



**Besoins nationaux et internationaux
dans le domaine de la métrologie :
les collaborations internationales
et le rôle du BIPM**

English version



**National and international
needs relating to metrology:
International collaborations
and the role of the BIPM**

Bureau international
des poids et mesures

Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie : les collaborations internationales et le rôle du BIPM

Rapport préparé par le CIPM
pour les Gouvernements
des États membres de la Convention
du Mètre

1998

Organisation intergouvernementale
de la Convention du Mètre

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir page 71*)

Afin de mieux faire connaître ses travaux, le Comité international des poids et mesures a décidé de publier une version en anglais de ses rapports.

Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.

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

Conception graphique :
Monika Jost et Jean-François Chériez

ISBN 92-822-2156-3

Table des matières

Avertissement	7
Résumé	9
1 Introduction	13
2 Utilisateurs de la métrologie	16
3 Besoins nationaux liés à la métrologie	19
3.1 Unités de mesure	20
3.2 Étalons nationaux	21
3.3 Réseaux d'étalonnage et accréditation des laboratoires	23
3.4 Métrologie légale	24
3.5 Normes et autres documents de référence	25
3.6 Formation en métrologie	25
4 Besoins internationaux en métrologie et collaborations internationales correspondantes	27
4.1 Le Système international d'unités (SI)	31
4.2 Collaboration internationale pour améliorer les étalons	32
4.3 Les Comités consultatifs : rôle élargi	34
4.4 Équivalence des étalons nationaux	35
4.5 Collaboration internationale pour l'accréditation de laboratoires	40
4.6 Collaboration internationale en métrologie légale	40
4.7 Normes et autres documents de référence internationaux	42
4.8 Besoins des pays en voie de développement	43
5 Rôle du BIPM au cours des premières décennies du 21^e siècle	45
6 Décisions prises par le CIPM	49
7 Engagements financiers demandés aux États membres de la Convention du Mètre	53
7.1 Dotation annuelle du BIPM	53
7.2 Autres coûts de participation à la Convention du Mètre	57
7.3 Impact des nouveaux domaines de la métrologie sur les États membres	58

Annexe A. Document de 1984 traitant du rôle du BIPM	59
Annexe B. Résolutions 1, 2, 3 et 11 de la 20 ^e CGPM, octobre 1995	60
Annexe C. Critères d'appartenance aux Comités consultatifs du CIPM	63
Annexe D. Modèle de termes de référence d'un Comité consultatif type du CIPM (Comité Consultatif pour X)	64
Sigles et abréviations utilisés dans ce rapport	67

Figures

Figure 1	Schéma montrant, pour un système de mesurage national bien établi, le transfert des acquis techniques du laboratoire national de métrologie (LNM) aux utilisateurs, directement ou par l'intermédiaire d'autres organismes.	20
Figure 2	Illustration des trois méthodes dont peut disposer un laboratoire national de métrologie (LNM) pour l'établissement de ses étalons nationaux. Les services d'étalonnage assurés par le LNM utilisent des étalons de travail qui sont traçables aux étalons nationaux.	22
Figure 3	Illustration schématique de la façon dont une comparaison clé d'étalons nationaux, effectuée au BIPM et reliée aux comparaisons clés régionales correspondantes, peut efficacement fournir une base technique pour vérifier le degré d'équivalence des étalons nationaux de nombreux pays.	38
Figure 4	Illustration, pour une certaine région du monde, des rôles complémentaires du BIPM, de l'organisation régionale de métrologie et de l'organisation régionale d'accréditation des laboratoires, pour vérifier l'équivalence horizontale des mesures, à différents niveaux de hiérarchie, des étalonnages de deux États.	41

Tableaux

Tableau 1	Principales organisations de collaboration multilatérale internationale dans le domaine de la métrologie	28
Tableau 2	Comités consultatifs du CIPM au 1 ^{er} janvier 1998	29

Avertissement

En octobre 1995, la 20^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM) a formulé auprès du Comité international des poids et mesures (CIPM) la demande suivante :

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.

