweden) and in Bratislava (Slovak Rep.) in which lasers from six countries in Eastern Europe took part (Bulgaria, Czech Rep., Hungary, Poland, Russian Fed., Slovak Rep.). Collaboration with the ENS on the determination of a new value of the Rydberg constant was extended to include the BNM-LPTF and the BNM-INM for the realization of stabilized lasers at $\lambda \approx 778 \text{ nm}$ using the two-photon transitions of $5\text{S}_{1/2}$ and $5\text{D}_{3/2}$ of rubidium. The first results exhibited a frequency reproducibility about one order of magnitude better than that of the 633 nm lasers and the frequency stability was better still. A similar collaboration using rubidium-stabilized lasers also developed with the Statens Provningsanstalt (SP, Sweden), the Metrology Research Institute (MRI, Finland) and the Helsinki University of Technology (HUT, Finland). As a result of these studies, wavemeters were constructed which allow the frequency of the semiconductor lasers to be adjusted. Other techniques to stabilize the frequency of the lasers, such as super-narrow resonances in iodine vapour driven by polyharmonic light at $\lambda \approx 515 \text{ nm}$, were investigated. The work on a laser stabilized at $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ continued, mainly on the Fabry-Perot interferometer and the construction of the electronic servo. Tabulation of the calculated hyperfine constants of iodine continued with the collaboration of the BNM-INM.

1994/1995 The programme of laser comparisons at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ continues: eight international comparisons were carried out this year, involving twenty countries and the BIPM. One of these took place at the National Measurement Laboratory (CSIRO-NML, Australia) and included five laboratories, from the Asia/Pacific region (Australia, Rep. of Korea, New Zealand, Singapore) and South Africa. Of the others, lasers from twelve countries (Belgium, Canada, France, Germany, Italy, Netherlands, Romania, Russian Fed., Spain, Switzerland, Turkey, United Kingdom) were brought to the BIPM for comparison and the remainder (Portugal, Spain, USA) were compared by taking BIPM lasers to their own laboratories. Collaboration also continues with the ENS, the BNM-LPTF and the BNM-INM on the absolute frequency measurement of stabilized lasers at $\lambda \approx 778 \text{ nm}$ using the two-photon transitions of $5\text{S}_{1/2}$ and $5\text{D}_{3/2}$ in rubidium, and measurements are planned for the beginning of 1996. This year, the SP, the MRI and the HUT worked with the

BIPM on the realization of an external cavity laser diode at $\lambda \approx 633$ nm. Two stabilized Ar^+ lasers, one using the FM-sideband technique and other the third-harmonic technique, are now in operation and measurements are in progress to compare the two techniques. It has been confirmed, both by experiment and by numerical calculation, that the frequency shifts previously observed with the 612 nm He-Ne-stabilized lasers were produced by partial loss of the beam at apertures. The electronic servo system of the first BIPM laser for use at $\lambda \approx 10,6$ μm has been built and checked; for the second laser, the mechanical parts have been constructed and the gain tube is functional. In collaboration with the BNM-INM, the calculation of hyperfine constants of iodine continues.

Mass

1991/1992 The third periodic verification of national prototypes of the kilogram entered its final phase. The exercise both confirmed the desirability of a means to monitor the mass of the international prototype of the kilogram in terms of atomic or fundamental constants and served as a reminder of the extremely high precision of classical methods. Work has followed two broad lines, both concerned with the development of classical standards. In one, a series of projects was directed at increasing the already high precision of mass comparisons; in the other, this precision was used to investigate the long-term performance of the mass standards themselves. Other projects were designed to lead to a better understanding of the anelastic behaviour of the materials used in flexure-strip balances and to give an assessment of the limits to performance of the beam balance. Measurement of the susceptibility of weakly magnetic materials provided a useful body of data for the selection of balance materials with a view to understanding the limits of performance imposed by electromagnetic interactions. Experiments with diamond-machined platinum-iridium (Pt-Ir) mass standards gave a good indication of the reproducibility of surface effects. They suggest that in air at atmospheric pressure the effects of changes in ambient humidity, pressure and temperature are small and easy to control, and that drifts in the masses themselves due to other, as yet unknown, causes set the limit to the reproducibility of Pt-Ir mass standards.

1992/1993 The third periodic verification of national prototypes of the kilogram was completed. Most of the prototypes were returned to their countries of origin, the certificates distributed and a full report on the work, presented to the CCM, was published in the *Procès-Verbaux du CIPM* (1993, **61**, G35-G67) and in *Metrologia* (1994, **31**, 317-336). National Pt-Ir prototypes were calibrated from thirty-four Member States of the Convention du Mètre (Australia, Austria, Belgium, Brazil, Canada, China (People's Rep. of), Denmark, Egypt, Finland, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep. of), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Russian Fed., Slovak Rep., South Africa, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom, USA). A number of conclusions can be drawn from the results. First, it is clear that the mass of the ensemble of national prototypes continues to increase with respect to that of the international prototype, on average by about 0,5 μg per year since the second verification. Second, the reproducibility of weighings using the NBS-2 balance, about 0,5 μg , is significantly better than the stability of the mass of many of the prototypes, which is about 2 μg . The combined uncertainty of 2,3 μg assigned to the results of the third verification stems almost entirely from variations in the mass of some of the BIPM working standards and not from the weighings. Finally, the decision to carry out cleaning and washing of the national prototypes as well as the international prototype

was the correct one. Overall, the third verification highlighted the need for a method of linking the mass of the international prototype of the kilogram to atomic or fundamental constants. It showed that any method having a long-term reproducibility better than about 1 part in 10^8 would be useful since within only a few years, it would be possible to establish whether or not the mass of the international prototype is changing significantly.

1993/1994 Much of the work in this year was related to the previous year's completion of the third verification of national prototypes of the kilogram. The BIPM proposed and carried out a comparison of stainless-steel standards among member countries not possessing platinum-iridium prototypes (Argentina, Bulgaria, Ireland, New Zealand, Uruguay). In addition, within the framework of the CCM, the organization of an international comparison of stainless-steel standards began. Aside from this work, the new flexure-strip balance was nearing completion. Significant progress was made in our understanding of anelastic losses in flexures. Gravimetric surface studies of diamond-turned platinum-iridium surfaces continued, and improvements were made in our ability to characterize the magnetic and geometric properties of stainless-steel standards. An international comparison of absolute gravimeters, organized in collaboration with the International Union of Geodesy and Geophysics, took place at the BIPM. Absolute gravimeters from seven countries participated (Austria, Canada, Finland, Germany, Italy, Japan, USA).

1994/1995 The international comparison of 1 kg stainless-steel standards initiated by the CCM continues and is due for completion in 1996. Two pairs of standards are at present circulating among the twelve participating laboratories (Australia, Canada, China (People's Rep. of), France, Germany, Italy, Japan, Netherlands, Russian Fed., Slovak Rep., United Kingdom, USA). The construction of the new flexure-strip balance is finished and it is now undergoing commissioning tests. These tests include adjustment of the servo-control system of the beam, assessment of the reliability of the mass exchanger, measurements of the temperature stability and temperature uniformity inside the balance case. For each of these parameters, the design criteria appear to have been met. Preliminary weighings of a set of eight 1 kg stainless-steel masses, made at the BIPM specially for this balance, were of comparable quality to those obtained with the prototype flexure-strip balance. Apparent changes in mass were observed during a study of the behaviour of the BIPM Pt-Ir standards using the Mettler HK 1000 balance. It is now thought that the observations represent not changes in mass but faults in the operation of the mass exchanger of the balance. Using commercial capacitance detectors, a new system for the measurement of relative humidity gradients has been constructed and linked to a personal computer. Using this new system it has been shown that gradients in relative humidity and temperature reach a steady state in which the dew-point temperature is constant throughout the air-tight enclosure. A set of Pt-Ir artefacts is being made for the National Physical Laboratory (NPL, United Kingdom), using the BIPM diamond-machining technique, that will be used in vacuum weighing and surface studies. Following the international comparison of absolute gravimeters held at the BIPM in 1994, further measurements made using the BIPM FG5 gravimeter made a useful additional contribution to the analysis of the results.

Time

Throughout the period since the last Conférence Générale, the reference time scales TAI and UTC have been calculated and made available throughout the world through the monthly BIPM *Circular T* and the *Annual Report of the BIPM Time Section*.

1991/1992 By the end of 1991, some 80 % of the laboratories then contributing to TAI were equipped with GPS time receivers and sent their raw observations to the BIPM. An important change to the input of TAI took place in September 1991 when data from hydrogen masers was included for the first time in the computation. Their introduction improved the reliability of TAI without degrading its stability. Work on time-scale algorithms continued, an interesting problem being the description of how time-scale stability is degraded following the abrupt changes of weights that occur when clocks enter or exit the ensemble. Work using limited clock sets appears to confirm that the frequency prediction mode of ALGOS, and the precautions taken for observing new clocks before their definitive introduction were very efficient in dealing with this problem. Time comparisons using the GPS began to be computed using strict common views, with synchronization to within 1 s, to remove the clock-dither noise caused by intentional GPS signal degradation (Selective Availability, SA). The precision of these measurements was about 2 ns for short distances and 8 ns for longer ones. Work continued on testing the closure condition through a combination of three links, Observatoire de Paris (OP, France)-National Institute of Standards and Technology (NIST, USA), NIST-Communications Research Laboratory (CRL, Japan) and CRL-OP. This showed, over an eighteen month period, a residual bias of a few nanoseconds, on daily averages, which varied slowly with time. Improvements in GPS time comparisons calls for the use of precise satellite ephemerides and measured ionospheric delays along the line of sight. Precise ephemerides were regularly received and analysed at the BIPM, but arrived too late to be employed in current work. The Kalman prediction was thought to provide an adequate solution to the problem of the precise restitution of GPS time in real time in the presence of SA and, in this connection, a numerical experiment involving three satellites was carried out. This gave promising results but required more detailed study. A new experiment was carried out allowing a direct comparison of GPS and GLONASS (Global Navigation Satellite System) common-view time transfers. In this a GPS receiver, on loan from the BIPM, was used at the VNIIFTRI (Russian Fed.) and a GLONASS navigational receiver, on loan from the VNIIFTRI, was in use at the BIPM. The precision obtained was about the same in the two systems. The pulsar work continued in collaboration with radio-astronomy groups observing pulsars. The objective of this work was to realize a pulsar time scale by means of a stability algorithm. Such a scale could allow the transfer of the accuracy of the atomic second from one epoch to another, and so avoid the worst consequences of any failure of atomic standards. During the year the Time section provided collaborating groups with the latest version of its post-processed realization of Terrestrial Time TT (BIPM 92) and gave other occasional support.

1992/1993 As a result of discussions that took place during the 1993 CCDS meeting, certain modifications were made to *Circular T*, in particular the differences $[UTC - UTC(k)]$ and $[TAI - TA(k)]$ are now given to the nearest 1 ns instead of the nearest 10 ns, as in the past. As was the case for a number of years, the conformity of the TAI scale interval to the SI second continued to rest almost entirely on the data of a single laboratory, the Physikalisch-Technische Laboratory (PTB, Germany), where the primary standards were recognized as being more accurate than anywhere else. From July 1992, the TAI frequency remained almost constant with respect to the PTB standards, so just one frequency steering correction was applied (April 1993). In the production of TAI, a net improvement in the quality of the input data occurred due notably to improvement in the quality of the clocks in the timing centres and the fact that nearly all the timing centres compared their local realizations of UTC using GPS satellite strict common views. In

addition, precise satellite ephemerides and ionospheric measurements along the line of sight began to be used regularly for long-distance GPS time links. In addition to the GPS common-view method, studies continued on other techniques of time comparison among them GLONASS, LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit) and two-way time transfer. The application of general relativity to time metrology, the object of a CCDS working group, was of increasingly direct interest to the BIPM work on time scales. Two-way and LASSO time transfer experiments gave reproducibilities of a few hundred picoseconds. At this level, the correction to time comparisons between clocks on the surface of the Earth due to Earth rotation (effect known as Sagnac effect) needs to be well understood. A new formula taking the correction to a higher order was developed. Interest continued in collecting pulsar data with a view to generating a pulsar time scale, which might be more stable in the long term (several years) than TAI: we now know that, for this, long series of data are required coming from a sufficient number of pulsars. The latest versions of TT(BIPM) continued to be supplied to radio-astronomy groups. Another activity requiring a very accurate time scale was VLBI (Very Long Baseline Interferometry), used to establish reference frames in geodesy and astrometry. Collaboration took place with laboratories working in the field.

1993/1994 The production of the *Annual Report of the BIPM Time Section for 1993*, Volume 6, was greatly accelerated with respect to preceding years. Definitive results for 1993 were available, in the form of computer-readable files, in the BIPM Internet anonymous FTP from 5 April 1994, and printed volumes were distributed at the beginning of May 1994. From April 1993 the TAI frequency remained constant with respect to the PTB standards, so no frequency-steering corrections were applied. The almost universal use of GPS for time transfer and the increasing numbers of the new HP 5071A caesium clocks considerably improved the stability of TAI and UTC. The Allan standard deviation of TAI was below 5×10^{-15} for all periods within the range ten days to eighty days. This improvement in data stimulated much discussion on possibilities for evolution in the methods of calculation and distribution of TAI and UTC. Work continued on the improvement of GPS time links through the calibration of time delays in GPS receivers for Austria, Germany, Hong-Kong, Japan, Netherlands, United Kingdom and USA, as did participation in time transfer experiments. Participation continued in studies and experiments involving other time transfer techniques including GLONASS, two-way time transfer and LASSO. An investigation on the application of the theory of relativity to time transfer, at picosecond accuracy in the vicinity of the Earth, was completed and the results published. Work on pulsar time scales continued.

1994/1995 In the field of research concerning time-scale algorithms, the activity of the Time section was largely dominated by preparations for, and subsequent follow up of, the meeting of the CCDS working group on TAI, held at the BIPM on 13-14 March 1995. This work includes studies whose aim is to improve the long-term stability of EAL (free atomic time scale) and to define a safe strategy for frequency steering. In this respect, the BIPM now regularly receives data from evaluations of the optically pumped primary frequency standard NIST-7 developed at the NIST. These evaluations lead to a level of accuracy, characterized by a relative uncertainty of 1×10^{-14} (1σ), never reached before. These results had been corrected for the black-body radiation shift, which is estimated to be $-1,7 \times 10^{-14}$ for a caesium atom at a temperature of 300 K. In the past, laboratories reporting data from primary frequency standards have not applied this correction in a uniform way: in particular, the results provided by PTB-CS1 and CS2, upon which the accuracy

of TAI has been based, have never been corrected. However, since July 1995, PTB-CS1 has ceased operation and the BIPM has received an estimate of the black-body correction for PTB-CS2 which has been applied. The scale unit of TAI is thus now evaluated using data from PTB-CS2 and NIST-7 corrected in a consistent manner. This is in agreement with the decisions of the CCDS working group on TAI which recommended to the CCDS that black-body corrections should be applied. The CCDS will take a final decision on this question at its meeting in 1996. Work on the GPS common view technique and on GLONASS time links continues to take full advantage of the new time laboratory. A study of the application of the theory of relativity for the syntonization of clocks in the vicinity of the Earth with an uncertainty of a few parts in 10^{18} has been completed. Collaboration continues with radio-astronomy groups to obtain pulsar data for use in the development of pulsar time scales.

Electricity

1991/1992 Five comparisons were made using the BIPM travelling standard incorporating a 1 V Josephson array: the equipment was taken to the NIST (USA), the National Research Council of Canada (NRC, Canada), the NPL (United Kingdom), the Laboratoire Central des Industries Électriques (BNM-LCIE, France) and the Electrotechnical Laboratory (ETL, Japan). The quality of the results of these comparisons, together with that of the earlier ones with the PTB (Germany) and the Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM, Denmark), exceeded all expectations. The differences between the BIPM realization of the volt and those of all these other laboratories in no case exceeded 0,2 nV with uncertainties of the same order. It was concluded that these comparisons definitively demonstrate world-wide coherence of realizations of the volt based upon the Josephson effect at a level more than two orders of magnitude below that previously obtainable using other travelling standards. Other important work in the Electricity section was the development of a low-frequency, 1 Hz, system for the calibration of resistance standards in terms of the quantized Hall resistance. This system was designed to allow accurate comparison of resistance ratio measurements without the need to rely upon the stability of travelling resistance standards.

1992/1993 A 10 V Josephson array was installed and tested, and agreement to better than 1 part in 10^8 with respect to the 1,018 V Josephson standard was obtained, using the 1,018 V to 10 V comparator. Two more international comparisons of the 1 V Josephson array were completed with the Office Fédéral de Métrologie (OFMET, Switzerland) and the Nederlands Meetinstituut (NMI-VSL, Netherlands). The results show relative differences not exceeding 7 parts in 10^{10} . A precise comparison of half-integer step voltages with the usual integer step voltages of a second 1 V array confirmed the Josephson relation for half-integer steps to within 3 parts in 10^{10} . A transportable quantum-Hall effect (QHE) resistance standard was built and tested employing a new 11 tesla magnet. This was designed to be taken to other laboratories and so allow QHE systems to be compared directly without using traditional travelling resistance standards, whose stability is well below that of the QHE systems. Tests showed that resistors could be calibrated with the new QHE system with respect to R_{K-90} with an uncertainty of a few parts in 10^9 . A novel technique was devised, and experimentally verified, for connecting the samples in series and parallel combinations to yield a total resistance of very high accuracy. This work complemented that related to the transportable 1 V Josephson array system which had successfully linked the Josephson reference standards of eight member laboratories of the CCE. To establish publicly documented traceability of resistance and voltage standards among national laboratories that do not directly use reference standards

based on the Josephson or quantum-Hall effects, a new programme of bilateral comparisons was begun. These comparisons are made using conventional travelling standards. Three laboratories had participated in the programme by the end of September 1993 (Austria, Ireland, Portugal). Work on capacitance standards was taken up again after a pause of some years. The plan is to calibrate 10 pF capacitance standards in terms of the quantum-Hall resistance (QHR) using a capacitance bridge and a quadrature bridge. The capacitance bridge was completed and tested. A study was begun of the power spectral density of electrical noise to examine the limitations imposed by noise on voltage standards and the equipment used to compare them. A systematic study began on the effects of changes in ambient humidity on the behaviour of Zener-diode based voltage standards.

1993/1994 The first comparison of a 10 V Josephson array standard was made by transporting the BIPM system to the BNM-LCIE. The result was a relative difference between 10 V Josephson standards from the two laboratories of only 1,2 parts in 10^{10} , with a total combined standard uncertainty of 1,2 parts in 10^{10} . For 10 V Josephson array work, a low-noise voltage transfer device was developed. In December 1993 the BIPM transportable QHE resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and resistance bridge, was taken to the LCIE and the first on-site comparison of QHE standards was carried out. The results demonstrated agreement between measurements made with the two systems to within a few parts in 10^9 , with a combined total standard uncertainty of about the same value. Important progress was also made in the AC measurement of the quantized Hall resistance at frequencies up to several kilohertz. At 1,6 kHz, sections of the resistance plateaus were observed to be flat to within 1 part in 10^8 . From 1 Hz to 1,6 kHz variations in the ratio of the QHR to the resistance of an AC standard resistor were below 2 parts in 10^7 . Results were obtained for the variation of output voltage as a function of relative humidity for some 1,018 V Zener voltage standards of the type most often used in precise voltage metrology. Decreases in relative humidity of 0,10 provoked increases of between 1,0 μ V and 1,5 μ V in the 1,018 V outputs of some Zener standards. The programme of bilateral comparisons of basic electrical standards attracted interest and in 1993/1994 four national laboratories participated (Austria, Ireland, Norway, Portugal).

1994/1995 Three comparisons have taken place using the transportable Josephson systems: at the Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS, Rep. of Korea), the Measurement Standards Laboratory (MSL, New Zealand) and the National Measurement Laboratory (CSIRO-NML, Australia). The results show relative differences between the 1 V Josephson voltage standards of each laboratory and that of the BIPM of less than 3 parts in 10^{10} with a total combined standard uncertainty below 3 parts in 10^{10} in each case. In November 1994 the BIPM transportable QHE resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and resistance bridge, was taken to the OFMET (Switzerland) and the second on-site comparison of QHE standards was carried out. The results demonstrate agreement between measurements made with the two systems to within a few parts in 10^9 with a combined total standard uncertainty of about the same value. Both the transportable Josephson-effect and QHE apparatus are thus capable of providing traceability between laboratories with uncertainties one order of magnitude or more smaller than those of conventional travelling standards. Further progress has been made in the AC measurement of the quantized Hall resistance at 1,6 kHz. Accurate comparisons were made of the $i = 2$ and $i = 4$ resistance plateaus and accurate quantization was found at this frequency,

but some residual imperfections remained at the level of 1 part in 10^7 . The programme of bilateral comparisons of basic electrical standards continues to attract interest and four comparisons are currently under way (Austria, Ireland, Norway, Portugal).

Radiometry, photometry, thermometry and pressure

1991/1992 Work concentrated on the beginning of the international comparison of the spectral responsivity of silicon photodiodes previously decided by the CCPR. Thirteen laboratories were scheduled to take part in the comparison and fifteen sets of detectors were prepared, the trap detectors being of BIPM design and manufactured in the BIPM workshops. Extensive tests were carried out on the detectors and these, together with a pilot comparison carried out with the collaboration of the PTB (Germany) and the NPL (United Kingdom), confirmed that the type of photodiode chosen had sufficient stability to allow it to act as a transfer device for the comparison. Other work confirmed the repeatability of output of luminous flux and luminous intensity of lamps, of Russian and Chinese origin, which were under test. Studies of the long-term stability of the triple point of water cells confirmed the merits of using solid carbon dioxide to form the ice mantle in triple point cells, and suggest that a modification should be made to *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*.

1992/1993 The international comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes continued. Fourteen national laboratories (Australia, Canada, China (People's Rep. of), Czech Rep., France, Germany, Hungary, Japan, Korea (Rep. of), New Zealand, Russian Fed., South Africa, United Kingdom, USA) participated in this first BIPM comparison in the field of spectroradiometry. Each participating laboratory was sent a set of four detectors, calibrated and tested at the BIPM, comprising three planar photodiodes and one trap detector made up of three integrally-mounted planar photodiodes. On return from national laboratories, the photodiodes and trap detectors generally showed that they had maintained good stability over the period of the comparison, but the trap detectors were better. Only in the ultra-violet (UV) region were significant changes observed, apparently an ageing effect resulting from the UV irradiance. The results of the comparison were distributed to participating laboratories before the end of 1993 in time for them to be considered and discussed at the meeting of the CCPR held in September 1994. Four additional laboratories expressed interest in the comparison after it had begun. A second round of comparisons took place to include these four laboratories (Italy, Netherlands, Spain, Sweden). A theoretical and experimental study of diffraction effects at arbitrarily shaped apertures began with a view to establishing numerical methods suitable for carrying out diffraction calculations with uncertainties of a few parts in 10^5 . Developments in absolute radiometers now require such calculations and it was found that the standard numerical and analytical methods used for many years are not adequate at this level of accuracy. Work also began on the accurate measurement of the residual diffuse reflectance of supposedly specular surfaces, in particular the surfaces of photodiodes. In the field of pressure and temperature measurements, the BIPM primary manobarometer was re-conditioned. Calibrations of the ITS-90 platinum-resistance thermometers for other sections of the BIPM were carried out as required.

1993/1994 The international comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes, begun in 1991, was completed. It was confirmed during the

comparison that the photodiodes appeared to be subject to an ageing effect after exposure to UV radiation. Subsequent measurements at the BIPM showed that the change in responsivity depended mainly on the wavelength of the UV radiation and very little on the irradiance level. It did not seem to be a surface effect. A commercial cryogenic radiometer was purchased from the Oxford Instruments company. The instrument is a of new type. Many of its design features resulted from discussions, organized by the BIPM, with possible users of such an instrument and with the manufacturers. The system was installed at the beginning of 1994. Tests showed that the repeatability of a series of six electrical substitution cycles for an optical power measurement when compared with the old BIPM absolute radiometric reference, a QED-200 detector, was about 2,5 parts in 10^5 . In photometry, the working standards for measurements of distribution temperature were compared with the group of lamps used in the first international comparison of distribution temperature (1963-1964). Following a decision of the CCT at its 18th meeting in September 1993, a comparison of triple point of water cells was organized. Cells from the USA (Jarret) and the Russian Federation (D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, VNIIM) were purchased. Other cells, originating from the Republic of Korea (KRISS), Italy (Istituto di Metrologia G. Colonnetti, IMGIC) and the United Kingdom (NPL) were sent to the BIPM by these laboratories. The triple points were all measured at the BIPM before being sent in groups to the participating laboratories; on their return to the BIPM they will all be re-measured. It was agreed that the comparison should be completed before the next meeting of the CCT, scheduled for 1996. The BIPM manobarmeter, which was renovated in 1993, was returned to full operation. As a check, it was compared with a pressure balance that took part in a CCM medium pressure comparison. The results of the new measurements agree within their uncertainties, namely about 1 Pa.

1994/1995 Much of the work this year has been in preparation for the international comparisons decided by the CCPR at its meeting in September 1994. For the comparison of cryogenic radiometers, three pilot comparisons have been carried out. Two of these (from France and the United Kingdom) were direct comparisons between cryogenic radiometers at the BIPM and the third (with Australia) was an indirect comparison, made by transport of trap detectors. The results of all these comparisons confirm the excellent reproducibility of cryogenic radiometers: differences in no case exceeded 2 parts in 10^4 . The use of trap-detectors as transfer detectors for such comparisons requires accurate knowledge of their characteristics and these are being studied. Following the refurbishment of one of the rooms previously used for thermometry, it has been possible to separate the radiometric facilities which use a monochromator and lamps, from the cryogenic radiometer. A room is now dedicated to cryogenic radiometry, allowing improvements in the experimental arrangement to be made and leaving more space for radiometers coming from other laboratories. In photometry, preparations for the international comparison of luminous responsivity using photometers were undertaken by a working group of the CCPR with the BIPM as the convener. Groups of lamps purchased from Osram and Polaron will constitute a new group of working standards. The 1,5 m diameter integrating sphere, last repainted in 1983, was dismantled, cleaned and its white photometric paint renewed. The international comparison of triple point of water cells, begun in 1994, is well under way. The two groups of national laboratories have completed their measurements (France, Italy, Korea (Rep. of), Russian Fed., United Kingdom, USA). A facility for the test and the comparison of vacuum gauges has been designed and commissioned.

Ionizing radiation

1991/1992 International comparisons continued to be the central activity in the work at the BIPM. Some unresolved problems relating to the neutron fluence comparison involving the BIPM, the PTB (Germany), the Central Bureau for Nuclear Measurements (CBNM) and the NPL (United Kingdom), which were discussed at the 1991 meeting of the CCEMRI Section III, were resolved by additional measurements which enabled the target scattering effect to be evaluated. Considerable effort was devoted to the organization of an international comparison of ^{75}Se measurements requested by the CCEMRI Section II at its meeting in 1991. This was the first comparison in which the BIPM took responsibility for the preparation of the active solution and the ampoules, and it called for considerable preparatory work. Two diluted solutions were prepared and then subjected to independent checks of purity by the PTB (Germany) and the NIST (USA): all ampoules were checked using the ionization chambers of the international reference system for gamma-ray emitting radionuclides (SIR). Results from the comparison arrived at the BIPM in September 1992. Continuing work on the new parity method for experimentally determining the activity of a source was put to use in the ^{75}Se comparison through corrections which provide a direct measurement of delayed disintegrations. Other work was aimed at improving and extending measurement capabilities in dosimetry and calorimetry. Improvements were made in the control of the conditions in the calorimetric system.

1992/1993 In the dosimetry field for x and γ rays, it was found that the air kerma calibration factor of secondary standard ionization chambers in a ^{60}Co beam has a small but significant dependence on the beam spectrum response. In international comparisons of air kerma standards this influence contributes to the overall uncertainty. A small decrease was observed in measured values of absorbed dose to water, D_w , using the 90 TBq source installed in 1987. It was not clear whether this decrease was due to impurities in the source or to the measuring equipment. Comparisons were made between values of D_w calculated according to a well established code from the International Atomic Energy Agency (IAEA) and experimental values obtained directly. The results showed agreement to within about 1 %. Among the calibrations made during the year three sets of thermoluminescent dosimeters were calibrated for the IAEA. This reinforced the traceability to the BIPM of the seventy-two secondary standards dosimetry laboratories (SSDL) in the IAEA network. The installation of a new ^{137}Cs source continued as, in neutron dosimetry, did the international comparison of neutron fluence measurements. The response functions and detection efficiencies of the BIPM liquid scintillation counter were calculated using Monte Carlo codes supplied by the PTB (Germany). The results of the calculations were in good agreement with those obtained experimentally. The calibration of an Am-Be neutron source using the manganese bath method took place. In the field of radionuclides the final report on the international comparison of ^{75}Se activity measurements was completed. Twenty-one laboratories coming from nineteen countries (Argentina, Brazil, Canada, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Japan, Korea (Rep. of), Poland, Romania, Russian Fed., South Africa, United Kingdom, USA) participated in the comparison measurements, which were inherently difficult due to the presence of a metastable state in the decay scheme of the nuclide. Work on counting statistics included a study of the statistics of a scaled-down Poisson process and an examination of the Galushka method of on-line dead-time correction.

1993/1994 In the x-ray and γ -ray dosimetry field, experiments were carried out in the ^{60}Co beam to evaluate the influence of such factors as scatter and uniformity of the beam, dose rate, and depth in water on the response of ionization chambers calibrated in water. For small chambers, their influence was found to be small. Using the ^{60}Co source, comparisons were carried out with four laboratories (Austria, France, Italy, Netherlands) in terms of either air kerma or absorbed dose to graphite. The collaboration with the IAEA continued with the irradiation in the BIPM water phantom of six sets of three thermoluminescent dosimeters. A determination was made of the air kerma for the new 1 TBq ^{137}Cs source using a standard in graphite, similar to the one used with the ^{60}Co source. The comparison of neutron fluence measurements at 24,5 keV continued using Bonner spheres as transfer instruments. A new calibration of the BIPM neutron source was carried out so that two final calibrations could be made of neutron sources from laboratories in France and Brazil. In the radionuclide field, a trial comparison of ^{204}Tl activity measurements began in the autumn of 1994. The BIPM participated in a EUROMET comparison of activity measurements using the liquid-scintillation technique, a technique which had only recently been applied at the BIPM. During the year 19 new results from 10 laboratories (Argentina, Australia, Canada, France, Hungary, Japan, Switzerland, United Kingdom, the BIPM and laboratories of the Commission of the European Union) were produced with the SIR bringing the total to 449 independent results on 53 different γ ray emitters. Work continued in the field of counting statistics where the application of rigorous mathematical methods is of prime importance. The results of this work, carried out at the BIPM for the immediate purposes of radionuclide metrology, have a much wider interest as witnessed by the contributions made to the problem of uncertainty evaluation.

1994/1995 In the x and γ ray field an exhaustive study has been made of the response of a transfer chamber as a function of the radiation quality. Investigations continue to find an explanation for the anomalously high decrease observed at the BIPM in the absorbed dose for ^{60}Co , which is 0,2 % above that expected from the known half-life of 1925,5 days. The air kerma has been determined for the new ^{137}Cs source. The total uncertainty is 0,4 %, which is slightly higher than that for the ^{60}Co source. A comparison of air kerma standards was made with the Glowny Urzad Miar (GUM, Poland) in the BIPM x-ray beams. Two comparisons of standards of air kerma in the BIPM ^{137}Cs beam were made with the NIST (USA) and the Országos Mérésügyi Hivatal (OMH, Hungary). The BIPM analysed the results of the high-dose (15 kGy and 45 kGy) comparison in ^{60}Co radiation organized by the IAEA, in which 9 laboratories participated. Several ionization chambers used as secondary standards of air kerma or absorbed dose to water were calibrated in the x-ray, ^{137}Cs and ^{60}Co beams, for the Council for Scientific and Industrial Research (CSIR, South Africa), the Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants (BNM-LPRI, France), the OMH (Hungary), the Statens Institut for Strålehygiene (SIS, Denmark), the Statens Strålevern (SS, Norway) and the IAEA. Active collaboration with the IAEA continues. A study has been made of methods that could be used by the BIPM to assure the equivalence of international standards for the measurement of absorbed dose to water from high-energy photon and electron beams. Final measurements have taken place in the neutron work following the implementation of the decision to cease experimental work on neutron dosimetry at the BIPM. The stability of three Bonner spheres, being used as transfer instruments in an international comparison of neutron fluence measurements, was checked before the second half of the comparison began. At the end of this comparison, in 1996, the spheres will be returned to the NPL (United Kingdom) from

whence they came originally. The response function of the liquid scintillation detector involved has been measured. In the field of radionuclides, a pilot comparison of activity measurements of ^{204}Tl has been completed (France, Germany, South Africa, Spain, USA), and the results presented to the meeting of CCEMRI Section II. The BIPM participated in a EUROMET comparison of the activity measurements of ^{63}Ni . As a result of the trial comparison of activity measurements of ^{192}Ir , it was decided by CCEMRI Section II that another trial comparison should take place to include a larger number of participants. The number of participants and the number of radionuclides in the SIR continue to increase. As part of the long-standing interest in counting statistics, the evaluation of the results of comparisons and the expression of uncertainties, a study has begun on the possible application to metrology of so-called "robust statistics".

Calibrations

In addition to the extensive range of international comparisons and supporting research work outlined above, calibrations are carried out for many Member States of the Convention du Mètre. In 1991/1992 thirty-nine Calibration Certificates and four Study Notes were issued by the BIPM, in 1992/1993 seventy-two Certificates and two Study Notes, in 1993/1994, fifty-three Certificates and seven Study Notes and in 1994/1995 fifty-three Certificates and three Study Notes.

Publications

Since October 1991 the following have been published:

19th Conférence Générale des Poids et Mesures, Comptes Rendus, 1991, 191 pages.

Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures, T. **59** (80th meeting, September 1991), 221 pages, T. **60** (81st meeting, September 1992), 223 pages, T. **61** (82nd meeting, September 1993), 268 pages, T. **62** (83rd meeting, September 1994), 222 pages.

Annual Report of the BIPM Time Section, Vol. **4** (1991), 150 pages, Vol. **5** (1992), 150 pages, Vol. **6** (1993), 129 pages, Vol. **7** (1994), 127 pages.

Comité Consultatif d'Électricité, 19th meeting (1993), 63 pages.

Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, 13th meeting (1994), 67 pages.

Comité Consultatif de Thermométrie, 18th meeting (1993), 80 pages.

Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde, 12th meeting (1993), 74 pages.

Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, 8th meeting (1992), 215 pages.

Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, 4th meeting (1991), 88 pages, 5th meeting (1993), 165 pages.

Comité Consultatif pour la Quantité de Matière, 1st meeting (1995), 38 pages.

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, 12th meeting (1991), 170 pages, 13th meeting (1994), 141 pages.

Circular T (monthly), 4 pages.

Le BIPM et la Convention du Mètre, 1995, 63 pages.

To these publications must be added 35 BIPM Reports and about 150 articles in scientific journals or conference proceedings, and *Metrologia* volumes 29, 30, 31 and 32.

At the end of his report, the President of the CIPM read draft Resolutions A, B and C: draft Resolution A, on the need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues, draft Resolution B, on world-wide traceability of measurement standards, and draft Resolution C, on the need for long-term metrological research.

He asked Presidents of the Comités Consultatifs to do the same in their field when presenting their report, to allow delegations to make their remarks and ensure that any proposals for changes in wording to be discussed before the final voting on the resolutions scheduled to take place towards the end of the Conference.

A discussion followed on draft Resolution B, which was slightly modified at the request of the delegation of Netherlands.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the President of the CIPM for the quality of his report on the work accomplished since the last Conférence Générale and asked for comments.

Dr CLAPHAM, on behalf of the government of the United Kingdom, congratulated the President of the CIPM and the Director of the BIPM for having maintained the quality of work and research accomplished at the BIPM at a very high level in this difficult financial situation. He drew attention to the building maintenance work that had been postponed for financial reasons and said that it should be kept in mind when voting the budget for future work.

The President of the CIPM thanked Dr CLAPHAM for his words of appreciation of the work accomplished at the BIPM, and remarked that these savings should not be repeated, for this would have serious consequences.

Prof. BLANC-LAPIERRE agreed with Dr KIND and proposed that Prof. KOVALEVSKY ask the Conference to proceed to the formation of an *ad hoc* working group responsible for preparing the discussion on the BIPM dotation for the four years 1997 to 2000, which will come under item 17 of the Agenda.

Prof. KOVALEVSKY informed delegates that the CIPM proposed twelve Member States, taking into account the size of their percentage of contribution to the dotation and a certain geographical balance. After discussion, the group was established as follows: Brazil, Canada, China (People's Rep. of), France, India, Italy, Germany, Japan, Poland, Russian Federation, United Kingdom, USA. It was agreed that the next meeting would take place on Tuesday 10 October at 10 h at the Centre de Conférences Internationales. Prof. KOVALEVSKY then invited the delegates of any other Member State not on this list but who wished to be present during the discussion to make this known to him.

Prof. KOVALEVSKY was appointed President of the *ad hoc* working group.

6a. Future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale

The PRESIDENT proposed to continue with the following item on the agenda: Future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale, and invited the representative of the French Ministère des Affaires Étrangères to open the discussion.

Mr J.-R. GEHAN, Deputy-director in charge of political affairs at the Direction des Nations Unies et des Organisations Internationales of the French Ministère des Affaires Étrangères made the following statement:

Mr PRESIDENT,

As you know, the French government has begun to consider ways to bring about a greater synergy between the organizations charged with handling the different aspects of metrology at the international level, with the aim of reinforcing their role and of responding to the synergy which exists in all countries at the national level.

The French government, as you are aware, is the depository of two Conventions relating to metrology, the Convention du Mètre, signed at Paris in 1875, which set up the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), whose 20th Conférence Générale brings us together today, and the

Convention which set up the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) signed at Paris in 1955 and amended in 1968. The fact that these two organizations have their headquarters in Paris is a source of great satisfaction to the French government, since it is an honour for our capital, and should facilitate the building of closer links between these organizations along lines, both practical and legal, to be determined by the organizations themselves.

During the summer a preliminary study was undertaken by the French authorities among the Member States of the two organizations involved, the BIPM and the OIML, in order to find out how such a suggestion would be received and if this idea should be pursued.

I must say that the replies received, whether short statements of principle or more detailed analyses, seemed to me very encouraging, and I should like to thank the delegations present for this positive reaction. Some of the replies were accompanied by a remarkable analysis of the questions which ought to be asked, treating even the methodology to accomplish a task which, at this stage, is only a feasibility study. I will not elaborate here on these very useful contributions as it is up to each delegation to present its own suggestions. The principal concerns which were expressed are of an institutional nature, such as whether this merger should be limited to modification of the existing Conventions or extend to the development of a new Convention setting out organic links between the two institutions, or to whatever other procedure may be envisaged.

I would like to emphasize that from now on this idea of a merger between "sister" or "cousin" organizations, if I may put it like that, is no longer exclusively that of France: it is your idea, it is whatever you wish to make of it, together with the Directors of the two organizations concerned. It seems to me that the bureaux of these organizations could be asked to undertake a joint study of the practicalities on which you will have to express your views at a later stage.

Thank you, Mr President.

Mr B. ATHANÉ, Director of the Bureau International de Métrologie Légale (BIML), asked to be allowed to address the Conference, a request accepted by the President, and he made the following statement:

Although I am not entitled to participate directly in the discussions of the Member States of the Convention du Mètre, I would like to present to you the point of view of my organization.

As was said by the representative of the French Ministère des Affaires Étrangères, the proposal to study the possibility of a rapprochement between the two organizations was very favourably welcomed by members of the Comité International de Métrologie Légale (CIML).