Cette étude est maintenant achevée et le CIPM est en mesure de soumettre ce rapport aux gouvernements des États membres de la Convention du Mètre.

Pendant l'étude et la préparation de ce rapport, nous avons mené une très large consultation auprès des parties intéressées et nous avons tenu compte des commentaires reçus sur les versions successives de ce rapport. Nous avons rencontré de nombreux directeurs de laboratoires nationaux de métrologie et leurs proches collaborateurs et, en février 1997, nous avons présenté un projet de ce rapport à la réunion des directeurs qui s'est tenue à Sèvres. Des versions intermédiaires de ce rapport ont également fait l'objet de discussions avec des membres éminents de nombreux organismes et groupements. Nous citons pour mémoire :

Organisations internationales

- Organisation internationale de métrologie légale (OIML),
- Organisation internationale de normalisation (ISO),
- Commission électrotechnique internationale (CEI),
- International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC),

Organisations régionales de métrologie

- Asia/Pacific Metrology Programme (APMP),
- European Metrology Collaboration (EUROMET),
- North American Metrology Cooperation (NORAMET),

Organisations régionales d'accréditation de laboratoires

- Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation (APLAC),
- European Cooperation for Accreditation (EA).

Nous exprimons ici, au nom du CIPM, notre gratitude envers tous ceux qui nous ont fait profiter de leur temps et de leur compétence pour rédiger ce rapport.

J. Kovalevsky
Président du CIPM

W. R. Blevin
Secrétaire du CIPM

Mars 1998

Résumé

La forte tendance vers la mondialisation du commerce international et de la production industrielle, la complexité toujours plus grande de la plupart des produits et des services, et l'intérêt croissant des peuples pour la santé, la sécurité et l'environnement figurent désormais parmi les principaux sujets de préoccupation des États. Ils entraînent la nécessité croissante d'un système international uniforme de mesures et soulignent l'importance de l'accréditation et de la reconnaissance internationale des organismes de mesure et d'essais. Les accords commerciaux récents entre les nations et les régions impliquent que les signataires acceptent les résultats des mesures et des contrôles pratiqués par les autres parties. L'importance croissante, pour le commerce, de l'équivalence des services d'étalonnage et d'essais aura une influence profonde sur l'évolution à long terme des systèmes de mesure nationaux et internationaux. Il faudra tenir compte de ce contexte pour apprécier les besoins à venir en matière de métrologie et de collaboration internationale.

Les aspects de la métrologie dans lesquels la collaboration internationale devra être poursuivie, et la plupart du temps renforcée, comprennent les accords liés à la définition et la réalisation des unités de mesure, la mise en place d'étalons nationaux et le compte rendu de leur équivalence sur le plan international, l'accréditation des laboratoires, la métrologie légale et les normes et autres documents de référence. Il est fondamental que la collaboration dans ces domaines soit multilatérale, à un niveau aussi bien international que régional.

Le BIPM améliore, au niveau le plus élevé, la communication avec ses principaux interlocuteurs, les laboratoires nationaux de métrologie des États membres : il organise régulièrement des réunions auxquelles participent les directeurs de ces laboratoires, les membres du CIPM et les responsables du BIPM. Ces réunions constituent un lieu d'échange direct pour débattre des principaux sujets de la métrologie internationale.

Il y a un accord général sur le fait que les programmes entrepris sous l'autorité de la Convention du Mètre ont eu une valeur considérable et que la plupart de ceux qui sont en cours doivent être poursuivis. Cependant, selon un point de vue largement partagé, le BIPM et les Comités consultatifs du CIPM doivent maintenant aider davantage les laboratoires nationaux de métrologie des États membres à établir le degré d'équivalence de leurs étalons nationaux. Une méthode pour atteindre

cet objectif a été instaurée et sa mise en œuvre est en cours. Elle implique la réalisation périodique d'un large éventail de comparaisons clés synchronisées avec des comparaisons similaires organisées par les organisations régionales de métrologie. En publiant les résultats de ces comparaisons, et leur analyse par les Comités consultatifs concernés, le CIPM fournira à une communauté élargie un accès direct à la somme des données sur le degré d'équivalence des étalons nationaux. De plus, la rédaction d'un accord sur la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux et des certificats d'étalonnage émis par les laboratoires nationaux de métrologie est presque terminée : ce document sera présenté à la 21^e Conférence générale des poids et mesures. Cet accord sera mis en place par le CIPM qui en assurera le suivi pour le compte des États membres. Les signataires de ce document seront les laboratoires nationaux de métrologie des États membres.