Member States of the CIML will hold a meeting in Beijing (People's Rep. of China) in two weeks, at which they will discuss this proposal. Of course, the CIML will by then be informed of the decisions of the Conférence Générale des Poids et Mesures on that point and I am sure that, if the draft resolution submitted to the Conférence Générale is adopted, the CIML will adopt a similar resolution. The decision of the CIML will have to be confirmed by the Conférence Internationale de Métrologie Légale, which will meet in November 1996, but it should not be a problem.

We are willing to participate in a joint working group as soon as possible.

The PRESIDENT then invited delegations to address the question.

Dr D.G. STOICHITOIU, Director of the Romanian Bureau of Legal Metrology, said that his government is in favour of a merging of the two organizations under the auspices of a new intergovernmental convention. He did not think it would be wise to keep either convention, even if one or both of them were to be modified, nor both of them as they are. He would prefer that a new intergovernmental organization be created to supervise both existing organizations.

Dr FABER, President of the Comité International de Métrologie Légale and head of the delegation of Netherlands, made the following declaration:

The government of Netherlands adopted a neutral position on the possible merging of the two organizations. It is of the opinion that this proposal needs to be studied and analyzed before making a decision and taking a final position.

I would like to add that, as far as I understand effectiveness of the work to be done by the two organizations, a very good analysis of the needs of metrology in the long term has to be carried out and tasks identified in the framework of a merging of the two organizations.

Mr MURGO, on behalf of the Italian delegation, said that his government had not replied directly to the letters addressed to it but that it is, nevertheless, in favour of a merger, under the auspices of one of the existing conventions, to be modified as necessary.

Prof. TARBEYEV, on behalf of the delegation of the Russian Federation, made the following declaration:

In the case of a merging of the organization created by the Convention du Mètre and the organization instituted by the treaty of the OIML, it is necessary to work out and adopt a new convention, a third one, because the tasks of these organizations and the means of their realization are quite different, i.e. membership and the participating countries, their interests, the amount of fees, the structure of the executive bodies etc.

In respect of the above, in the case of unification of the two organizations, we propose to leave two structures, scientific and legal, under a unified leadership.

It is necessary to draw the attention of the delegations of other Member States to the financial aspects of the activities of the two organizations as the costs of the organs of the Convention du Mètre are one order of magnitude higher than those of the OIML and the system of fees are absolutely different (at the BIPM, contributions are calculated on the basis of UN coefficients, while in the OIML these are calculated with respect to the population and the technical level of metrology in a country). In addition, the pension conditions of the staff differ and the structure of the budget of the BIPM and the OIML are also different.

It is necessary to pay attention to the absolutely different nature of the OIML long-term policy and the BIPM working programme up to the year 2000.

Recognizing the necessity of a closer coordination of the activities of both international organizations having the same objective to ensure traceability of measurements in the world-wide community, irrespective of their possible unification in the future, we propose to establish a joint working group to prepare proposals on the improvement of the efficiency of metrological activities. It should also be mentioned that the problems of metrology and measurement equipment are also being solved within the framework of the International Electrotechnical Commission (IEC), the International Organization for Standardization (ISO), the International Measurement

Confederation (IMEKO), the International Atomic Energy Agency (IAEA), the International Laboratory Accreditation Conference (ILAC) and others.

Taking into account the last circumstance, it is possible to organize an international metrological forum under the auspices of the international organization established by the Convention du Mètre.

Mrs GEBBIE, on behalf of the government of the United States of America, presented the following statement:

My government wishes to thank the French government for taking the initiative in bringing the issue of a possible merger of the Organisation Internationale de Métrologie Légale and the organs of the Convention du Mètre to the attention of Member States of the Convention du Mètre. I also thank Dr QUINN, Director of the Bureau International des Poids et Mesures, for his letters of 29 June, with its appendices, and of 17 July 1995 and Mr ATHANÉ, Director of the Bureau International de Métrologie Légale, for his letters of 1 July, 19 July and 4 August 1995. These communications laid out the issues involved clearly and concisely and demonstrated an openness to change as well as a remarkable spirit of cooperation.

My government views this proposal in a favourable light and would be pleased to participate in any working groups or committees established to discuss or negotiate it. I note for your information that queries suggesting the desirability of a merger were made at very senior levels in both the United States Senate and the House of Representatives last winter.

As to the question of which methodology to use to accomplish a merger, my government would favor an option that does not require either a new or amended convention. We recognize, however, that opinions on this question are divided. Therefore, we believe that this issue should be addressed by a joint working party, fully examining the practice and legal implications of each suggested methodology before this matter can be decided. In other words, we should not limit the scope of this review in any way.

We would urge that this process, including any merger, be carried out with minimal programmatic disruption of the operational units of either organization and with the goal of enhanced overall efficiency and eventual cost savings.

We would urge that, should the two organizations agree to a merger, the merger be effected in a responsible but timely manner. We believe there need be no contradiction here, and that action can be taken that is both responsible and timely.

We believe, finally, that great care must be taken to provide full representation of the interests, practice and goals of legal metrology in the merged organization and its governing bodies. The limit is set by the Convention du Mètre.

Prof. KOVALEVSKY concluded that these declarations reflected a consensus on draft Resolution J, with minor changes, as suggested by the delegation of the Netherlands. He noted that it is clear that future cooperation between the two organizations is envisaged quite differently by different Member States. A working group will be charged to discuss future relations, and representatives will be nominated in the two organizations. What is proposed in draft Resolution J is a beginning to the process. After a while, specialists of international law may be asked to join the working group. Prof. KOVALEVSKY asked delegations to make their views known before proceeding to the vote on the resolution. No other views being expressed, the PRESIDENT passed to the next point of the agenda which calls for the reports of Presidents of Comités Consultatifs on the activities of their committees since the last Conférence Générale.

7. Length and the definition of the metre

Dr P. CLAPHAM, President of the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, was asked to present his report.

The Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM) met in September 1992, its first meeting since the 1983 re-definition of the metre. It will be recalled that the new definition is based on a fixed value for the speed of light. The practical realization of the unit of length relies upon recommendations drawn up by the CIPM, and the principal task of the CCDM was to review these recommendations — what we call the *mise en pratique* — and to recommend whether any changes should be made.

All member laboratories of CCDM now realize the metre by using one or more of the stabilized laser radiations from the list recommended by the CIPM. These laser radiations, when produced under specified conditions, have stated frequency and wavelength values that lie within given uncertainties. In the years since the list was drawn up, however, the techniques for stabilizing lasers have improved and it has become possible to measure their frequency values more precisely. The CCDM considered that the list no longer represented the best practice, and that revised operating conditions, numerical values and uncertainties were needed for all the listed radiations. At this point I should like to pay tribute to the important role played by the BIPM in spreading best practice in laser stabilization techniques.

After discussing the basis for revision, the CCDM gave the task of working out the details to a working group. Before the end of the meeting the numerical values for the two key radiations had been established, but there was insufficient time to complete the full list. Accordingly the CCDM gave the working group precise instructions which enabled it to finish the task by correspondence and to assist the BIPM in the final preparation of the text. All CCDM members gave their assent to the completed document in May 1993 and, following approval by the CIPM, the revised *mise en pratique* was published in the January 1994 edition of *Metrologia*. It is perhaps important to emphasize that the revised frequency values all lie within the overall uncertainties associated with the values given in 1983, so laboratories should see no discontinuities in their standards of length.

The bases for revising the frequency values were new frequency-chain measurements for the methane-stabilized helium-neon laser (88 THz, 3,39 μm) and the iodine-stabilized helium-neon laser (473 THz, 633 nm). These results were confirmed by two measurements of the Rydberg constant, one based on the methane standard and the other on the iodine standard. The difference between the two values of the Rydberg constant is an order of magnitude smaller than their uncertainty (3×10^{-11}).

The uncertainties associated with the recommended frequency values could be reduced because of improvements in the operation of stabilized lasers. For the methane system, a class of lasers has been developed that resolves the methane hyperfine-structure and is referenced to slow-moving molecules, so that the second-order Doppler shift is very small. For such lasers the relative standard uncertainty was estimated to be 3×10^{-12} . For the iodine system, many laser comparisons carried out by the BIPM show that much better agreement was achieved when the operating conditions of the lasers are close to the centre of the ranges specified in 1982. By tightening the tolerances on these conditions, the relative standard uncertainty of the red (473 THz) laser is now estimated to be $2,5 \times 10^{-11}$. Thus for both the iodine and methane systems, the uncertainty has been reduced by a factor of about twelve.

The CCDM also added three new laser radiations to the recommended list; two are based on iodine, and one on a calcium atomic beam. There are now eight recommended laser radiations in addition to the old krypton-86 standard. These standards fall into three categories:

- 1) those which provide continuity with a former definition;
- 2) those which are not often used in length measurement, but which are important references for frequency-measurement chains;
- 3) those which are widely used for high-accuracy metrology.

With the continued development of new lasers and stabilization schemes, such as those using heterodyne-spectroscopy or based on trapped atoms and ions, it may become necessary to limit the number of standards in the third category in order to keep the list to a manageable size.

The CCDM also turned its attention to various aspects of mechanical length metrology. The results of the angle-standard comparison that was completed in 1986, and reported at the 19th Conférence Générale, were formally presented to the meeting. It was agreed to initiate a limited comparison of gauge blocks, so as to link a comparison that was already in progress under EUROMET with the Central and Eastern Europe, North America and Asia/Pacific regions. In order to prioritize and co-ordinate future work on international comparisons of mechanical length standards, a working group on dimensional metrology was established with representatives from each of the active regional metrology organizations.

Finally, the CCDM discussed the work programme of the BIPM in the length field and emphasized the importance of further international comparisons of stabilized lasers, especially those newly included in the revised *mise en pratique*. Further work was also commended on the contamination problems in iodine absorption cells. The BIPM noted that it is seldom required to make use of its facilities for the calibration of line-standards and long end-gauges, and the CCDM considered that the BIPM should gradually withdraw from these activities.

I do not anticipate a need for the CCDM to meet again in the immediate future. The new working group on dimensional metrology should ensure the coordination of comparison exercises and serve as a focus for information exchange. The BIPM will continue its valuable work in coordinating comparisons of laser frequencies as more laboratories adopt the recommendations of the new *mise en pratique*. Meanwhile, national laboratories are urged to continue their research efforts into new frequency standards and comparison techniques since there can be no doubt that the demand for increasing accuracy in length measurement will continue.

At the end of his report, Dr CLAPHAM paid tribute to the BIPM and its staff for the quality of the work accomplished and said that in two years time more candidates could be added to the list of radiations recommended for the *mise en pratique* of the definition of the metre. He read draft Resolution D on the revision of the *mise en pratique* of the definition of the metre.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the President of the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre for his report on the work accomplished since the last Conférence Générale and asked for comments.

Dr VAUCHER, on behalf of the delegation of Switzerland, paid tribute to the Length section of the BIPM for its excellent work. He noted that he had had the opportunity to participate in a few international comparisons and very much appreciated this work. The trial comparison organized under the auspices of EUROMET, that ended in 1994, was very satisfactory and profitable for all participants. The report will soon be distributed to members of the CCDM.

8. Mass and related quantities: the third periodic verification of national prototypes of the kilogram

Dr K. IZUKA, President of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, presented the following report.

Since the 19th Conférence Générale in 1991, the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) has met once: it held its 5th meeting in 1993. The six working groups re-organized at the 4th meeting of the CCM in 1988, and the informal Balance Club established at the same meeting, continue their respective activities. A new *ad hoc* working group on the Avogadro constant was created in 1994. This report summarizes the principal activities of these groups and the corresponding work carried out by the Mass section of the BIPM.

Third periodic verification of national prototypes of the kilogram

Following the second periodic verification, from 1946 to 1953, the third periodic verification of national prototypes of the kilogram, formally anticipated by Resolution 1 of the 18th Conférence Générale in 1987, began in September 1988 and was completed in the autumn of 1992. The verification* was carried out in two parts:

- 1) comparison of the international prototype of the kilogram with its six official copies (*témoins*) and with BIPM prototypes;
- 2) comparison of the national prototypes with two of the official copies.

Forty prototypes were verified, among which thirty-four are national prototypes, one prototype is from the Académie des Sciences de Paris and five were as-yet unattributed prototypes of recent manufacture.

The details of the procedure and results of the above verification are described in the report published in the *Procès-Verbaux du CIPM* (1993, **61**, G35-G67) and in *Metrologia* (1994, **31**, 317-336). Here, I present only a short summary.

Preparatory work

As reported to the 19th Conférence Générale in 1991, a thorough study was undertaken of the changes in mass of platinum-iridium prototypes after cleaning and washing. In a preliminary experiment, the BIPM compared the mass of the international prototype with two working standards whose masses were considered to be effectively constant over a period of six months. This experiment established that the rate of change of mass of the international prototype, after cleaning and washing, is $+ 0,036\ 8\ \mu\text{g}/\text{d}$. Following this, the CIPM decided that, for the purposes of the third verification, the mass of the international prototype should be taken to be its mass just after cleaning and washing using the BIPM procedure, and that the value of this mass should be obtained by extrapolation. It was then decided that the mass of the national prototypes of the kilogram would be first determined in the as-received condition, and once again after cleaning and washing by the BIPM procedure, the latter values were used in the final report of the verification.

* The term *verification*, describing a procedure that would now be called *calibration*, is used here for continuity with the descriptions of the first (1899-1911) and second (1946-1953) verifications.

Comparisons of prototypes with the international prototype and verification of the national prototypes; outline of the procedure

The six official copies (*témoins*) and four of the BIPM working standards were compared directly with the international prototype using the NBS-2 balance on three occasions: first before the verification of the forty prototypes, second half-way through the work and finally after completion of the verification.

The forty prototypes were divided into four groups of ten and verified one group at a time by comparison with two of the official copies in the following way:

- 1) The masses of the prototypes of each group were measured in the as-received condition by comparison with two of the BIPM platinum-iridium standards.
- 2) All ten prototypes as well as the two official copies were cleaned and washed on approximately the same date, just prior to the comparisons. Under the assumption that the mass of all prototypes increases at the same rate immediately after cleaning and washing, the observed differences among the prototypes were essentially those on the common date of cleaning and washing. After cleaning and washing, ten prototypes were compared amongst themselves and with two of the official copies in a highly redundant series of measurements.

Variations in the mass of the two official copies were monitored by comparing with two BIPM working standards which had last been cleaned in 1978 and were kept without cleaning throughout the third verification. The full data set was solved using a least-squares algorithm in which the mass of the international prototype was constrained to be 1 kg.

Results of the third periodic verification

The mass of each national prototype determined, as described above, just after cleaning and washing, is given in Table II of the report on the third verification of national prototypes of the kilogram (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1993, **61**, G 43) reproduced here on page 184. The change in mass of those prototypes compared to the international prototype in 1889 range from - 44 μg to + 69 μg , leaving out those which show a clear anomaly. The standard deviation for the mass of each prototype deduced from all the data (Type A uncertainty) ranges from 0,35 μg to 0,65 μg depending on the number of comparisons to which individual prototypes had been subjected. The combined uncertainty for the mass is 2,3 μg (with 12 degrees of freedom).

Mass standards

International comparisons of secondary standards

As reported to the 19th Conférence Générale, the questionnaire concerning secondary standards of mass circulated by the working group on mass standards confirmed a widespread interest in an international comparison of 1 kg secondary standards. This working group decided to begin the comparison as soon as the third verification of national prototypes was completed. Preparations for the comparison, using two pairs of transfer standards, are now complete. Twelve laboratories, some of which are also involved in similar regional comparisons, are participating in the comparison. I expect that the comparison will be a useful source of information on the uncertainty actually achieved in national laboratories.

Extract from *BIPM Proc.-Verb. CIPM*, 1993, **61**, G 43.

TABLE II

*Results of the third periodic verification
of national prototypes of the kilogram
(May 1989 - October 1992)*

International prototype		⌘	1 kg	
Official copies	K1	1 kg + 0,135 mg		No. 32 1 kg + 0,139 mg
	No. 7	1 kg - 0,481 mg		No. 43 1 kg + 0,330 mg
	No. 8(41)	1 kg + 0,321 mg		No. 47 1 kg + 0,403 mg
BIPM prototypes			No. 25 1 kg + 0,158 mg	
			No. 9 1 kg + 0,312 mg	
			No. 31 1 kg + 0,131 mg	
National and other prototypes	No. 2	Romania		1 kg - 1,127 mg
	No. 5	Italy		1 kg + 0,064 mg
	No. 6	Japan		1 kg + 0,176 mg
	No. 12	Russian Federation		1 kg + 0,100 mg
	No. 16	Hungary		1 kg + 0,012 mg
	No. 18	United Kingdom		1 kg + 0,053 mg
	No. 20	United States of America		1 kg - 0,021 mg
	No. 21	Mexico		1 kg + 0,068 mg
	No. 23	Finland		1 kg + 0,193 mg
	No. 24	Spain		1 kg - 0,146 mg
	No. 34	Académie des Sciences de Paris		1 kg - 0,051 mg
	No. 35	France		1 kg + 0,189 mg
	No. 36	Norway		1 kg + 0,206 mg
	No. 37	Belgium		1 kg + 0,258 mg
	No. 38	Switzerland		1 kg + 0,242 mg
	No. 39	Rep. of Korea		1 kg - 0,783 mg
	No. 40	Sweden		1 kg - 0,035 mg
	No. 44	Australia		1 kg + 0,287 mg
	No. 46	Indonesia		1 kg + 0,321 mg
	No. 48	Denmark		1 kg + 0,112 mg
	No. 49	Austria		1 kg - 0,271 mg
	No. 50	Canada		1 kg - 0,111 mg
	No. 51	Poland		1 kg + 0,227 mg
	No. 53	Netherlands		1 kg + 0,121 mg
	No. 54	Turkey		1 kg + 0,203 mg
	No. 55	Fed. Rep. of Germany		1 kg + 0,252 mg
	No. 56	South Africa		1 kg + 0,240 mg
	No. 57	India		1 kg - 0,036 mg
	No. 58	Egypt		1 kg - 0,120 mg
	No. 60	People's Rep. of China		1 kg + 0,295 mg
	No. 65	Slovak Rep.		1 kg + 0,208 mg
	No. 66	Brazil		1 kg + 0,135 mg
	No. 68	Dem. People's Rep. of Korea		1 kg + 0,365 mg
	No. 69	Portugal		1 kg + 0,207 mg
No. 70	Fed. Rep. of Germany		1 kg - 0,236 mg	
No. 71	Israel		1 kg + 0,372 mg	
No. 72	Rep. of Korea		1 kg + 0,446 mg	
No. 74	Canada		1 kg + 0,446 mg	
No. 75	Hong Kong		1 kg + 0,132 mg	
No. 3	Spain		1 kg + 0,077 mg	
No. 62	Italy (IMGC)		1 kg - 0,907 mg	
No. 64	People's Rep. of China		1 kg + 0,251 mg	

Effect of cleaning and contamination on the surface of platinum-iridium and stainless-steel mass standards

The effect of different cleaning processes, including ultrasonic cleaning, on the surface of platinum-iridium standards has been investigated in detail by several methods of surface characterization, among them x-ray photoelectron spectroscopy, Auger electron microscopy and ellipsometry, and a number of contaminating substances have been identified. A similar study has been carried out on the effect of cleaning (including heat treatment) on the contamination of stainless-steel specimens. The National Physical Laboratory (NPL, United Kingdom) has recently suggested that the ultraviolet/ozone method is well suited to the cleaning of platinum-iridium.

Influence of ambient parameters on platinum-iridium and stainless-steel standards

The influence of changes in ambient conditions (humidity, temperature and pressure) on the apparent mass of platinum-iridium prototypes was studied by the BIPM prior and in parallel to the third verification of the national prototypes. This study used the FB-1 balance developed by the BIPM. A similar study of the effect on stainless standards was made at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Germany) using measurements of the ellipsometry of the surface as the principal analytic technique. During weighing in vacuo, an irreversible mass increase was found: this was thought due to contamination by oil from seals of the turbo-molecular pump used to evacuate the weighing chamber.

Mercury contamination of clean platinum-iridium specimens was observed at the NPL and at the National Research Laboratory of Metrology (NRLM, Japan), although the level of mercury in the air was well below the safety limit; this work resulted in the suggestion that it may be necessary to monitor mercury contamination in mass laboratories.

Monitoring the stability of mass standards

The results of the third verification of the national prototypes raise important questions concerning the long-term stability of the international prototype and its official copies. As a result, the CCM has viewed with great interest the development by several laboratories of independent methods of monitoring the stability of mass standards in terms of fundamental or atomic constants. For this reason, the CCM adopted a recommendation in 1993 which encourages national laboratories to develop a method of monitoring the stability of the present mass standards with a view to opening the way to a new definition of the kilogram. This recommendation was approved by the CIPM and is now presented to this Conférence Générale as draft Resolution E.

Balances

The development of a new BIPM flexure-strip balance to replace the NBS-2 balance is now well advanced. Studies of the anelastic behaviour of flexure-strip materials (Be-Cu and silicon) and the precise analysis of pivots continue. Other laboratories are now developing balances of this type some of them having larger capacity. The effect of convection in balances has been investigated at the PTB: these experiments confirm that temperature uniformity ultimately limits the accuracy of mass comparisons.

Diverse topics

A new high-sensitivity instrument for determining the volume magnetic susceptibility and remanent magnetization of mass standards has been developed at the BIPM. Susceptibilities of order 10^{-5} have been measured with a standard uncertainty of less than 5 %. Elsewhere a number of studies have also been made: on the desorption of gases from the surface of platinum-iridium specimens, on the effectiveness of corrosion tests for the materials used for the fabrication of mass standards, on the relationship between gas desorption and the surface treatment, and on the stability of mass standards fabricated from different materials.

Density

Compilation of a table for water density

One important task assigned to the working group on density was to compile modern data on the density of de-aerated pure water referred to the isotopic composition of Standard Mean Ocean Water (SMOW) and to establish a new density table. The factors influencing the density have been thoroughly investigated by the BIPM and members of the working group. The NRLM and the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO, Australia) have completed their measurement of the absolute density and thermal expansion of water and a task force formed within the working group is preparing to formulate a new density table with an uncertainty of order 1×10^{-6} .

Density of air

The equation for the determination of the density of moist air first approved by the CIPM in 1981 has been revised to reflect the values of the fundamental constants obtained in the readjustment of 1986 and the International Temperature Scale of 1990. The modified equation was approved by the CIPM (CCM Recommendation G 1 (1991)) and published in *Metrologia* (1992, **29**, 67-70). Methods for direct determination of the density of air have been under investigation in some laboratories, and a regional comparison is in progress.

Density of mercury

Mercury remains an important liquid for use in pressure metrology. Participants to the CCM think it important for at least some laboratories in the world to offer the capability of comparing the relative density of various mercury samples. It is also desirable to determine the absolute density of mercury to a standard relative uncertainty of few parts in 10^7 (CCM Recommendation G 2 (1991)).

Force

Measurement of large forces

As reported to the 19th Conférence Générale, numerous comparisons of force standards have been carried out in the past twenty years. The interest of the working group on force is now focused on force standards larger than

1 MN, and the uncertainties of standards realized by dead weight machines and hydraulic multiplication machines have been investigated by comparisons using strain-gauge transfer standards. As an alternative way of realizing large force standards, so-called build-up systems (parallel use of three strain-gauge load cells) has been investigated extensively and an uncertainty of order 1×10^{-4} can now be realized up to 30 MN.

Uncertainties in strain-gauge load cells

Problems concerning the evaluation of the uncertainty of strain-gauge load cells have been major topics in the working group on force. It has been pointed out that more attention should be paid to hysteresis. In addition, new standard procedures to evaluate the uncertainty of force standards and standard machines must be established. In this connection, possibilities for the accreditation of force standard laboratories have been fully discussed.

High pressures

The working group on high pressures organized the second international seminar on "Pressure Metrology from 1 kPa to 1 GPa" at the Laboratoire National d'Essais (BNM-LNE, France) in Paris, in June 1993. Forty-nine papers were presented to some sixty participants from twenty-four countries and the proceedings published in a special issue of *Metrologia* (1994, **30**, No. 6).

Following the successful comparison of pressure measurements in a liquid medium from 20 MPa to 100 MPa, a new comparison up to 500 MPa is in preparation. This pressure region (actually from 100 MPa to 700 MPa or even to 1 GPa), has already been the subject of a successful comparison carried out within the framework of EUROMET in 1992. The working group has decided to begin a similar comparison in the Asia and North American areas with the NRLM as the pilot laboratory.

The working group is also examining, in cooperation with the working group on medium and low pressures, the possibility of organizing a comparison of pressure measurements with a gas medium in gauge mode up to 1 MPa. A preliminary comparison among a limited number of laboratories is under way; it uses two types of pressure balance as transfer standards, one of which will be used for the full international comparison in the near future. If possible, the pressure region will be extended to 7 MPa.

Medium pressures

The international comparison in the pressure range from 10 kPa to 140 kPa using a gas-operated pressure balance as the transfer standard continues, with the NPL as pilot laboratory. So far, twelve laboratories from nine countries, among them the BIPM, have completed their work for the comparison and the results, reported in *Metrologia* (1994, **30**, 705-709), indicate that it has been both successful and useful, although systematic differences well in excess of the uncertainties claimed by individual laboratories were found. The comparison will be extended, with perhaps five more participants.

Low pressures

The planned international comparison of pressures from 1 Pa to 1 kPa has experienced continuing difficulty with the instability of the transfer standard, a capacitance diaphragm gauge. A new group of gauges is now under examin-

ation by the pilot laboratory, the National Institute of Standards and Technology (NIST, USA).

In the domain of ultra-low pressure standards, the working group has decided to carry out an international comparison in the range from 3×10^{-7} Pa to 10^{-3} Pa. The PTB, as pilot laboratory, has prepared a transfer package comprising two types of ionization gauge and a spinning rotor gauge. The NIST and the NPL have already carried out the first trials of the comparison. The comparison will be extended to other laboratories when the first results have been evaluated.

New comparisons on low-range differential pressures and on partial pressures have been discussed by the working group. Decisions will be taken at a future meeting.

Humidity measurement

In view of the importance of ambient conditions in precision measurements of mass and other quantities, a new working group on humidity measurement was proposed at the 5th meeting of the CCM in 1993. The first meeting of the working group was held on 18-19 July 1994 at the Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC, Italy) where, after useful discussions, the decision was made to prepare for an international comparison of humidity measurements. After the meeting, the CIPM decided to transfer the working group from the CCM to the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) given the nature of the scientific problems it is likely to experience in its future work.

Avogadro constant

A more accurate value of the Avogadro constant would now become a key input parameter in the tabulation of values of the fundamental constants. Several laboratories are making efforts to re-determine this constant by correlating the physical and chemical properties of single-crystal silicon with primary standards of length, mass and amount of substance. As close collaboration between laboratories having a wide range of metrological and chemical expertise is required to bring about a successful re-determination, the formation of a working group comprising experts in particular aspects of this work was proposed at the 83rd meeting of the CIPM, in 1994, and the CIPM agreed to establish an *ad hoc* working group on the Avogadro constant within the CCM. The first meeting of this group was held in March 1995, at the BIPM. It was agreed that possible improvements in the measurement and evaluation of such key parameters as macroscopic density, crystal lattice spacing, molar mass and crystal homogeneity should be investigated at the highest level of contemporary experimental science with a view to carrying out a re-determination of the constant with an uncertainty not exceeding a few parts in 10^8 .

At the end of his report, Dr IZUKA read draft Resolution E: monitoring the stability of the international prototype of the kilogram.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the president of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées for his report on the work accomplished since the last Conférence Générale and asked for comments.

A discussion followed between Dr IZUKA and Dr VAUCHER, from the delegation of Switzerland, on the accreditation of force measurement laboratories. For the moment, the CCM cannot offer any final conclusion on this question, due to the difficulty in obtaining a uniform level of accuracy with force measurement machines. The working group on force will have to study how appropriate standards can be established and how force measurement machines can be calibrated before drafting a recommendation.

9. The second and International Atomic Time

Prof. J. KOVALEVSKY, President of the Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), read the following report.

The second and International Atomic Time

In contrast to most other units of the SI, the second cannot be represented by a material standard. Primary laboratories produce a "standard" frequency realized, as well as possible, in conformity with that which defines the second. But one has to disseminate the second. This is done by constructing time scales: frequency standards control a local clock which produces a local time scale based upon the definition of the second.

Actually, the fundamental problem of time metrology is to have a unique time scale to which all laboratories have access so that they can monitor the readings of their own clocks or local time scales. The goal of the BIPM is to create a time scale, called International Atomic Time (TAI), so as to ensure both the accuracy of its unit time interval and the best possible stability while securing full continuity of the service. To accomplish these objectives, data are taken from a large number of independent clocks and these are compared frequently at a distance. This problem was the core of the work of the CCDS during its meeting in March 1993, since it is essential for the construction of TAI. However, one must also not neglect the problem of the accuracy of the scale with respect to the definition of the second, so we begin with this aspect.

Primary frequency standards

For about ten years, the accuracy of TAI was based almost exclusively upon two primary clocks belonging to the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Germany). Resolution 1 of the 19th Conférence Générale brought the attention of laboratories to the need to build new frequency standards. This call was heard; indeed some laboratories had started this work before 1991. However, these frequency standards are very complex and delicate devices whose cost represents an exceptional effort even for a country. In addition, and for the same reasons, considerable time is required for construction, development and testing before the standards become operational. The situation in 1995, however, is different from that existing four years ago. Several new standards have been built in Germany, France and the United States and are under study. In particular, NIST-7 has provided results to the BIPM. The National Institute of Standards and Technology (NIST, USA) considers that the accuracy of this standard is 1 part in 10^{14} , analogous to that of the PTB-CS1 and CS2 standards. The results from NIST-7 are corrected for the frequency offset due to the black-body radiation in the cavity, which was not the case for PTB-CS1 and CS2. The theory of this correction is well known, but it is difficult to determine experimentally since it depends on the geometry of the cavity and the thermal environment of the caesium atoms. The actual definition of the second, however, implies that the transition of the caesium atom must not be disturbed by external fields. In 1985, the CCDS extended these requirements to all perturbations, including those due to radiation. This problem is being investigated by the CCDS. If, as is very likely, it is decided, following advice from the CCDS working group on TAI, to reduce the data to its equivalent at 0 K, it may become necessary to shift the unitary interval of TAI by 2 parts in 10^{14} s relative to its previous realization. This may mean that the uncertainties previously attached to standards are underestimated.

The CCDS has always recommended that alternative configurations of primary frequency standards be studied and constructed; this recommendation was repeated in 1993. At present, the most promising approach is a clock with a fountain of cooled caesium atoms, for which the relative accuracy expected is of order 10^{-15} to 10^{-16} . A prototype is now in a preliminary testing stage in Paris at the École Normale Supérieure (ENS, France) and at the Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (BNM-LPTF, France) and other laboratories are working on the topic. The width of Ramsey fringes has been reduced by a factor of 50. Such an improvement in the precision and accuracy of primary standards will make it necessary to take into account the effects of general relativity in a much more refined manner in evaluating the frequency delivered by a standard and comparing clocks at a distance. At a level of 10^{-16} in relative precision, one must take into account the second order terms in the theory and in expressing potentials. This sets new problems for which the CIPM has approved the creation by the CCDS of a working group on the application of general relativity to metrology. This should specify the meaning of measurements in the framework of this theory and, more generally, indicate the limiting precision beyond which a relativistic treatment of measurements in metrology must be applied. A more rigorous definition of TAI should be provided. A study by the BIPM on the application of the theory of general relativity to clock comparisons in the vicinity of the Earth to an accuracy of about one picosecond has already been published and a first draft of the report of the working group has been prepared.

It should be noted that several laboratories are studying oscillators based on other transitions, among them those of magnesium, mercury and ytterbium. Finally, much work continues to be done on hydrogen masers.

Comparisons of time scales

Comparisons between local time scales maintained by many time services is now carried out almost exclusively using GPS (Global Positioning System). These centres, forty-five in number, are equipped with GPS receivers and regularly observe satellites in accordance with a programme established by the BIPM. Most of the sessions between centres situated in the same geographic region use simultaneous views, the advantage being that this removes the noise deliberately introduced into time signals for military security reasons (Selective Availability, SA). Links between networks and closure are provided by long-distance links established between the Observatoire de Paris (OP, France), the NIST in Boulder (USA) and the Communications Research Laboratory in Tokyo (CRL, Japan), realized using direct simultaneous views. Great efforts have been made to position the receiving antennas of stations precisely in the international geodetic reference system (ITRF) using, in particular, the residuals of time comparisons. Ionospheric corrections, which require the processing of signals at two frequencies, are not usually evaluated. Finally, another factor which has led to improvement is the creation of the International GPS Service (IGS) which supplies, with a delay of only a few days, precise ephemerides of the satellites which are significantly better than those transmitted by the satellites themselves. With the most modern GPS receivers, a precision of the order of 3 ns, for distances up to 1000 km, and 5 ns, for intercontinental links, is obtained when the necessary precautions are taken.

GLONASS (Global Navigation Satellite System), a Russian system similar to GPS is also available, and its use, until now hampered by a lack of specialized receivers, is expanding. A programme of observation using simultaneous views, similar to that carried out for GPS, is being organized by the BIPM.

Experiments show that the precision obtained is of the same order of magnitude as that obtained with GPS.

Taking into consideration expected improvements in the accuracy and the stability of TAI, it is necessary to improve the accuracy of time comparisons so that the results are better than those obtained using simultaneous views with GPS. The LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit) experiment, which used laser beam emission to a transmitter on board a geostationary satellite, showed a precision of 0,2 ns, but no information is yet available on systematic errors. One expects however that the accuracy level is better than one nanosecond. Unfortunately the complexity of the on-ground device does not permit its general use, but it could be used to calibrate other techniques. Two-way time transfer using telecommunications satellites is also being tested: a two year project, with regular observations in Europe and across the Atlantic began in 1994. It involves eight stations, six in Europe and two in the USA, and there are three sessions per week. Comparisons with results obtained by GPS do not show systematic residuals and the precision obtained — somewhat below 2 ns — seems to be limited essentially by the thermal stability of clocks, modems and electronic circuits. It is expected that the two-way method will become operational in 1996, but the programme is still to be determined.

It is fundamental that a diversity of methods should be used to compare clocks, since each is necessarily subject to some systematic error and this can be revealed only by comparing measurements made by several techniques. All current methods involve placing equipment on board satellites. This equipment must be small and need little energy and telemetry, so that its cost is marginal with respect to that supporting the satellite. The construction of such devices is a matter for national or international space agencies and draft Resolution F is addressed to them. This resolution could also, by its reference to Resolution 4 of the 18th Conférence Générale in 1987, facilitate negotiations with agencies responsible for international telecommunications, such as INTELSAT, to pursue the two-way time transfer programme on an operational basis.

Establishment of TAI

The computation of TAI by the BIPM is carried out in two stages. First, every two months, a free atomic time scale (EAL) is calculated from data provided by all the clocks of the network. This calculation is designed to ensure the best possible short- and medium-term stability of the provisional scale. In a second stage, the frequency of EAL is corrected to ensure the accuracy of the scale unit by comparison with primary frequency standards and, accordingly, to obtain better long-term stability.

In recent years, the medium- and long-term stability has improved by almost one order of magnitude and is currently a few parts in 10^{15} . This result was obtained by progress in three fields.

- 1) In the clock comparison procedure described above, improvements resulting from the use of GPS removed most synchronization errors. This made it possible to assess the actual quality of clocks for time intervals shorter than the ten day recurrence of data, with the effect that BIPM staff, having suitable receivers at their disposal, could devise simultaneous observation procedures and make corrections for ionospheric refraction. In addition, by using the commercial clocks lent by the U.S. Naval Observatory (USNO, USA) and the manufacturer, the BIPM staff were able to acquire essential experience.

- 2) When GPS links were established with Russian laboratories, which use hydrogen masers in building their own time scale, it was soon shown that this scale has good stability and closely follows TAI. This was an additional proof that the stability of hydrogen masers is significantly better than that of caesium clocks for periods of up to one month. The gradual introduction of hydrogen masers in the computation of EAL demonstrated the short-term stability of this scale and, consequently, that of TAI, and showed that the computation would be improved if performed at intervals shorter than two months. In this connection, a promising direction is the use of auto-tuned active masers which have good long-term stability.
- 3) Finally, in 1992, a new type of commercial clock, the HP 5071A, appeared. These have a stability of a few parts in 10^{13} , a factor of ten better than the earlier commercial clocks. Their number is growing very rapidly, and more than a quarter of the 230 clocks at present contributing to TAI are of this type. Possible seasonal effects on these clocks have yet to be evaluated.

Together, these improvements have led the BIPM Time section to review the algorithms used for the computation of EAL and to adapt them to these new conditions. It is proposed that the weight distribution of the clocks should be modified to increase the contribution made by hydrogen masers, fifteen of which currently contribute to TAI, and to reduce the time interval between data transmissions. Many tests with real data have been made at the BIPM and others are still in progress. A decision on algorithms may be taken at the next CCDS meeting, scheduled for March 1996.

A future development may be to use observations of millisecond pulsars to verify and improve the very long-term stability (several years or more) of time scales by taking advantage of the remarkable stability of the reduction of the rotation rate of these celestial bodies. The CCDS has encouraged the BIPM to follow, in collaboration with astronomical observatories, the evolution of these measurements and to be prepared to use them. Initially, the task is to compare the stability of TAI with that of pulsar observations. For this purpose, the CCDS has requested that the results of pulsar timings be transmitted to the BIPM.

The relative accuracy of TAI, as already indicated, is essentially based upon the two PTB caesium standards and NIST-7. If the CCDS decides at its meeting in 1996 that the effects of back-body radiation should be systematically applied, the unitary interval of TAI will be shifted by 2×10^{-14} s when compared to its previous realization of the SI second. For many users, however, stability is more important than accuracy. For them, very important progress has taken place, especially during the last two years. The improvements described have reinforced the use of Coordinated Universal Time (UTC) — which is derived from TAI by simple correction of an integer number of seconds — as the world-wide reference particularly in many practical applications. For example, the time transmitted by GPS, whose commercial importance will continue to grow, is already closely related to UTC. New requirements, particularly in air navigation and telecommunications, require greater accuracy and better stability of the UTC time scale and its more rapid dissemination. These requirements, among others, justify the work programme of the BIPM Time section.

At the end of his report Prof. KOVALEVSKY read draft Resolution F on clock comparison by satellite laser techniques.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the president of the Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde for his report on the work accomplished since the last Conférence Générale, which elicited no comments or discussion.

10. Electrical standards

Prof. D. KIND, President of the Comité Consultatif d'Électricité, presented the following report, which includes no draft resolution.

The Comité Consultatif d'Électricité (CCE) met twice since the last Conférence Générale, first in 1992 and second, only recently, in June 1995. At both meetings the CCE discussed matters related to the representations of the volt and the ohm based on the Josephson and quantum-Hall effects following Recommendations 1 and 2 (CI-1988) of the CIPM. It gives me great satisfaction to report here that the important step forward made by the application of agreed conventional values for the Josephson constant K_J and the von Klitzing constant R_K , has led to a considerable improvement in the harmonization of the maintained values of electrical quantities. Obviously, the national laboratories had carefully prepared their users for the change in reference standards that was put into effect on 1 January 1990 and no particular problems were noted. At the 1995 meeting an important point of discussion was the identification of key international comparisons to be carried out, the results of which could be used to demonstrate equivalence of electrical standards among national metrology institutes.

Although laboratories had been encouraged to address suggestions to the BIPM for additions or modifications to the *Technical Guidelines for Reliable Measurements of Quantized-Hall Resistance*, drawn up in 1990 by the CCE, none were received and the CCE concluded that, for the moment, no revision is necessary. During its two meetings, the CCE considered the matter of availability of Josephson arrays and quantum Hall samples. Four national laboratories reported making arrays but only one was able to make one volt arrays generally available. This activity has subsequently been successfully transferred to a private firm. As for quantum Hall samples, the BIPM can provide both mounted and unmounted GaAs samples from the Laboratoires d'Électronique Philips (LEP, France) to members of the Convention du Mètre. Several national laboratories including the Office Fédéral de Métrologie (OFMET, Switzerland), the Danish Institute for Fundamental Metrology (DFM, Denmark) and the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Germany) have made quantized Hall resistance (QHR) samples available to others. In 1995, EUROMET is organizing the fabrication of a second batch of LEP samples. Again, the BIPM will participate and member laboratories of the CCE will be able to obtain specimens from the BIPM.