Le rôle des Comités consultatifs doit être sensiblement renforcé et un programme de travail plus ambitieux doit être mené entre les réunions. Les critères d'appartenance aux Comités consultatifs ont été revus et clarifiés et la présence d'observateurs sera acceptée afin de permettre à un plus grand nombre d'États membres de participer. Les missions de chaque Comité devront être précisées ; un membre du personnel scientifique du BIPM est affecté à chaque Comité en qualité de secrétaire exécutif. Les domaines de la métrologie couverts par certains des Comités seront élargis et un ou plusieurs Comités supplémentaires pourraient être créés afin que les principaux domaines de la métrologie soient couverts. De plus, une collaboration entre les laboratoires nationaux est importante afin de rendre compte de l'équivalence internationale des étalons. Le CIPM mène des études pour une éventuelle extension aux domaines de l'acoustique, des ultrasons, des vibrations, de la dureté et du débit de fluide. Le BIPM est le mieux placé pour déceler ces besoins en émergence et initier la coopération internationale appropriée.

La métrologie fondamentale ou appliquée concerne maintenant de nombreux organismes mondiaux ou régionaux. Au niveau mondial, le BIPM a entrepris de collaborer plus étroitement avec les organismes suivants : Commission électrotechnique internationale, International Laboratory Accreditation Cooperation, Organisation internationale de métrologie légale et Organisation internationale de normalisation. Au niveau régional, il travaillera avec les organisations régionales de métrologie. Dans ce but, le CIPM a pris l'initiative de créer un comité commun à toutes les organisations régionales de métrologie et au BIPM, sous la présidence du directeur du BIPM.

Conformément à des décisions récentes, des actions stratégiques vont être menées par le BIPM pour accroître son assistance aux pays en voie de développement. Il s'agit de renforcer leurs systèmes nationaux de mesure, et plus particulièrement, d'ériger la mesure au niveau de composante importante du développement économique. Certaines de ces actions entraînent une étroite collaboration avec l'Organisation internationale de métrologie légale et les organisations régionales de métrologie.

Le CIPM a défini le rôle du BIPM au cours des premières décennies du 21^e siècle. Le présent document comporte vingt et une décisions précises à propos des

activités futures du BIPM et des Comités consultatifs. Le BIPM se devra de mettre en place de nouveaux programmes en temps voulu, soit pour répondre aux nouvelles demandes des États membres, soit pour tirer profit des progrès de la science et de la technologie. L'impact de ces nouveaux programmes sur le budget du BIPM dépend largement de l'équilibre entre le besoin d'embaucher du personnel et les économies qui pourront être réalisées en mettant fin à certains secteurs d'activité, en les diminuant ou encore en optimisant leur efficacité. Un des tout premiers changements des activités des laboratoires du BIPM sera la mise en place d'un petit programme de métrologie en chimie. Ce programme et l'introduction des comparaisons clés nécessiteront des créations de postes au BIPM, mais ces postes seront pourvus sans augmenter l'effectif total sur la base de 1991, par redéploiement interne et utilisation de postes disponibles ou devenus disponibles.

Le programme à long terme de construction de bâtiments, entrepris par le BIPM au début des années 1980, approche de son terme et il n'est pas prévu de bâtiments supplémentaires au cours des prochaines décennies.