A current subject of discussion in the CCE is the relationship between K_J and R_K and the international prototype of the kilogram, and the feasibility of using this relationship to monitor the stability of the unit of mass. The CCE discussed some of the evidence supporting the belief that $R_K = h/e^2 = \mu_0 c/2\alpha$. If this equation is true then one would expect that R_K is sample independent. Although one experiment showed that QHR values in Si-MOSFET and GaAs samples were equal to within 3 parts in 10^{10} , confirming more accurately earlier observations by several groups, other experimenters observed significant discrepancies between these two types of samples. At the 1995 meeting of the CCE, however, results were presented showing that discrepancies appear only if the QHR *Guidelines* are not strictly adhered to. The CCE is now of the opinion that there is no experimental evidence for sample dependence of the quantized-Hall resistance. There is now strong evidence to believe that the values and uncertainties assigned to K_{J-90} and R_{K-90} are reasonable and consistent with the latest measurements of the fundamental physical constants. This observation, taken together with the lack of sample dependence of the QHR and the absence of any theoretical reason for believing the contrary, leads to the conclusion that the relation $R_K = h/e^2 = \mu_0 c/2\alpha$ is exact.

In order to put into perspective the scheme to monitor the stability of the kilogram by electrical means, one must be aware that kilogram masses can be compared and the unit of mass maintained in the short term with an uncertainty of about 1 part in 10^9 . Over periods of tens of years, differences between Pt-Ir prototypes of the kilogram can reach several parts in 10^8 . A monitoring scheme should be accurate enough to detect a change of 1 part in 10^8 in no more than five years. Furthermore, it should be realized that although the local value of the acceleration of gravity, g , does not enter into mass comparisons, it does enter in the case of monitoring schemes based on the equality of electrical and mechanical power. Gravimeter comparisons at the BIPM show agreements of about 1 part in 10^8 to 2 parts in 10^8 .

The CCE was informed of the progress of the watt balance experiments at the National Physical Laboratory (NPL, United Kingdom) and the National Institute of Standards and Technology (NIST, USA) and of the levitated superconducting mass experiment at the National Research Laboratory of Metrology (NRLM, Japan). It decided at its meeting in 1992 to establish a CCE working group on electrical methods to monitor the stability of the kilogram. This working group has as one of its tasks to advise the BIPM on experiments that might be set up there to continue this monitoring of the unit of mass. At its meeting in 1995, the CCE received a report from the working group in which it was clear that progress in national laboratories has been slower than had been hoped. Nevertheless, it is now expected that results from the watt-balance experiments at the NIST and the NPL will be presented at the 1996 Conference on Precision Electromagnetic Measurements to be held in Braunschweig.

The CCE reviewed the progress of international comparisons of electrical standards organized by itself or by the BIPM. The 1990 BIPM comparison of resistance standards has already been reported to the Conférence Générale (*Comptes rendus 19^e Conf. Gén. Poids et Mesures*, 1991, 150). The BIPM programme of comparisons of voltage standards based on arrays of Josephson junctions now includes fourteen comparisons at 1 V and one at 10 V. In all cases agreements of better than 1 part in 10^9 have been demonstrated. The BIPM has begun a similar programme of on-site comparisons of QHR standards via a transportable magnet, cryostat, and low-frequency resistance-ratio bridge. Results of the first two comparisons show agreements to about 1 part in 10^9 with uncertainties of a few parts in 10^9 .

CCE comparisons of AC/DC transfer standards and 10 mH inductance have been completed and reported. Five new comparisons, one of 10 pF capacitors, one of AC power and energy and three of AC/DC transfer devices, were agreed in 1992. In 1995, three new comparisons were discussed. They are of high resistance standards, inductive voltage dividers and voltage ratio.

National laboratories are increasingly being required to demonstrate equivalence between national measurement standards. This is something that the CIPM has addressed in the context of the roles of the regional metrology organizations, the BIPM and the Comités Consultatifs in CIPM Recommendation 1 (CI-1992) on world-wide recognition of the results of comparisons of measurement standards. It is now clear that the international comparisons upon which the equivalence of national standards must be based cannot be carried out simply on a bilateral basis between pairs of laboratories. The number of such comparisons would be far too large. In common with other Comités Consultatifs, the CCE has begun to consider how such comparisons should be organized on a multilateral basis. At the BIPM, and in most national laboratories, electrical measurements figure largest in calibrations and demands for comparisons. In trying to draw up a scheme of comparisons that might be used to demonstrate the equivalence

of national electrical standards, the CCE was conscious that all standards cannot at all levels be compared. What is required is a scheme that will be confined to a small number of key comparisons chosen to demonstrate competence in the principal techniques in the field. The CCE, through a small working group set up at the 1995 meeting, has already made a preliminary identification of a set of such comparisons and has started organizing those that are not already under way.

The working group on radiofrequency quantities (GT-RF) continues to be quite active in international comparisons. In 1992 and 1995, it reported to the CCE the completion of a total of thirteen comparisons. For five others, measurements are finished and the reports are in preparation. Three comparisons were abandoned, eight are still under way and eight new comparisons were proposed and agreed. In 1995, five subjects for future comparisons were discussed in the light of the same requirements to demonstrate international equivalence of national standards as were taken up by the CCE. The group discussed its guidelines for carrying out international comparisons, annual progress reports and its efforts to coordinate its activities with those of regional metrology groups. A sub-group is preparing the publication of a list of comparisons completed over the past twenty years.

The increase in importance of international comparisons now taking place highlights once again the key role played by the CCE in electrical metrology. The CCE is the only forum in which the experts from metrology institutes all over the world come together to examine current problems, to review advances in the field and to decide upon future international comparisons. The development of standards based upon the Josephson and quantum-Hall effects, far from reducing the need for international comparisons, has substantially increased the accuracy with which electrical measurements can be made and has, therefore, led to increased demands for international comparisons, but at a much higher level than in the past. There seems no sign that the advances in physics that have led to these improvements have ceased and in the future I foresee yet further exciting developments that will undoubtedly come before the CCE.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the President of the Comité Consultatif d'Électricité for his excellent report, and asked how long it might be before there was a recommendation to base electrical units on the Hall or von Klitzing constants.

Prof. KIND replied that the current definition provides a very good solution to the problem of reproducibility. Using the Josephson and von Klitzing constants, which are linked to the fundamental physical constants and hence are the same all over the world, it will soon be possible to obtain the same result everywhere and the question of reproducibility will be solved. It will take time to achieve an accuracy higher than that currently obtained in the national metrology laboratories, and it will require a considerable effort.

11. Temperature: the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)

Prof. L. CROVINI, President of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), presented his report, which includes no draft resolution.

The need for highly accurate temperature measurements traceable to internationally agreed standards has been increasing world-wide. Technology surveys indicate that applications of thermometry, pyrometry and thermography both to control industrial processes and to test materials and products will increase in number and cover a wider range of temperature. The needs of science are also growing, notably for physics below 1 K, for the thermal properties of matter at medium and high temperatures and for basic metrology. The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) has become a very effi-

cient means to realize the unit of thermodynamic temperature, the kelvin, and to disseminate it to users.

The CCT has devoted part of its activity to monitoring the realization of the ITS-90 in the metrology institutes which participate in its activities. The 1993 survey shows that, for temperatures over 84 K, the ITS-90 has been realized in almost all laboratories interviewed. Below this temperature and, particularly below 14 K, no laboratory appeared, at that time, to have completed its ITS-90 realization continuously down to the minimum temperature of 0,65 K. However, throughout these countries, the ITS-90 was also disseminated using secondary realizations of the ITS-90 where gaps existed in the primary realization.

Since 1993, this picture has changed only in detail: some changes concern temperatures below 84 K. At least five national metrological institutes are currently engaged in the development of a constant-volume helium thermometer (CVHT) for use as an interpolating instrument of the ITS-90. Further low temperature work is currently devoted to ^3He and ^4He vapour pressure scales and to their comparison below 3 K. Published results attest to a very high level of consistency where the two scales overlap, with agreement to better than 0,2 mK.

After the 19th Conférence Générale, the CCT met once, from 7 to 9 September 1993 for its 18th meeting. Four working groups were created on that occasion with the following terms of reference:

Working group 1: *Defining fixed points and interpolating instruments*

Techniques of realization, non-uniqueness, updating the *Supplementary Information*;

Working group 2: *Secondary fixed points and techniques of approximation to the ITS-90*

Secondary fixed points, approximate ITS-90 realizations, international standards and critical tables, updating documents;

Working group 3: *International traceability in temperature measurements*

Information on regional and bilateral comparisons, organizing comparisons, uncertainty estimate procedures;

Working group 4: *Thermodynamic temperature determinations and extension of the ITS-90 to lower temperatures*

T , $T - T_{90}$, $T_{90} - T_{68}$, ^3He vapour pressure scale below 3 K, temperature scales below 0,65 K.

As shown, the activities of these working groups cover a wide range of tasks. Among them, Working group 1 undertook to revise and update the *Supplementary Information for the ITS-90*. The various factors affecting the uniqueness of the ITS-90 have been identified so they can now be evaluated by suitable experiments. Criteria for the optimal realization of the ITS-90 fixed points, and recommendations for comparisons at the highest level of accuracy, have also been proposed.

Primary resistance thermometers operating between 660 °C and 962 °C have been developed in all the laboratories interviewed and show significant improvements in the techniques of fixed point realization and of thermometer use. The non-uniqueness of the ITS-90 in this temperature range has not yet been determined with high accuracy; experiments are in progress and the first results are expected by 1995-1996. The relatively small number of commercial sources of high-quality platinum resistance thermometers is a concern in view of the need to improve the precision of the ITS-90. For the present, these thermometers are available in sufficient numbers to ensure the

realization of the ITS-90 world-wide. Experimental checks of uniqueness have been carried out occasionally, both in the temperature range from 190 °C to 420 °C and below 4,2 K: the results are consistent with the expected precision.

The preparation of a paper *Recommended values of temperature on the International Temperature Scale of 1990 for a selected set of secondary reference points* was the responsibility of Working group 2 to be published in *Metrologia* (1996, **33**, 133-154). Another task was the preparation, in cooperation with the International Electrotechnical Commission, of revised tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers. The tables were finally published at the end of 1995 (*Tables of Physical and Chemical Constants*, 16th ed., Longman, 1995, 65-68).

The international traceability of temperature standards requires that comparisons be carried out at the highest level of accuracy both within and between regional groups of national metrology institutes. For the ITS-90, this is a quite formidable task as it involves both the fixed points and the interpolating instruments. At the CCT meeting, it was recommended that all information concerning comparisons within regional groups, and carried out within the framework of a bilateral agreement, be made available to the BIPM and the CCT. It was also recommended that links be established between regional groups, at the highest level of accuracy, through comparisons organized under the auspices of the CCT in consultation with the BIPM.

Following another CCT recommendation, a comparison of triple point of water cells is currently in progress; this is coordinated by the BIPM and takes place under the auspices of Working group 3. Uniform and well-detailed rules for the expression of the uncertainty in compliance with the ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement* recommendations are an essential prerequisite for the success of such comparisons. It is likely that more comparisons will be carried out in the next five years.

The CCT also recommended that the thermodynamic accuracy of the ITS-90 be better assessed by new determinations of thermodynamic temperature and that the thermodynamic basis for a scale extending below the current lower limit of 0,65 K be provided. Several laboratories are engaged in experiments using a range of different techniques, mainly gas thermometry, acoustic thermometry, noise thermometry and radiation thermometry. Some of these experiments are carried out at temperatures between approximately 700 K and 1 354 K. Others include temperatures between 83 K and 300 K, and below 20 K.

Thermodynamic temperature measurements below 1 K have been carried out in several laboratories. It is recognized, however, that thermodynamic methods do not provide a way to obtain the uniform results required by physics experiments in the temperature range from 2 mK to 1 K. Work in progress in at least four national laboratories will shortly provide the results necessary to propose a reproducible scale in this range.

A contrasting situation occurs in the determination of the temperature of black bodies serving as UV-radiation standards ($T > 1\,400$ K). In this work, thermodynamic temperature measurements using absolute radiometric techniques are often preferred to ITS-90 measurements. An *ad hoc* working group has recently been created within the CCT, but in coordination with the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), to study this matter. It has the following terms of reference:

- to make the best estimate of the uncertainties of the various methods of measuring thermodynamic temperature above 1 357 K, but particularly within the range 2 500 K to 3 200 K;

- to consider the likely influence on these uncertainties of foreseeable technological advances;
- to report its findings and make recommendations to the CCT and the CCPR.

The measurement of gas humidity having important metrological and industrial applications, the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) created a working group to report on the status of humidity standards and to organize an international comparison. More recently, the responsibility for this working group was transferred to the CCT since temperature measurement is one of the most important parameters for the study of the thermodynamic and transport properties of moist gases. As a separate initiative, the first "International workshop on humidity measurement and standards", promoted by the working group, was held in Turin on 18 and 19 July 1994 with the participation of scientists from about fifteen national metrology institutes. The organization of an international comparison of humidity generators (dew-point standards) is under way.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the President of the Comité Consultatif de Thermométrie for the quality of his report and asked for comments.

Prof. TARBÉYEV, of the Russian delegation, remarked that it is difficult to acquire a sufficient number of commercial platinum-resistance thermometers for high temperature measurements and asked whether the situation might be improved soon. Prof. CROVINI replied that it is necessary to improve the quality of these thermometers; further studies are necessary by the CCT.

12. Photometry and radiometry

Dr W.R. BLEVIN, President of the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, read the following report, which includes no draft resolution:

Since the 19th Conférence Générale, the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) has met only once, holding its 13th meeting at the BIPM on 14-16 September 1994. Through its working groups and international comparisons it has however maintained an active and continuous programme of work. This programme reflects the decision of the CCPR at its 12th meeting in 1990 not to conduct any photometric comparisons during the quadrennium 1990-1994, but to concentrate instead on radiometry and spectral radiometry.

International comparison of spectral responsivity measurements

Accurate measurement of the spectral responsivities of detectors, radiometers and photometers is one of the most fundamental requirements of radiometry and photometry. During the period under review, the CCPR carried out an international comparison of such measurements in which the BIPM and eighteen national laboratories participated. Silicon photodiodes were used as the artefacts to be measured and the measurements were made over the wavelength range 250 nm-1000 nm, encompassing the visible, near-ultraviolet and near-infrared regions of the spectrum.

The BIPM served very effectively as the co-ordinating laboratory for this large comparison, utilising its recently developed capability in the measurements of spectral responsivity. Two types of photodiode assembly were used as the artefacts to be circulated, one incorporating a single flat photodiode, and the

other incorporating three photodiodes mounted in the form of a trap detector that almost completely absorbs the incident radiation as a consequence of a series of inter-reflections. A very satisfying feature of the comparison was the reproducibility of these artefacts, most instabilities being sufficiently small for the results to be reliably indicative of real differences between the standards and measurements of the participating laboratories. This was particularly the case with the trap detectors, which proved superior to the single-photodiode artefacts.

A detailed report on the results of this comparison is available from the BIPM and a shorter version will be published in *Metrologia* in 1996. Briefly, in the visible region (400 nm-700 nm) the relative standard deviation of the measurements of the participating laboratories from their mean result was about 2 parts in 10^3 with the trap detectors and 5 parts in 10^3 with the single photodiodes. Outside the visible spectrum the agreement between the laboratories was considerably poorer with both types of artefact. In the infrared the standard deviation increased to about 10 parts in 10^3 at the wavelength 1 000 nm, and in the ultraviolet to about 20 parts in 10^3 at 250 nm. While the results of several laboratories were in significantly better agreement than these overall figures indicate, those of certain other laboratories showed large and systematic differences from the mean. One particularly useful outcome of the comparison was that it assisted some of the latter laboratories to identify and eliminate the sources of their systematic errors. It also made significant contributions to our understanding of factors affecting the stability of silicon photodiodes.

Air-ultraviolet spectral radiometry

Improved ultraviolet measurements are required in numerous fields, including space research, medicine and industrial processes. As reported to the 19th Conférence Générale, the CCPR in 1990 established a working group on air-ultraviolet spectral radiometry to study methods for improving the world-wide uniformity of spectral radiometry in the range 200 nm-400 nm, taking account not only of traditional techniques but also of newer technologies such as synchrotron radiation, cryogenic radiometry and the stabilization of transfer standards.

The working group first reviewed the present state of both source-based standards and detector-based standards for the air-ultraviolet, and in 1992 submitted its first written report to the CCPR. This report describes sources and detectors that might be used as primary standards, considers transfer sources and detectors, and reviews past comparisons of measurements. It made a number of recommendations for future work and these were subsequently published in *Metrologia* (1993, **30**, 373-374).

Another initiative by this working group was the commencement in 1993 of a pilot international comparison of measurements in the air-ultraviolet of a) spectral irradiance, using deuterium and tungsten lamps as the circulated artefacts and b) spectral radiance, using deuterium lamps only.

The 1994 CCPR meeting endorsed the working group's recommendations for future work and asked the group to continue its programme. It noted the need for further research on several different aspects of the problem, e.g., better transfer standards for use with electron storage rings, the emerging use of undulator radiation, the operation of black-body sources at temperatures as high as 3 200 K, the best role for cryogenic radiometers and the basic solid-state physics of ultraviolet detection by photodiodes. Some consideration was given to preliminary results from the pilot comparison mentioned above and a full written report was requested upon its completion.

Cryogenic radiometers

Since the 19th Conférence Générale there has been a rapid increase in the use of electrical substitution radiometers that operate at cryogenic temperatures. The BIPM and most of the member laboratories of the CCPR either possess or are in the process of acquiring one of these instruments, and some of the larger laboratories have several of them. Because of their great accuracy, cryogenic radiometers are increasingly being used as primary standards and there is a growing tendency by national laboratories to make all their radiometric and photometric measurements traceable to them.

The CCPR accordingly decided at its 1994 meeting that it would be timely to undertake an international comparison of cryogenic radiometer measurements during the period 1994-1998. It agreed that it would be premature and unnecessarily complex at this stage to use an actual cryogenic radiometer as the circulated artefact, although it was noted that bilateral direct comparisons of cryogenic radiometers have already been undertaken and are to be encouraged. Instead, silicon photodiodes in the form of trap detectors will be used as transfer instruments, in view of their excellent performance in the recent international comparison of spectral responsivity measurements. Participating laboratories will be required to compare the response of the trap detectors with their cryogenic radiometer at designated laser wavelengths. The comparison will be co-ordinated by the BIPM, and a working group has been appointed to finalize the details.

Photometric international comparisons

At the 1990 meeting of the CCPR it was decided to conduct, during the period 1994-1998, a comparison of photometric measurements based on the circulation of photometers consisting of $V(\lambda)$ -corrected silicon photodiodes, this representing a major departure from the traditional practice of circulating tungsten lamps. At the 1994 meeting, however, it was agreed to proceed with both types of comparison.

The BIPM will serve as the central and co-ordinating laboratory for the comparison based on the circulation of photometers; a working group has been established to finalize the details. Participating laboratories will be required to illuminate the photometers circulated to them using a tungsten source at a distribution temperature of 2 856 K and, within a specified range of illuminance, to measure the luminous responsivity of each photometer (in the SI unit A/lx).

The CCPR was pleased to accept an offer by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Germany) to serve as the co-ordinating laboratory for the comparisons based on the circulation of lamps. It was noted that the BIPM was already heavily committed with other comparisons and that, in any case, its principal expertise had moved in recent years from source-based to detector-based measurements. Comparisons will be undertaken both of luminous intensity measurements (in candela) and luminous flux measurements (in lumen), and a working group has been set up to assist the PTB with the detailed arrangements.

Other international comparisons

Two other comparisons for which a smaller number of participants is anticipated were agreed at the 1994 meeting of the CCPR.

The first of these recognises that uncertainties in the measurement of the areas of optical apertures constitute a major barrier to accuracy in radiometry.