Les facteurs exposés ci-dessus et d'autres encore, parmi lesquels et non des moindres, les restrictions économiques actuelles des États membres et l'augmentation des besoins de la caisse de retraite du BIPM, vont avoir un impact sur le niveau des dotations futures pour le BIPM. Le CIPM prévoit de recommander à la 21^e CGPM que la dotation annuelle du BIPM demeure constante en valeur réelle, au niveau décidé par la 20^e CGPM pour l'an 2000, au moins pour les quatre premières années du siècle prochain, à savoir 2001-2004. Cependant les estimations financières actuelles indiquent, qu'à partir de 2006, il ne sera plus possible au BIPM de continuer tous ses programmes scientifiques sans une augmentation réelle de la dotation. En 2003, la 22^e CGPM devra alors prendre une décision difficile : soit maintenir la dotation constante pour la période 2005-2008, et les périodes quadriennales suivantes, ce qui impliquerait une réduction significative du programme scientifique du BIPM, soit augmenter la dotation.

En plus du paiement annuel de la dotation au BIPM, d'autres frais sont à la charge des États membres qui participent au travail mené dans le cadre de la Convention du Mètre. Certaines de ces dépenses pourraient être accrues quelque peu, à la suite des décisions récentes du CIPM, telles que l'introduction des comparaisons clés et l'élargissement des domaines de la métrologie couverts par les Comités consultatifs. Pour des tâches de cette nature, dont l'importance est universelle, et sur lesquelles le monde entier s'accorde, il ne semble pas qu'il existe de solution meilleure qu'un effort de collaboration internationale. Chaque État membre est encouragé à maîtriser ces coûts supplémentaires en identifiant les activités techniques les plus conformes à l'intérêt national et en y participant prioritairement. Il faut cependant garder présent à l'esprit que l'importance de la métrologie évolue et s'accroît à la fois par le nombre et par la complexité de ses applications. Il se peut que ceci conduise à étendre progressivement les programmes nationaux, l'unique alternative à des dépenses supplémentaires serait alors une redéfinition brutale des priorités traditionnelles.

1 Introduction

Le processus de mesurage revêt une très grande importance dans presque tous les domaines de l'activité humaine, et on a évalué que, dans les pays industrialisés, les opérations liées aux mesures comptent pour 4 % à 6 % du produit national brut. Cela correspond à plusieurs centaines de milliards de dollars US pour l'union européenne seule. Pour qu'elles soient significatives, les mesures doivent être étayées par la métrologie, qui est la science de la mesure. Par conséquent, l'effort total mondial placé dans la métrologie est en lui-même énorme. Cet effort est partagé entre les secteur public (l'État) et privé (l'industrie) des économies nationales.

Dans la pratique, les mesures ne sont jamais parfaitement exactes. Chaque mesure comporte des sources d'erreur potentielles qui se combinent pour donner un degré d'incertitude au résultat. Si cette incertitude est trop grande pour le but recherché, le résultat de la mesure peut alors n'avoir presque aucune valeur. Le degré d'incertitude que l'on peut tolérer varie énormément selon l'objectif du mesurage. Par exemple, les mesures pour la fabrication et la conception d'objets de haute technologie exigent des incertitudes beaucoup plus petites (c'est-à-dire une exactitude beaucoup plus grande) que des mesures utilisées dans le commerce de détail. L'exactitude des mesures doit correspondre au but recherché.

La plupart des États ont accepté depuis longtemps qu'une de leurs responsabilités est de s'assurer que les éléments fondamentaux du système national de mesure sont mis en œuvre et entretenus afin de soutenir le commerce et les autres activités liées au mesurage en augmentant la fiabilité des mesures. Ces éléments incluent :

- l'adoption d'un système d'unités de mesure et sa mise en œuvre sur tout le territoire national ;
- l'entretien d'un laboratoire national de métrologie (LNM), pour mettre au point, maintenir et disséminer les étalons nationaux nécessaires aux besoins nationaux, enfin mettre au point et transmettre aux utilisateurs de nouvelles techniques de mesure ;
- l'entretien d'une organisation nationale de métrologie légale pour aider le gouvernement à mettre en place et faire appliquer des lois et des règlements liés aux mesures, entre autres, dans le domaine du commerce ;

- la reconnaissance d'un organisme national d'accréditation des laboratoires, pour accréditer les laboratoires d'étalonnage et d'essais qui satisfont à des critères appropriés.