A working group, to be convened by the National Institute of Standards and Technology (NIST, USA), was set up to undertake a comparison of such measurements.

The All-Russian Research Institute for Optophysical Measurements (VNIIOFI, Russian Fed.) reported the interest of the VNIIOFI, the NIST and the PTB in a comparison of spectral radiance measurements on tungsten strip lamps over the wavelength range 250 nm-2 500 nm. The VNIIOFI was invited by the CCPR to co-ordinate such a comparison if the number of laboratories interested in participation proves to be sufficient.

Other matters

Several representatives at the 1994 meeting of the CCPR expressed concern that several agencies responsible for major radiometric studies of Earth resources, the environment and related issues make certain critical measurements in local units based on special instrumentation and procedures, rather than in well-characterized and internationally agreed SI units. This concern was conveyed to the CIPM by means of an appropriate recommendation. The CIPM subsequently agreed that this is an important issue, encountered in fields other than radiometry, and decided to submit the matter to the 20th Conférence Générale as draft Resolution A.

A frequent requirement in developing radiometric standards is to determine the thermodynamic temperature of black-body radiators operating in the range 2 500 K-3 200 K. It has become apparent that radiometric measurements are increasingly being made by methods other than that recommended in the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). The question arises whether the alternative methods can lead to comparable or even greater accuracy than the ITS-90, or whether they have been adopted merely on the grounds of greater convenience in the context of a radiometry laboratory. The CCPR and the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) have established an *ad hoc* working group, under the chairmanship of the President of the CCT, to study and report on this matter.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the president of the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie for his report on the work accomplished since the last Conférence Générale, which elicited no comments or discussion.

13. The mole and measurements of amount of substance

Dr R. KAARLS, President of the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM), presented the report of this committee created by the CIPM in 1993, which met for the first time in April 1995.

Developments in the need for accuracy and traceability of chemical measurements

The SI base unit of amount of substance, the mole, was introduced by the 14th Conférence Générale in 1971, following requests to the CIPM from the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) and the International Organization for Standardization (ISO). The definition of the mole is unique in that the definition also specifies the nature of the quantity whose unit is the mole. From its introduction in the SI until the end of the 1980s, the CIPM did not find it necessary to take any particular action regarding measurements of amount of substance.

However world-wide uniformity and traceability of measurements with higher accuracies is now increasingly being demanded in measurements for chemistry. There are now powerful commercial and public pressures demanding improved reliability in chemical measurements.

International trade, safety, health and environmental protection measures, often enforced through legislation as well as regulations and standardization, require clear comparability and international traceability with respect to the results of chemical measurements and chemical analysis.

Long-term stability of the reference system for chemical measurements and chemical analysis is a clear requirement for the study of changes in the environment.

Because chemical measurements are carried out by many physico-chemical methods it is evident that there exists a close relationship with physical measurements and the corresponding physical units of measurement.

As for all types of measurement, the requirements for comparability, traceability, accuracy, measurement uncertainty and long-term stability, can only be met by linking them firmly to the unchanging constants of nature. This is best done by linking the measurements to the SI.

CIPM interlaboratory studies

The President of the CIPM announced in his Report to the 19th Conférence Générale in 1991 the formation of the CIPM working group on metrology in chemistry and the initiation of some international comparisons in this field.

This CIPM working group was established in April 1992 by invitation to members of the CIPM and to experts suggested by members of the CIPM and IUPAC. The working group organized two series of international comparisons. Their purpose was to test the hypothesis that coordinated international activities on a limited number of reference methods of wide application on a few key reference materials can provide the framework for establishing comprehensive international traceability of measurement results with stated uncertainties related to the SI.

This will allow leading national chemical metrology laboratories to extend the international traceability thereby gained to a wider range of methods and reference materials.

Working group members from the National Institute of Standards and Technology (NIST, USA) drew up a draft protocol (CIPM Interlaboratory Study I) using isotope dilution mass spectrometry (IDMS) as the reference method for the analysis of simple aqueous solutions of inorganic elements. Two solutions, each with three different elements dissolved in dilute acid, were specified in the protocol for the analysis. Laboratory results from methods not using IDMS were to be accepted, but compiled separately from IDMS results.

The reference samples were prepared gravimetrically, so that the target values were established to high accuracy; the target level of relative accuracy for measurements with other instruments was 1 %. The NIST distributed analysis kits for Study I to sixteen participating laboratories.

Solution 1 contained magnesium, lead and cadmium. Solution 2 contained iron, molybdenum and lithium.

Working group members from the Nederlands Meetinstituut (NMI, Netherlands) drew up a protocol (CIPM Interlaboratory Study II) for the analysis of simple gas mixtures using either IDMS, high accuracy mass spectrometry (HAMAS) using external calibration, gas chromatography (GC), chemiluminescence or non-dispersive infrared (NDIR) spectrometry as the referen-

ce methods of analysis. Again results from methods other than these were to be compiled separately. Target values were determined by gravimetric preparation of the mixtures, and the target level of error was $\pm 1\%$ relative. Five different gas mixtures are called for in the Study II protocol. The NMI obtained a total of eleven laboratory participants for Study II. The types of gas mixtures to be sent around were: CO, CO₂, NO, SO₂, natural gas in three compositions.

The CIPM working group on metrology in chemistry met on 5 and 6 July 1994 at the NIST.

The results of Interlaboratory Study I, inorganic elements in solutions, were discussed. The results indicate that neither the inherent accuracy nor the precision of the absolute methods used were consistently achieved by most of the laboratories. The dispersion of the results obtained, which might be typical for a first round of analysis in an interlaboratory study, underscore the need for traceability systems to be established for chemical measurements. It was decided, therefore, to focus on identifying and implementing corrective procedures, in particular by drafting protocols for measurements.

The results of Interlaboratory Study II, primary standard gas mixtures, are more promising. The results of the first comparison round with CO and CO₂ show good agreement between the majority of the participating laboratories, amply fulfilling the target of 1%. These results were obtained via comparisons of the primary standard gas mixture, produced and forwarded by the pilot laboratory, the NMI, to the participating laboratories, against gas mixtures produced by the participating laboratories using gravimetric methods.

However, as far as applied, these absolute methods for determining the composition of the gas also showed a large deviation. Study II is still continuing with other types of gas mixture.

Comité Consultatif pour la Quantité de Matière

The CIPM decided in 1993 to create a Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM). There were a number of reasons for their decision: the first was the increasing involvement of national metrology institutes in establishing international traceability for measurements in analytical chemistry, but, in addition, by creating a Comité Consultatif, the CIPM would be seen to be a) taking the lead in a field that will be of increasing importance, b) responding in an adequate and timely way to a need that has become widely recognized and c), through the terms of reference of the Comité Consultatif, establishing the boundaries within which the responsibilities of the CIPM in this field are seen to lie.

The terms of reference for the CCQM were formulated as follows:

- to advise the CIPM on matters relating to the accuracy of quantitative chemical measurements and traceability to the SI;
- to coordinate the activities of national metrology laboratories in establishing this traceability at the highest level;
- to stimulate understanding of the concept of uncertainty and the assignment of uncertainty statements in chemical measurements, thereby encouraging the establishment of traceability, taking into account other initiatives at regional and international levels;
- to keep under review the question of whether or not there is a need for a programme of work at the BIPM to support this activity.

The CCQM met for the first time on 19 and 20 April 1995. The aim of this first meeting was to seek and define the course for establishing international

traceability in the field of chemical measurements (analysis) by agreement on key methods and international comparisons.

It was understood by all participants that the work undertaken by the CCQM at the highest metrological level must be seen by the chemical community as being relevant to work at field level.

For many chemists, the metrological approach requires the introduction of new terminology, which is already familiar in physics. It is necessary therefore to agree on some definitions. In particular the definitions of a primary method of measurement and of a primary reference material have been formulated in such a way that they apply and can be understood by the chemical community. The CCQM has proposed the following definitions of a primary method of measurement and a primary reference material:

1) Definition of a primary method of measurement:

A primary method of measurement is a method having the highest metrological qualities, whose operation can be completely described and understood, for which a complete uncertainty statement can be written down in terms of SI units, and whose results are, therefore, accepted without reference to a standard of the quantity being measured.

2) Definition of a primary reference material:

A primary reference material is one having the highest metrological qualities and whose value is determined by means of a primary method.

The definition of a primary method of measurement of amount of substance (chemical measurement) leads to the following requirements: measurements of amount of substance, to be considered primary, must be made using a method which is specific for a defined substance and for which the values of all parameters, or corrections which depend on other species or the matrix, are known or can be calculated with appropriate uncertainty.

Primary methods

It is concluded that the following methods of measurement of amount of substance have the potential to be primary methods (as examples):

- isotope dilution with mass spectrometry;
- coulometry;
- gravimetry [a) gas mixtures and b) gravimetric analysis];
- titrimetry;
- determination of freezing-point depression.

For the selected methods regarded as having the potential to be primary methods, working groups were formed and charged with the task of preparing working documents containing the following:

- description of the method (primary principle, mathematical model);
- state of the art;
- evaluation of uncertainty;
- problem areas (disadvantages, deviations from mathematical model);
- current international comparisons, if applicable;
- availability of reference materials needed for international comparisons.

The working groups will report to the CCQM before 1 November 1995.

Action to be taken

The CCQM decided on the following actions:

- 1) The protocol on the application of isotope dilution mass spectrometry (IDMS) prepared by NIST will be split into:
 - a) a general part which will be covered by the document to be prepared by the working group on IDMS under the leadership of the Institute for

Reference Materials and Measurements (IRMM, Commission of the European Communities);

- b) a specific protocol for the next international comparison on lead in water. This protocol will be prepared by the NIST, taking into account the comments sent to the NIST by other members. It is expected that the specific protocol will be available well before 1 November 1995 and that the international comparison of lead in solution can begin before this date.
- 2) The international comparisons on gas mixtures (CIPM Study II) will continue as already scheduled. The NMi expects that the Study II will be completed in early 1997.
- 3) An international comparison on the determination of organic compounds (benzene or ethanol) will be carried out in 1996. A proposal will be prepared by the Laboratory of the Government Chemist (LGC, United Kingdom).
- 4) A survey of additional components of importance for gas analysis will be conducted by the NMi and a proposal for further international comparisons in the field of gas analysis will be sent to the CCQM by the end of 1995.
- 5) A strategy document, prepared by the President of the CCQM and the Director of the BIPM, will describe the role and future action of the CCQM including, insofar as this is possible, target completion dates.

The CCQM also expressed the view that it is important for the BIPM to underpin its central position by acquiring practical expertise in this new field.

The next meeting of the CCQM will take place in February 1996.

Dr KAARLS then read draft Resolution G on metrology in chemistry.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked the President of the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière for his report on the work of this new Comité, which covers a very complex and important subject, and asked for comments.

Mr M. NOGUEIRA FROTA, from Brazil, congratulated Dr KAARLS on the work accomplished in this new field of activity. He mentioned that Brazil tried and organized a structure for chemical measurements; results obtained by this committee will help Brazil.

Dr P. KÖNIG-GEORGESCU, head of the Laboratory of physico-chemical measurements and ionizing radiations of the National Institute of Metrology of Romania, made the following declaration:

The creation in 1993 of the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière was a great satisfaction to me, as chemist. It seems paradoxical to me, considering world-wide concern for the destruction of the environment, the need to safeguard the ecosystem, and the need for protection from combustible and potentially explosive pollutants, that these questions remain marginal for metrologists.

I welcome the first theoretical work of this Comité, and the international comparisons with the national laboratories, aimed at clarifying the concept of international traceability of chemical measurements.

I regret that the physico-chemical laboratories of Romania, despite the interest they have shown in these measurements, have been ignored. These laboratories could participate in different types of comparisons in the field of gas analysis, electrolytic conductivity, viscometry (a domain in which Romania has a fruitful experience of more than ten years, under the auspices of the American Society for Testing and Materials), humidity of gas and solids, densimetry of liquids, photometry and reference materials for spectrophotometry.

It is true that Romania does not have the high performance equipment required, for example, in the protocol for Study I, to work on isotopic dilution mass

spectrometry, but its laboratories can participate in comparisons in the field of gas analysis (Study II) with its primary standards prepared gravimetrically and infrared analysers, and in the other fields mentioned above.

The interest and the ambition of Romania to take part to this work are well justified by its will to integrate into Europe. Romania exports inorganic chemical products and petroleum, and is obliged to follow precise analytic characterizations for these products. Romanian laboratories think they are in conformity with the ISO rules, and they need metrological documents proving the state of their equipment and the traceability of their measurements in order to obtain accreditation. These are the first indices of a "metrological conscience" in chemistry, mentioned at a congress organized by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Germany) in Bucharest on modern metrological infrastructure. To my question concerning the traceability of measurements and how it is actually realized, in particular in the domain of gas chromatography, the reply given was that work is just starting.

I think that this may be a good and unique opportunity to attempt real cooperation among all laboratories interested, and I wish to express again the will of Romania to integrate, because our legal system requires it, in any way with the European system by means of bilateral or multilateral agreements. For example, note that it will be forbidden, in 1996, to use in Romania exhaust fume analysers that are not based on infrared, as required by Recommendation 99 of the OIML.

Romania is ready to support the activities of the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière, and approves the draft resolution presented by its President.

Dr KAARLS thanked Dr KÖNIG-GEORGESCU for his remarks and said he is pleased with the offer from Romania to cooperate in this work. The CCQM plans to organize a comparison in Europe in collaboration with the European Union; he will then contact the Romanian laboratory.

Dr BIRCH (Australia) congratulated Dr KAARLS on his report and asked if the source of the poor results obtained in the framework of Study I had been identified. Dr KAARLS answered that problems arose partly from a lack of knowledge and experience in the laboratories using isotope dilution mass spectrometry. We need an improved protocol for the next international comparison of lead in water. As a beginning in the realization of a useful traceability scheme in chemical measurements, we are looking first for practical results on gas mixtures which will be of direct use to chemists, and will start with simple compounds before progressing to more complex compounds. We shall never achieve traceability for all types of chemical compounds, as this would require too much work.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked Dr KAARLS for his report and all those who asked questions.

14. Ionizing radiation

Prof. G. MOSCATI presented the report of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), in the absence of the president Dr VANIER.

Ionizing radiation plays an important role in many fields of science and technology. The accurate measurement of ionizing radiation is important in the nuclear power industry, in medicine and, increasingly, in industrial applications which involve the use of high doses of radiation for the sterilization of pharmaceutical products, for food preservation and for processing in the plastics and wood-products industries. Taken together, these applications call for measurements covering a wide range of radiation types, energies and doses.

While the measurement accuracy required in this field is modest relative to that sought in many other fields, the need to achieve the defined accuracy is crucial, as failure can be life-threatening. In medical applications of ionizing radiation, the minimum detectable level of physiological response in the human body is generally about 1% and this defines the required uncertainty of measurement. No single measurement method covers all the types, energies and doses of radiation which are of interest, so a broad range of techniques must be maintained to link the measurements to SI units. As well-characterized ionizing radiation is difficult to produce and many parameters must be measured, ionizing-radiation metrology is an important and heavy charge on the national metrology institutes.

The CCEMRI fulfils a key role in bringing together representatives of the world's ionizing-radiation metrology institutes. The work initiated by the CCEMRI, both at the BIPM and elsewhere, provides a secure and permanent link between ionizing-radiation measurements and the SI.

Since the 19th Conférence Générale, the CCEMRI has met once, on 12 and 13 April 1994, and each of its three Sections has met twice. Section I (X and γ rays, electrons) met from 21 to 23 April 1993 and 24 to 26 April 1995; Section II (Radionuclide measurements) met from 1 to 3 June 1993 and 9 to 11 May 1995 and Section III (Neutron measurements) met from 19 to 21 April 1993 and 27 to 28 April 1995.

In the presentation which follows, the work of the CCEMRI, together with the corresponding activity of the BIPM, is described in section order.

X and γ rays, electrons

The measurements performed at the BIPM in the field of dosimetry are of two complementary types: *a*) international comparisons decided by the CCEMRI and calibrations based on established and maintained standards, and *b*) research and development of new standards.

The ongoing activity in comparisons and calibrations against the BIPM standards for air kerma and absorbed dose in graphite and water is considered a priority by the CCEMRI. Since 1991, seventeen comparisons of primary standards involving nine countries have been carried out. For national laboratories which maintain only secondary standards, calibrations are made periodically and this work has involved forty ionization chambers from twelve countries. The International Atomic Energy Agency (IAEA), in cooperation with the World Health Organization (WHO), coordinates a network of Secondary Standards Dosimetry Laboratories (SSDL) established in seventy-two countries. The Agency's dosimetric references are traceable to BIPM standards, and it maintains a special collaboration with the BIPM in which periodic calibrations of its reference instruments (ionization chambers, thermoluminescent dosimeters) are carried out in the BIPM radiation beams.

There is a particular need to develop primary standards for radiotherapy and radiation protection. For this reason Section I of the CCEMRI recommended in 1991 that the BIPM install a ^{137}Cs source: this was done in 1994. In this, a collimating device defines two beams of different diameters, one for air kerma measurements and the other for ambient dose equivalent measurements. The equipment is well suited for comparison and calibration at the radiation protection level.

Various parameters linked to primary standards and to comparisons and calibrations have been investigated, among them the relation between air kerma and absorbed dose in water, and the influence of irradiation conditions on the calibration of ionization chambers in terms of absorbed dose in water. Work on water calorimetry for measuring absorbed dose will resume in the near future.

High-energy beams of photons and electrons from linear accelerators are increasingly used in radiotherapy with consequent reductions in the number of ^{60}Co units. To maintain its influence, the CCEMRI is of the view that the BIPM must take an active part in establishing calibration standards for this very important field. Proposals discussed by Section I call for the establishment of a system similar to the international reference system for activity measurements of gamma-ray emitting nuclides (SIR) developed for radionuclide metrology. This would use ionization chambers and permit comparisons between national laboratories.

Radionuclide measurements

It is useful to divide the activity measurements performed at the BIPM in collaboration with Section II into absolute and relative measurements. Absolute measurements concern international comparisons in which aliquots of a radioactive solution are distributed among the participants; relative measurements concern the SIR to which samples are submitted by national standards laboratories.

During the reporting period, Section II selected two radionuclides for international comparisons: the gamma-ray emitter ^{75}Se for a full-scale comparison and the beta-particle emitter ^{204}Tl for a trial comparison. For the first time, the solutions were prepared and distributed by the BIPM. Twenty-one participants took part in the ^{75}Se comparison. The results scatter over the relatively large range of $\pm 2,5\%$ and this is considered to be due to the effect of the metastable level in the daughter nuclide ^{75}As . The ^{204}Tl comparison is complete and a detailed analysis of the results has been prepared by the BIPM.

The results of previous international comparisons of activity measurements have been published in *Nuclear Instruments and Methods*: ^{133}Ba (1992, **A316**, 318-323), ^{109}Cd (1994, **A345**, 289-295), and ^{125}I (1995, **A366**, 183-191).

The SIR plays a role of increasing importance in efforts to improve world-wide quality assurance through the international traceability of national activity measurements. A total of 614 ampoules has now been measured, and 449 independent results for 53 gamma-ray emitters have been obtained. For the first time, radioactive gases have been measured in the SIR. The extension of the system to beta emitters is being pursued with success.

In the field of counting statistics, various studies have been undertaken, their aim being to improve either our capability for activity measurement or the statistical analysis of the results obtained.

Neutron measurements

The main activity of Section III has been two international comparisons of measurements of neutron fluence. Both were organized by the BIPM and involved the circulation of transfer instruments among the participating laboratories. The first comparison demonstrated good agreement in the measurement of 2,5 MeV and 14,7 MeV fluence after correction of the detector response to compensate for the interaction of the neutrons with the materials of the neutron-producing targets. The second exercise, involving measurements with 24,5 keV neutrons, is scheduled for completion in late 1995. In it, neutrons may be generated by one of three techniques: filtered reactor beams, $\text{Sb/Be}(\gamma, n)$ radioactive sources and the reaction of proton beams on scandium targets. Between the measurements made by individual participants, the detector set is returned to the BIPM for stability checks.

Comparisons of neutron measurements have now been made from 24,5 keV to 14,7 MeV over a number of selected energies. A comparison of measurements of thermal neutron fluence is being planned, and the transfer instrumentation for circulation to participating laboratories is under construction.

At the BIPM, further progress has been made with the characterization of a liquid-scintillation spectrometer using both experimental calibrations and Monte-Carlo simulations of its response to fast neutrons. The BIPM reference radionuclide neutron sources, the ionization chambers used for mixed-field dosimetry and the associated particle counter monitoring arrangements used for producing standardized fast-neutron fields continue to show excellent long-term stability.

Following a decision by the CIPM, neutron work at the BIPM ceased in August 1995 with the retirement of the staff involved. The equipment and reference standards built up by the BIPM over the years will be returned to the original owners or given to laboratories with a particular interest in the field. The work of Section III, including the holding of measurement comparisons, will continue despite the loss of the important contribution from the BIPM.

Prof. MOSCATI ended his report by thanking all those who had participated in the meetings of the CCEMRI and its three sections, the member laboratories, and the staff of the BIPM for the work accomplished. In particular he thanked members of the staff of the neutron section of the BIPM who had recently retired. The CCEMRI has no draft resolution to be presented to the Conférence Générale.

This report elicited no comment or question.

15. The Système International d'Unités (SI)

In the absence of Prof. J. DE BOER, President of the Comité Consultatif des Unités (CCU), Dr T.J. QUINN presented the following report.

In 1960 the 11th Conférence Générale adopted the name *Système International d'Unités*, with the abbreviation SI, for a practical system of units of measurement and laid down rules for the prefixes, the derived and supplementary units and other matters, thus establishing a comprehensive specification for units of measurement. At that time the Conférence Générale decided that the SI would include three classes of units, the base units, the derived units and the supplementary units. The class of base units comprises seven units which, by convention, are considered to be dimensionally independent. The derived units are those formed by combining the base units according to the algebraic relations of physics linking the corresponding quantities. Some of the units thus formed are given special names and symbols which can themselves be used to form expressions and symbols for other derived units. The class of supplementary units comprises only the radian and steradian, the SI units of angle and solid angle.

Since the adoption of the SI in 1960, there has often been uncertainty about the meaning of the name "supplementary units". In 1969 the CIPM, in its Recommendation 1 (1969), made the following statement:

"The name 'supplementary units' appearing in Resolution 12 of the 11th Conférence Générale is given to SI units *for which the Conférence Générale declines to state whether they are base units or derived units*".

This made it clear that the Conférence Générale did not want to decide whether the supplementary units were to be considered as base units or derived units. The uncertainty about the meaning of the name supplementary units was not, therefore, resolved and the discussion continued. In 1980, the CIPM realized that leaving the status of the radian and the steradian undecided threatened the coherence of the SI and decided, therefore, to clarify the situation. In its Recommendation 1 (CI-1980), the CIPM stated:

“taking into consideration *Resolution 3 adopted by ISO/TC 12 (1978) and Recommendation U 1 (1980) adopted by the Comité Consultatif des Unités...*,

.....

considering also that the interpretation given by the Comité International des Poids et Mesures in 1969 for the class of supplementary units... allows the freedom of treating the radian and the steradian as SI base units,

[and] that such a possibility compromises the internal coherence of the SI based on only seven base units,

decides to interpret the class of supplementary units in the SI as a class of dimensionless derived units for which the Conférence Générale allows the freedom of using or not using them in expressions for SI derived units.”

In formulating this Recommendation, the CIPM was strongly influenced by the 1980 Recommendation of its Comité Consultatif des Unités and also by the 1978 Resolution of the Technical Committee TC 12 “Quantities, units, symbols, conversion factors and conversion tables” (as it was then called) of the International Organization for Standardization (ISO). It is important to note that the decision of the CIPM concerning the status of the angle quantities and units did not refer to science in general, but only to the use of the angle quantities and units within the framework of the SI for which the CIPM has a particular responsibility as creator and supervisor.

The 1980 Recommendation of the CIPM, while interpreting the radian and the steradian as dimensionless derived units, did not eliminate the class of supplementary units as such. Indeed it could not have done as such a decision is the prerogative of a Conférence Générale. However, the CCU in successive editions of the SI brochure in 1981, 1985 and 1991, treated the radian and steradian as dimensionless derived units although placed in a separate section from the other derived units.

In 1994, the CIPM once again considered the question of the status of the supplementary units of the SI. Finally, after a proposal from the ISO TC 12 and after discussion within the CCU, the CIPM now proposes to this Conférence Générale, in draft Resolution H, to treat the radian and the steradian as dimensionless derived units. In so doing the CIPM is asking the Conférence Générale to endorse its decision of 1980 and to bring to an end the uncertainty in the status of these units, which has persisted since 1960, and is not good for the internal coherence of the SI.

Dr QUINN presented draft Resolution H, on the elimination of the class of supplementary units in the SI, and before the end of his report, he said words of appreciation for the work accomplished by Prof. DE BOER who had presided, with great distinction and wisdom, over the Comité Consultatif des Unités since its first meeting in 1967. He also referred both to Prof. DE BOER and to the late Prof. U. STILLE for their contributions to the establishment of the *Système International d’Unités*.

Prof. BLANC-LAPIERRE thanked Dr QUINN for his report and congratulated Prof. DE BOER, on the excellent work accomplished under his presidency.

16. Programme of future work at the Bureau International des Poids et Mesures

The PRESIDENT asked Dr QUINN, the director of the BIPM, to present the programme for future work at the BIPM for the four years 1997-2000.

Dr QUINN reminded delegates that they had the opportunity to visit the laboratories of the Bureau International des Poids et Mesures on Wednesday 11 October, and to see how the programme of work is carried out.

The work of the BIPM is currently distributed under three main headings: maintenance of standards to ensure their long-term stability; organization and, eventually, participation in international comparisons making use of these BIPM standards and calibrations; research carried out to maintain a sufficient level of expertise for the comparisons and calibrations. As Director, he shares with the CIPM the responsibility of weighing up the competing demands on the BIPM.

He drew the attention of delegates to one aspect of work that has been changing since the last Conférence Générale: this is the way international comparisons are undertaken. In the past, these comparisons were carried out at the BIPM, with laboratories bringing their standards to the BIPM. Now, with the development of independent primary transportable standards, it is possible to carry out direct primary realizations of SI units and international comparisons in a different way, by taking primary standards to the national laboratories. The BIPM primary standards can be carried by the staff of the BIPM to national laboratories where they are compared with standards from other national laboratories from the same geographical region. The advantages of this way of doing things outweigh the disadvantage of the greatly increased demands that this makes on the staff of the BIPM. More and more international comparisons are made that way, and the BIPM does its best to keep down costs and to provide easy access to these comparisons for the national laboratories.

The PRESIDENT thanked Dr QUINN for his excellent report and opened the discussion.

Dr KAARLS (Netherlands) recalled, as President of the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière, that it is necessary for the BIPM to acquire expertise in metrology in chemistry to make the BIPM a leading authority in this field. This point was not mentioned in the programme of work.

Prof. TARBEYEV underlined that, at the meetings of the *ad hoc* working group on the dotation, the Russian Federation fully supported the scientific activities of the BIPM and its Director. The programme of work of the BIPM is good: it enables Member States to benefit from technical progress in the international community.

Prof. BLANC-LAPIERRE asked Prof. KOVALEVSKY to present the report of the working group on the dotation.

17. Annual dotation of the Bureau International des Poids et Mesures

As President of the *ad hoc* working group on the dotation, Prof. KOVALEVSKY presented the following report:

The *ad hoc* working group on the dotation has considered the proposals for the dotation for the years 1997-2000 presented in the Convocation to the 20th Conférence Générale.

The working group recognizes the excellence and importance of the work of the BIPM and the programme proposed. The group also recognises the considerable efforts made by the BIPM to improve the efficiency of its operation, and its commitment to continue these efforts. It is, however, very conscious of the difficult economic situation now existing in many Member States of the Convention du Mètre.

There is a consensus in the working group for accepting the arguments presented to the Conférence for annual increases in dotation in respect of the pension fund, maintenance and updating of the buildings of the BIPM, and expected price inflation in France.

The working group also recognizes the additional costs caused by the increasing complexity of metrology.

Taking account of the foregoing, the *ad hoc* working group on the dotation recommends to the Conférence a modified draft Resolution I in which the increase in the dotation is 4,5 % per year.

The Secretary of the Conference reported that a preliminary vote on the dotation had taken place in the working group, and Italy had voted against. Before proceeding to a final vote, delegations were requested to give their opinion on the draft resolution presented by the working group on the dotation for the four years 1997 to 2000. Prof. KOVALEVSKY reminded delegates that the dotation must be adopted with no vote against.

Prof. KOVALEVSKY read draft Resolution I on the dotation of the BIPM and, after ensuring that there was no objection on the principle, asked every Member State to proceed to a trial vote. This vote resulted in four abstentions (Canada, Israel, Italy, USA).

Mrs GEBBIE (United States of America) made the following declaration:

The United States recognizes the substantial contributions of the BIPM to economic growth, international trade and human well-being. The range and quality of research and services that the BIPM is able to provide on a relatively small budget is truly impressive.

We believe that the increases requested by Dr QUINN to cover inflation, building maintenance, increased pension fund payments and the increasing complexity of the scientific work are well justified.

Nevertheless, the U.S. Congress is in bipartisan consensus that deficit reduction must have highest priority for our budget. As a result, there is extreme pressure in the legislative process within the United States to cutback expenditures by all government agencies across the board. The Department of State, which pays our assessed contributions to all international organizations, is not exempt from this pressure.

Although the appropriations process is not yet complete, it is already clear that the resources available to the United States for foreign affairs in general are declining and those available to pay assessments to international organizations will be sharply reduced and will likely remain reduced for the foreseeable future.

This means that, beginning in fiscal year 1996, we face major shortfalls in our appropriations for international organizations, which threaten our ability to finance our assessments in full.

To reduce the effect of U.S. shortfalls on their income streams, we are asking virtually all organizations either to straight-line or to reduce their budgets from existing levels. If budgets go up, the problem is exacerbated; the shortfall in contributions from the United States and perhaps other Member States will be greater, and the organizations themselves will not be able to implement the programmes for which they have budgeted. We need to bring down the budgets to levels that Member States can afford.

With respect to the BIPM specifically, we do not foresee having the necessary funds to pay our full assessment, even in 1996 but especially as proposed for 1997-2000. To imply otherwise, it would be disingenuous and irresponsible of us.

I emphasize that we are not singling out the BIPM for any special negative treatment; we are taking a similar position in virtually all organizations. Indeed in other organizations, we have cast negative votes on budgets that proposed even relatively small increases. But we recognize that a negative vote on this budget proposal would create serious difficulties for this organization and could require recalling the Conférence Générale in a few months to try again to establish an acceptable budget.

Therefore the United States will abstain on any budget calling for growth above the 1996 level of 25 918 000 gold francs during the period 1997-2000.

Thank you Mr President.

The delegation of Canada then made the following statement:

The government of Canada recently announced major reductions in many of its expenditures. These measures included a significant reduction in the budget of the National Research Council of Canada which funds, among other activities, Canada's national metrology programme. This programme includes Canada's contribution to the BIPM, any increase in which implies a corresponding decrease in other activities.

Canada recognizes the high quality of the work of the BIPM and the difficult steps that have been taken recently to restrain the BIPM expenditures. However, in the current climate of severe financial constraints, Canada must urge that further measures be taken to minimize any future increases in the dotation of the BIPM.

In this context, Canada must abstain to vote on the dotation proposed in the draft Resolution I which requests an annual 4,5 % budget increase for the period 1997-2000.

The Danish delegation particularly recognized the high quality and relevance of the work of the BIPM, the efforts of the BIPM staff to serve the needs of the Member States, irrespective of the diversity of those needs and the willingness of the BIPM to adopt new modes of operation which will have great influence on the effectiveness of world metrology in the future.

The Italian delegation expressed its high appreciation of the quality and the effectiveness of the work accomplished by the BIPM and of the programme for 1997-2000 and made the following declaration:

The Italian delegation understands the reasons for the requested financial increase and takes note with satisfaction that a staff number increase is not envisaged.

However, the Italian government is greatly concerned with the increase of the Italian financial contribution resulting from the changes in the contribution coefficients, an increase higher, in percentage, than those of other countries. This increase is being asked as the Italian government is determined to freeze its expenditure in terms of the Italian currency, if not to cut it. For these reasons, the Italian delegation expressed a negative vote to the proposed increase during the meeting of the *ad hoc* working group on the dotation.

However, in order to ensure continuity of the activity of the BIPM, the delegation of Italy will abstain in its final vote. Lastly, the Italian delegation expresses its wish that the way of repartition of contributions be reviewed in time for the next Conférence Générale.

The Japanese delegation would like to join many other countries in congratulating the BIPM on its excellent work and supports the proposal of the working group on the dotation, with the recognition of the importance of metrology for the development of modern science and technology. However, in the past few years, the Japanese government has been concerned at the arrears of the contribution from some countries. As these arrears now amount to about 4 % of the total dotation, and are distributed among other countries according to the rule of Article 6 (1921) of the annex of the Convention du Mètre, we strongly urge that Member States make more efforts to diminish these arrears in the future, although we understand some countries have difficult problems in their economy at this moment.

The delegation of India expressed the wish, that, in the future, the programme of work and budget adopted by the Conférence Générale correspond to the period between two Conférences Générales. The delegation of India thought it would be useful that prospective studies by the CIPM be communicated in due time to delegations, to make known to governments whether we are going towards linear growth, an asymptote or some exponential growth.

The Conférence Générale then proceeded to a definitive vote (*see* Section 20, page 215).

18. Proposals from Delegates

The PRESIDENT informed delegates that the CIPM had received no formal proposal for submission to the Conférence Générale.

The delegation of Brazil asked whether the Conférence Générale might help national laboratories of the developing countries by subscribing to a group insurance at lower costs to cover risks during transportation of standards for international comparisons.

Dr QUINN replied that the question of transportation of instruments is a delicate matter involving both insurance and security problems. One solution is to ask a member of the staff to carry instruments by hand, another is to use the diplomatic bag, but many countries are reluctant to do this.

19. Renewal of half of the Comité International

The PRESIDENT asked Prof. KOVALEVSKY to proceed to the renewal of one half of the Comité International according to Article 8 (1921) of the rules annexed to the Convention du Mètre. Those members whose names are submitted for election at a Conference are those members who have been co-opted since the previous Conférence Générale, together with a sufficient number of other members to bring the list to nine. The Secretary announced that as the CIPM has co-opted ten members since the 19th Conférence Générale, the list is complete without other names being added.

The proceedings then continued with a secret ballot by Member States, each head of delegation placing his voting paper in the ballot box. The votes were counted by Dr KOSE (Germany) and Dr BLEVIN (Australia). After an interval of some minutes, the result was announced. Thirty-seven votes had been cast:

Messrs.	CROVINI.....	37
	GAO Jie	37
Mrs	GEbbie	36
Messrs	GOPAL	37
	KAARLS	37
	LOUNASMAA	36
	MOSCATI	36
	PÂQUET	35
	TARBEYEV	35
	VANIER	36

All the members proposed by the CIPM were elected. No additional names were proposed.

20. Other business

Votes on the Resolutions

The PRESIDENT recalled that draft resolutions had already been presented and discussed with the reports of the President of the CIPM and of the Presidents of the Comités Consultatifs, and that delegates had already been called to express their remarks or suggestions.

Before proceeding to vote, the delegate of Turkey informed the President that he would be obliged to leave the Conférence Générale during part of the afternoon. In case the vote on the dotation would take place during that time, he expressed the wish that his vote be delegated to France. After ensuring that there was no formal objection, the President took note of this delegation of vote. (This delegation was not used for the vote on the Resolution on the dotation of the BIPM, the Turkish delegate having by then returned to the Conference.)

Prof. KOVALEVSKY read draft Resolution A. This concerns the need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues. The resolution was unanimously adopted, without change, as Resolution 1.

He then read draft Resolution B, on world-wide traceability of measurement standards. The resolution was adopted, with slight changes in the wording, as Resolution 2, with one abstention (New Zealand).

The delegation of New Zealand abstained because it feared that the development of regional metrology groups might prevent, somehow, direct access to the BIPM. While approving this resolution, the Conférence Générale may be seen as giving some weight to these regional groups.

Dr QUINN answered that, from the point of view of the BIPM, the existence of regional groups does not constitute a barrier between the organs of the Convention du Mètre and national laboratories of metrology. Each national metrology institute will always have the choice of deciding whether to refer its traceability to regional groups or to the BIPM directly.

Prof. KOVALEVSKY read draft Resolution C. This concerns the need for long-term metrological research. This resolution was unanimously adopted, without change, as Resolution 3.

Prof. KOVALEVSKY read draft Resolution D on the revision of the *mise en pratique* of the definition of the metre. This resolution was unanimously adopted, without change, as Resolution 4.

Draft Resolution E concerns the monitoring of the stability of the international prototype of the kilogram. This resolution was unanimously adopted, without change, as Resolution 5.

Prof. KOVALEVSKY continued with draft Resolution F, on clock comparison by satellite laser techniques. This resolution was unanimously adopted, without change, as Resolution 6.

He then read draft Resolution G, on metrology in chemistry. This resolution was unanimously adopted, without change, as Resolution 7.

The next draft resolution submitted to a vote was draft Resolution H, on the elimination of the class of supplementary units in the SI. This resolution was unanimously adopted, without change, as Resolution 8.

Prof. KOVALEVSKY then recalled draft Resolution I, on the dotation of the BIPM, that had already been submitted to delegations for a trial vote. This resolution was adopted, with four abstentions (Canada, Israel, Italy, USA), as Resolution 9.

Some delegations then expressed their appreciation of the work carried out in the BIPM laboratories. Prof. KOVALEVSKY underlined the considerable effort of Member States in the current difficult situation and thanked them for their trust.

Prof. KOVALEVSKY read draft Resolution J, on future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale. This resolution was unanimously adopted, with a few changes in the English wording, as Resolution 10.

The last draft resolution proposed to the Conférence Générale, draft Resolution K, concerns the long-term needs of metrology. This resolution was unanimously adopted, with a few changes, to answer remarks of the delegation of the United States, as Resolution 11.

Report of the ad hoc working group on equivalence of national standards

Prof. KIND, President of the CIPM, presented the report of the *ad hoc* working group on equivalence of national standards that had met on Wednesday 11 October and included Presidents of the Comités Consultatifs. The conclusions of the group are as follows:

As a preliminary action the BIPM is requested to make a survey of the present situation, in collaboration with the Comités Consultatifs, for the purpose of recognition of measurement standards, and Dr QUINN is asked to contact accreditation bodies which have experience in this field to find out what exactly they require in terms of documented international equivalence.

A draft report will be presented to the next meeting of the CIPM.

Reception at the French Ministère des Affaires Étrangères

On Monday 9 October, at 18 h, Mr J. DE GLINIASTY, Directeur des Nations Unies et des Organisations Internationales at the Ministère des Affaires Étrangères of the French Republic,

opened, on behalf of the His Excellency the Ministre des Affaires Étrangères, the reception offered to delegates to the Conférence Générale at the Centre de Conférences Internationales, avenue Kléber.

He recalled that the organization created by the Convention du Mètre one hundred and twenty years ago, the Bureau International des Poids et Mesures, is the senior intergovernmental organization in France. To this fascinating historical aspect, he said, we must add all the technical aspects and quality of the work accomplished by the BIPM.

Present day pressures for rationalization and efficiency have led to the proposal for rapprochement between the two intergovernmental metrology institutes organizations based in Paris, the Bureau International des Poids et Mesures and the Bureau International de Métrologie Légale, a point on the agenda of the present conference.

Mr DE GLINIASTY ended his introductory words wishing success to this conference.

Prof. KIND, on behalf of the CIPM, thanked Mr DE GLINIASTY for this reception. He recalled the historical background of the BIPM, the high technology and precision of the work carried out in its laboratories, in collaboration with the national metrology institutes.

Reception at the German embassy

On Tuesday 10 October, at 18 h 30, the heads of delegations to the Conférence Générale were invited by Baron W. von STACKELBERG, first scientific Councillor at the German embassy, to a reception given at the chancellery of the German embassy.