Dans plusieurs pays, le LNM et l'organisation nationale de métrologie légale font partie d'un même organisme.

Sur le plan international, et depuis plus de cent ans, les avantages de l'uniformité des systèmes de mesure apparaissent de plus en plus évidents. Le manque d'uniformité dans les mesures, les essais et la certification des produits est reconnu comme l'une des principales barrières techniques au commerce. En conséquence, les accords commerciaux entre États ou entre régions stipulent que tous les signataires doivent accepter les résultats des mesures et des essais effectués par les autres parties. Cette politique a le soutien de l'Organisation mondiale du commerce. L'accent qui est mis de plus en plus sur l'équivalence des mesures et des essais pour le commerce aura des répercussions très grandes sur les systèmes de mesure nationaux et internationaux.

Dans un monde idéal, tous les systèmes de mesure nationaux utiliseraient un système d'unités commun, auraient des étalons nationaux équivalents, et les lois et réglementations liées à la métrologie seraient harmonisées dans le monde entier. Cependant, en pratique, deux causes majeures empêchent d'atteindre cet idéal. Tout d'abord, pour des raisons d'intérêt local ou d'avantages économiques à court terme, certains États continuent à conserver des systèmes qui leur sont propres et à chercher à les justifier. Ensuite, même quand les gouvernements essaient d'atteindre l'uniformité, il subsiste toujours des incertitudes de mesure résiduelles lors de la comparaison des étalons et le mieux que l'on puisse faire est de confirmer leur équivalence dans des limites étroites spécifiées.

La signature de la Convention du Mètre en 1875 a été une avancée déterminante pour l'uniformité mondiale en matière de mesures. Cette Convention a créé le Bureau international des poids et mesures (BIPM), qui assure les fonctions de laboratoire international et de secrétariat pour faciliter la collaboration dans le domaine de la métrologie entre ses États membres (au nombre de quarante-huit en janvier 1998). L'activité du BIPM était au début plutôt tournée vers les mesures de longueur et de masse, mais grâce à une clause de la Convention, le domaine de compétences et de responsabilités du BIPM a été progressivement étendu. Un résumé du rôle du BIPM préparé en 1984, donné en Annexe A, et un compte rendu plus détaillé de son travail se trouvent dans la publication de 1995 du BIPM, *Le BIPM et la Convention du Mètre* (réimprimé en 1997). Le BIPM opère sous la surveillance exclusive du Comité international des poids et mesures (CIPM), lequel relève de l'autorité de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM). La CGPM réunit périodiquement, à l'heure actuelle tous les quatre ans, les représentants des gouvernements des États membres. Elle élit les membres du CIPM et décide du niveau de financement à obtenir des États membres pour subventionner le BIPM.

Le présent document est la réponse du CIPM à une demande faite par la 20^e CGPM en octobre 1995, dans sa Résolution 11, d'un rapport sur « 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 ». L'Annexe B donne le texte intégral de cette Résolution 11 et celui des Résolutions 1, 2 et 3.

Pour étudier le rôle à long terme du BIPM, il est nécessaire de situer les activités du BIPM au regard des aspects de la métrologie qui sont couramment traités par les autres organisations internationales. Citons parmi celles-ci les organisations dont l'activité est la plus voisine :

- International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) : accréditation des laboratoires d'étalonnage et d'essais ;
- Organisation internationale de métrologie légale (OIML) : métrologie légale ;
- Organisation internationale de normalisation (ISO) et Commission électrotechnique internationale (CEI) : normes et autres.

Il existe, cependant, de nombreuses autres organisations mondiales actives dans des domaines spécifiques de la métrologie, parmi lesquelles les suivantes ne sont que des exemples :

- Commission internationale de l'éclairage (CIE) : photométrie et colorimétrie ;
- International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) : métrologie des rayonnements ionisants ;
- International Federation of Clinical Chemistry (IFCC) : métrologie en chimie clinique ;
- International Measurement Confederation (IMEKO) : échanges internationaux d'informations ayant pour objet la science et la technologie des mesures ;
- Union astronomique internationale (UAI) : métrologie en astronomie ;
- Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) : métrologie en chimie ;
- Union internationale de physique pure et appliquée (UIPPA) : unités et constantes fondamentales.