Visit to the Bureau International des Poids et Mesures

As is customary, delegates to the Conférence Générale were invited to visit the laboratories of the Bureau International des Poids et Mesures, a visit that took place on Wednesday 11 October 1995. It was thus possible for them to visit the laboratories of the BIPM and talk with physicists who showed them:

- Hewlett-Packard caesium clocks and GPS time receivers;
- the quantum Hall effect laboratory and voltage arrays using Josephson junctions, automated measurements of 10 k Ω resistors for calibrations and bilateral comparisons;
- methods for measurements of radioactivity and gamma radiation beams in air (^{137}Cs standard);
- the cryogenic radiometer of the BIPM and the experimental spectro-radiometric equipment;
- equipment and methods for the realization of the metre;
- the FB-2 flexure-strip balance, the NBS-2 knife-edge balance, the hydrostatic balance and the HK 1000 MC balance.

The visit to the laboratories was followed, at 16 h, by the visit to the depository of the metric prototypes and, at 17 h, by a reception at the Pavillon de Breteuil offered by the President of the Comité International and the Director of the Bureau International.

Visit to the depository of the metric prototypes

The following report was made at the time of the official visit to the depository in which the metric prototypes are kept:

RECORD OF THE VISIT TO THE DEPOSITORY OF THE METRIC PROTOTYPES

On 11 October 1995, at 16 h, in the presence of the President of the Comité International des Poids et Mesures, of the Director of the Bureau International des Poids et Mesures and of the representative of the curator of the Archives de France, the visit to the depository of the metric prototypes at the Pavillon de Breteuil took place.

The three keys necessary to open the depository had been assembled: the key entrusted to the care of the Director of the Bureau International, the one deposited at the Archives Natio-

nales in Paris which Madam L. Favier had brought, and finally the one kept by the President of the Comité International.

The two iron doors of the vault having been opened as well as the safe, we observed the presence in the latter of the prototypes and their official copies (*témoins*).

The following indications on the measuring instruments placed in the safe were noted:

temperature	:	21,5 °C
maximum temperature*	:	21,5 °C
minimum temperature*	:	20 °C
relative humidity	:	70 %

We then locked the safe as well as the doors of the vault.

The Director
of the BIPM,
T.J. QUINN

For the curator
of the Archives de France,
L. FAVIER

The President
of the CIPM,
D. KIND

Closing of the Conférence Générale

Prof. KIND noted that the last item on the agenda had been dealt with. On behalf of the Comité International des Poids et Mesures, he thanked delegates to the Conférence Générale and expressed his satisfaction with the work accomplished by the BIPM. He noted that delegates seemed to share his views, as reflected in the positive reactions of Member States of the Convention du Mètre. He thanked Prof. BLANC-LAPIERRE for the way he presided over this twentieth Conférence Générale.

Prof. BLANC-LAPIERRE joined Prof. KIND in congratulating the BIPM on its excellent work. This conference was an opportunity for a great and fascinating tour in high quality physics. He recalled that he already had the chance twelve years ago to do the same thing, and considered it a personal pleasure and honour to close, at 16 h 45, this twentieth Conférence Générale des Poids et Mesures.

* Since last visit.

RESOLUTIONS ADOPTED BY THE
20th CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

The need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues

RESOLUTION 1

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering that

— the effects on the geosphere and biosphere of industrial and commercial activities and of many other human pursuits, and the consequences for human health and well-being, are the subject of major studies world-wide,

— governments are increasingly faced with decisions of great economic and political significance concerning the regulation of these activities,

— the policies of governments are influenced by studies depending critically on accurate and mutually compatible measurements often requiring very large economic investments,

— much of the important scientific evidence required for decisions by governments comes from measurements of small changes in certain key parameters, measurements sometimes extending over several decades,

— certain critical measurements have traditionally been made in *ad hoc* units based upon special instrumentation or procedures, and not in the well-characterized and internationally agreed SI units,

— experience over many years has shown that measurements not directly linked to the SI cannot be relied upon in the long term, cannot be compared with similar measurements made elsewhere and do not adequately bring out possible relationships with measurements made in other scientific disciplines,

recommends that those responsible for studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues ensure that measurements made within their programmes are in terms of well-characterized SI units so that they are reliable in the long term, are comparable world-wide and are linked to other areas of science and technology through the world's measurement system established and maintained under the Convention du Mètre.

World-wide traceability of measurement standards

RESOLUTION 2

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

- the increasingly stringent requirements of science, technology and international trade for traceability in measurement at many levels of accuracy,
- the existence of groups of cooperating national metrology laboratories in different regions of the world,
- the need to demonstrate world-wide equivalence or traceability of measurement standards among national laboratories and regional groups of cooperating national laboratories,
- the calibration services of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) for the national laboratories,
- the role of the BIPM in carrying out and coordinating world-wide comparisons of standards at the highest level among the national laboratories,
- the necessary participation of national laboratories in international comparisons,

welcomes the trend towards regional grouping of national metrology laboratories as an efficient way of promoting cooperation and regular comparisons of national standards among laboratories, some of which do not participate in comparisons carried out by the BIPM or the Comités Consultatifs,

recognizes the global advantages of interconnections between the comparisons carried out under the auspices of the BIPM and those of the regional groups of metrology laboratories,

recommends

- that national metrology laboratories, in collaboration with the BIPM, ensure that the necessary comparisons between national standards are carried out in sufficient number to demonstrate international traceability of measurement standards,
- that adequate interconnections are maintained between the comparisons carried out under the auspices of the BIPM and those carried out by the regional groups,
- and that the results of comparisons carried out by the regional groups be communicated to the BIPM in appropriate form for them to be published by the BIPM and thereby given wide international recognition.

The need for long-term metrological research

RESOLUTION 3

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

- the continual increase in demand for accurate and efficient measurement in science, technology and international trade,
- that the development of improved measurement standards and techniques needs to be carried out well in advance of their application in science and industry,
- that these developments can only take place on the basis of a solid foundation of long-term metrological research closely linked to advances in science,

recommends that national laboratories

- continue to undertake long-term metrological research as well as meeting the more immediate requirements of measurement services and
- keep the Bureau International des Poids et Mesures informed as to the results of the work related to fundamental metrology.

Revision of the *mise en pratique* of the definition of the metre

RESOLUTION 4

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

recalling

- that in 1983 the 17th Conférence Générale des Poids et Mesures adopted a new definition of the metre,
- that in the same year the Conférence Générale invited the Comité International des Poids et Mesures
 - to draw up instructions for the practical realization of the metre,
 - to choose radiations which can be recommended as standards of wavelength for the interferometric measurement of length and draw up instructions for their use,
 - to pursue studies to improve these standards and, in due course, to extend or revise these instructions,
- that in response to this invitation the Comité International made recommendations in 1983 concerning the practical realization of the metre (the *mise en pratique*),

considering

- that science and technology continue to demand improved accuracy in the realization of the metre,
- that since 1983 work in national laboratories, the Bureau International des Poids et Mesures and elsewhere has substantially improved the reproducibility of radiations which are suitable for the practical realization of the metre,
- that such work has also substantially reduced the uncertainty in the determined values of the frequencies and wavelengths of some of these radiations,

welcomes the adoption by the Comité International of a revised *mise en pratique* of the definition of the metre, taking account of the results of this new work

and

recommends that national laboratories pursue their research on optical wavelength and frequency standards to improve yet further the experimental basis of the Système International d'Unités.

Monitoring the stability of the international prototype of the kilogram

RESOLUTION 5

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the results of the third periodic verification of national prototypes of the kilogram, which showed drifts, with respect to the international prototype, of the national prototypes and of the working copies and official copies held by the Bureau International des Poids et Mesures,

— the fundamental impossibility of drawing definite conclusions from these results about the long-term stability of the international prototype and its copies,

— the results of work in many national laboratories aimed at understanding the processes that lead to the instability of mass standards,

— the progress now being made in various laboratories towards independent methods of monitoring the stability of mass standards,

recommends that national laboratories pursue their work on these experiments, and develop new ones, with a view to monitoring the stability of the international prototype of the kilogram and in due course opening the way to a new definition of the unit of mass based upon fundamental or atomic constants.

Clock comparison by satellite laser techniques

RESOLUTION 6

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the need for long distance time transfer at the highest possible level of accuracy,

— that successful time transfer with a precision of 100 ps has been achieved between Western Europe and North America using the LASSO (Laser Synchronization from Satellite Orbit) experiment on a geostationary satellite,

— that time transfer techniques, such as GPS (Global Positioning System), GLONASS (Global Navigation Satellite System) and two-way satellite time transfer, need an independent means of assessment of their accuracy,

— that solutions have been proposed that may lead to clock synchronization by laser techniques using non-geostationary satellites,

recalling Resolution 4 of the 18th Conférence Générale in 1987, which also concerns clock comparison by satellite techniques,

recommends that the space agencies consider the installation on their satellites of appropriate equipment for clock comparison by satellite laser techniques.

Metrology in chemistry

RESOLUTION 7

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— that reliability in the results of quantitative chemical analyses is important for international trade, for the protection of the environment, and for human health and safety,

— that reliability implies world-wide uniformity and long-term stability and can only be achieved by firmly linking measurements to the Système International d'Unités,

— that formidable difficulties exist in establishing international traceability for measurements in chemistry,

— that national metrology laboratories are increasingly involved in establishing such a system,

welcomes the action of the Comité International in creating for this field a Comité Consultatif pour la Quantité de Matière

and

invites national metrology laboratories, other expert national, regional and international organizations bringing together specialists in measurement in chemistry to collaborate with the Comité International and the new Comité Consultatif in establishing world-wide traceability at the highest level for measurements in chemistry.

Elimination of the class of supplementary units in the SI

RESOLUTION 8

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— that the 11th Conférence Générale in 1960 in its Resolution 12, establishing the Système International d'Unités, SI, distinguished between three classes of SI units: the base units, the derived units, and the supplementary units, the last of these comprising the radian and the steradian,

— that the status of the supplementary units in relation to the base units and the derived units gave rise to debate,

— that the Comité International des Poids et Mesures, in 1980, having observed that the ambiguous status of the supplementary units compromises the internal coherence of the SI, has in its Recommendation 1 (CI-1980) interpreted the supplementary units, in the SI, as dimensionless derived units,

approving the interpretation given by the Comité International in 1980,

decides

— to interpret the supplementary units in the SI, namely the radian and the steradian, as dimensionless derived units, the names and symbols of which may, but need not, be used in expressions for other SI derived units, as is convenient,

— and, consequently, to eliminate the class of supplementary units as a separate class in the SI.

Dotation of the BIPM

RESOLUTION 9

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the importance of the work carried out by the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) and the services it renders to Member States of the Convention du Mètre,

— the considerable efforts made by the BIPM to enhance the efficiency of its operation, and its commitment to continue these efforts,

— the need to provide the resources necessary for the efficient carrying out of the tasks given to it by the Conférence Générale,

— the difficult economic situation now existing in many Member States of the Convention du Mètre,

decides that the fixed part of the annual dotation of the Bureau International des Poids et Mesures will be increased in a way such that the sum of the fixed part and the complementary part (defined by Article 6 (1921) of the Rules annexed to the Convention du Mètre 1875) shall, for those States members of the Convention du Mètre at the time of the 20th Conférence Générale des Poids et Mesures, be

27 144 000 gold francs in 1997
28 365 000 gold francs in 1998
29 642 000 gold francs in 1999
30 976 000 gold francs in 2000.

Future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale

RESOLUTION 10

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

considering

— the proposal made by the French government for a rapprochement between the organizations created by the Convention du Mètre and the Treaty of the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) with a view to a possible fusion of the two organizations,

— the agreement among many Member States of the Convention du Mètre that the joint discussions envisaged in the French proposal would be desirable,

— that these discussions should take into particular account the continuing need to optimize the effectiveness of intergovernmental organizations in carrying out their tasks, now as well as in the long term,

invites the President of the Comité International des Poids et Mesures, together with the President of the Comité International de Métrologie Légale, to appoint a joint working party to identify ways of achieving increased cooperation and effectiveness in the achievement of their objectives and the use of their resources, including, but not limited to, the possibility of merging the two organizations

and

requests that the Comité International des Poids et Mesures having received the Report of its President, advise Member States of the Convention du Mètre of the outcome of the discussions and of its opinion as to whether further action should be taken.

Metrology: long-term needs

RESOLUTION 11

The 20th Conférence Générale des Poids et Mesures,

referring to Resolution 1: The need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues, Resolution 2: World-wide traceability of measurement standards, and Resolution 3: The need for long-term metrological research,

considering

— the particular impact of metrology on the economic growth and international trade of Member States,

— the contribution to these of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) and the national metrological laboratories,

requests the Comité International des Poids et Mesures to study and report on the long-term national and international needs relating to metrology, the appropriate international collaborations and the unique role of the BIPM to meet these needs, and the financial and other commitments that will be required from the Member States in the coming decades.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE OF CONTENTS

CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

20^e session (octobre 1995)

20th Meeting (October 1995)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le présent volume	5
List of acronyms used in the present volume	5
Liste des délégués et des invités	11
Convocation	19
Ordre du jour	38
 Comptes rendus des séances, 9 et 12 octobre 1995	
1. Ouverture de la Conférence	39
Discours de Son Excellence M. le Ministre de l'Industrie de la République française	39
Réponse de M. le Président du Comité international des poids et mesures	41
Discours de Mme le Président de l'Académie des sciences de Paris, Président de la Conférence ..	41
2. Présentation des titres accréditant les Délégués	46
3. Nomination du Secrétaire de la Conférence	46
4. Établissement de la liste des Délégués ayant pouvoir de voter	46
5. Approbation de l'ordre du jour	47
6. Rapport de M. le Président du Comité international des poids et mesures sur les travaux accomplis depuis la 19 ^e Conférence générale	47
Progrès de la métrologie internationale	47
La métrologie en chimie	49
Les comparaisons internationales et le rôle du SI	49
La métrologie dans le monde d'aujourd'hui	51
Progrès au BIPM	52
Les comités consultatifs	54
Le CIPM	55
La métrologie légale et la Convention du Mètre	56
Travaux du BIPM	56
6a. Futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale	71

7. Longueur et définition du mètre	75
8. Masse et grandeurs apparentées : la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme	77
Troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme	77
Étalons de masse	80
Masse volumique	81
Force	82
Hautes pressions	82
Moyennes pressions	83
Basses pressions	83
Mesure de l'humidité	83
Constante d'Avogadro	83
9. La seconde et le Temps atomique international	84
La seconde et le Temps atomique international	84
Étalons primaires de fréquence	85
Comparaison des échelles de temps	86
Établissement du TAI	87
10. Étalons électriques	88
11. Température : Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90)	92
12. Photométrie et radiométrie	95
Comparaison internationale de mesures de sensibilité spectrale	95
Spectroradiométrie de l'ultraviolet dans l'air	96
Radiomètres cryogéniques	96
Comparaisons internationales de photométrie	97
Autres comparaisons internationales	97
Divers	97
13. La mole et les mesures de quantité de matière	98
Évolution des besoins en exactitude et en traçabilité des mesures en chimie	98
Comparaisons entre laboratoires sous l'égide du CIPM	99
Comité consultatif pour la quantité de matière	100
14. Rayonnements ionisants	104
Rayons x et γ , électrons	104
Mesures de radionucléides	105
Mesures neutroniques	106
15. Le Système international d'unités (SI)	107
16. Programme des travaux futurs du Bureau international des poids et mesures	108
17. Dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures	109
18. Propositions des délégués	112
19. Renouvellement par moitié du Comité international	112
20. Questions diverses	112
Vote des résolutions	112
Rapport du Groupe de travail <i>ad hoc</i> sur l'équivalence des étalons nationaux	113
Réception au ministère des Affaires étrangères	114
Réception à l'ambassade d'Allemagne	114
Visite du Bureau international des poids et mesures	114
Visite du dépôt des prototypes métriques	115
Clôture de la Conférence générale	115

Résolutions adoptées

Nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes : Résolution 1	117
---	-----

Traçabilité des étalons au niveau mondial : Résolution 2	118
Besoin de recherches métrologiques à long terme : Résolution 3	119
Révision de la mise en pratique de la définition du mètre : Résolution 4	119
Contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme : Résolution 5	120
Comparaison d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites : Résolution 6 ...	120
Métrologie en chimie : Résolution 7	121
Suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI : Résolution 8	121
Dotation du BIPM : Résolution 9	122
Futures relations avec l'Organisation internationale de métrologie légale : Résolution 10	122
Métrologie : besoins à long terme : Résolution 11	123

English text of the report

Note on the use of the English text. Note sur l'utilisation du texte anglais	125
Convocation	127
Agenda	146
Proceedings, 9 and 12 October 1995	147
1. Opening of the Conference	147
Address by His Excellency the Ministre de l'Industrie de la République Française	147
Reply by the President of the Comité International des Poids et Mesures	149
Address by the President of the Académie des Sciences de Paris, President of the Conference	149
2. Presentation of credentials by Delegates	153
3. Nomination of the Secretary of the Conference	153
4. Establishment of the list of Delegates entitled to vote	154
5. Approval of the Agenda	154
6. Report of the President of the Comité International des Poids et Mesures on the work accomplished since the 19th Conférence Générale	155
Development of international metrology	155
Metrology in chemistry	156
International comparisons and the role of the SI	157
Metrology in today's world	158
Developments at the BIPM	159
The Comités Consultatifs	161
The CIPM	162
Legal metrology and the Convention du Mètre	163
Work of the BIPM	163
6a. Future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale	176
7. Length and the definition of the metre	180
8. Mass and related quantities: the third periodic verification of national prototypes of the kilogram	182
Third periodic verification of national prototypes of the kilogram	182
Mass standards	183
Density	186
Force	186
High pressures	187
Medium pressures	187
Low pressures	187
Humidity measurement	188
Avogadro constant	188

9. The second and International Atomic Time	189
The second and International Atomic Time	189
Primary frequency standards	189
Comparisons of time scales	190
Establishment of TAI	191
10. Electrical standards	193
11. Temperature: the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)	195
12. Photometry and radiometry	198
International comparison of spectral responsivity measurements	198
Air-ultraviolet radiometry	199
Cryogenic radiometers	200
Photometric international comparisons	200
Other international comparisons	200
Other matters	201
13. The mole and measurements of amount of substance	201
Developments in the need for accuracy and traceability of chemical measurements	201
CIPM interlaboratory studies	202
Comité Consultatif pour la Quantité de Matière	203
14. Ionizing radiation	206
X and γ rays, electrons	207
Radionuclide measurements	208
Neutron measurements	208
15. The Système International d'Unités (SI)	209
16. Programme of future work at the Bureau International des Poids et Mesures	210
17. Annual dotation of the Bureau International des Poids et Mesures	211
18. Proposals from Delegates	214
19. Renewal of half of the Comité International	214
20. Other business	214
Votes on the Resolutions	214
Report of the <i>ad hoc</i> working group on equivalence of national standards	215
Reception at the French Ministère des Affaires Étrangères	215
Reception at the German embassy	216
Visit to the Bureau International des Poids et Mesures	216
Visit to the depository of the metric prototypes	216
Closing of the Conférence Générale	217

Resolutions adopted

The need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues: Resolution 1	219
World-wide traceability of measurement standards: Resolution 2	220
The need for long-term metrological research: Resolution 3	221
Revision of the <i>mise en pratique</i> of the definition of the metre: Resolution 4	221
Monitoring the stability of the international prototype of the kilogram: Resolution 5	222
Clock comparison by satellite laser techniques: Resolution 6	222
Metrology in chemistry: Resolution 7	223
Elimination of the class of supplementary units in the SI: Resolution 8	223
Dotation of the BIPM: Resolution 9	224
Future relations with the Organisation Internationale de Métrologie Légale: Resolution 10	224
Metrology : long-term needs: Resolution 11	225

Imprimerie GAUTHIER-VILLARS
PARIS 18^e

Dépôt légal, Imprimeur, 1996, n° 4776
ISBN 92-822-2145-8
ISSN 1016-5893

ACHEVÉ D'IMPRIMER : NOVEMBRE 1996

Imprimé en France