Par mesure de clarté, le sigle BIPM est utilisé dans ce document non seulement pour se référer au Bureau international des poids et mesures en tant qu'institution, mais parfois dans un sens plus large pour englober toutes les activités régies par la Convention du Mètre. Chaque utilisation du sigle a une signification évidente d'après le contexte. Le BIPM est une organisation intergouvernementale, mais par souci de simplification, nous n'avons en général pas différencié les termes « organisation intergouvernementale » et « organisation internationale ».

2 Utilisateurs de la métrologie

Pour envisager les futurs besoins en métrologie, il est essentiel de se demander quels services actuels ou nouveaux seront nécessaires aux utilisateurs. Les métrologistes eux-mêmes sont essentiellement prestataires de services plutôt qu'utilisateurs. Comme il a été noté dans l'introduction, presque tous les domaines de l'activité humaine s'appuient sur la mesure et la métrologie. La liste ci-dessous, loin d'être complète, définit les domaines dans lesquels la demande est la plus grande ou la plus importante :

- fabrication et autres industries ;
- négoce et commerce ;
- services de santé et de sécurité ;
- protection de l'environnement ;
- organismes scientifiques ;
- communications et transports ;
- mise en œuvre des règlements nationaux ;
- production et distribution de l'énergie ;
- topographie, géodésie et navigation ;
- forces armées.

Par le passé, la demande en exactitude et en compatibilité des mesures a augmenté régulièrement. À la signature de la Convention du Mètre en 1875, l'accent était porté sur la longueur, la masse et les grandeurs apparentées pour les besoins du négoce et du commerce. D'autres domaines de la métrologie prirent ensuite une grande importance pour les utilisateurs. Par exemple, les mesures électriques furent prépondérantes au début de ce siècle, puis, après la deuxième guerre mondiale les rayonnements ionisants et plus récemment encore la métrologie en chimie. Aujourd'hui, l'évolution de notre société vers un niveau de technologie plus élevé s'accélère et exige une grande variété de mesures nouvelles et complexes ; par exemple, on peut citer le besoin de mesures dans les technologies de l'information, en microingénierie, en nanotechnologie, dans l'étude de nouveaux matériaux, ou pour les processus dynamiques à grande vitesse. De même les mesures

complexes mises en œuvre dans des domaines comme la médecine, la biotechnologie, l'alimentation humaine, la pharmacologie ou la protection de l'environnement exigent de manière urgente une métrologie plus fiable en chimie et en biologie, comme dans les domaines plus traditionnels de la physique et de l'ingénierie. La métrologie à l'échelle nationale et mondiale est loin de satisfaire les besoins de ces nouveaux champs d'activité et, afin d'être à niveau, de nombreux progrès devront être réalisés au cours de la prochaine décennie.

De plus, de nombreux utilisateurs ont, par le passé, attaché trop peu d'attention aux saines pratiques métrologiques qu'ils auraient dû mettre en œuvre pour étayer les mesures dont ils avaient besoin ; cela a eu pour conséquence fâcheuse une baisse de la qualité des marchandises, des services qu'ils fournissent et de leur productivité. Mais, à l'heure actuelle, la tendance tend à s'inverser et on prend de plus en plus conscience de la nécessité d'un fondement métrologique. En effet, différents facteurs ont émergé ces dernières années, comme le contrôle de la qualité et la demande formulée par les gouvernements et les partenaires commerciaux d'accréditer les services de mesure et d'essais.

Pour une partie non négligeable des mesures, mais pas pour toutes, il est extrêmement important pour l'utilisateur que les mêmes résultats soient obtenus dans des limites d'incertitude acceptables lorsque les mesures sont effectuées dans des lieux différents, par d'autres groupes, et à des périodes ou époques variées. Il importe aussi pour les utilisateurs de la métrologie que les résultats des mesures puissent être immédiatement communiqués, et reconnus valables par les autres parties intéressées.

Les besoins des utilisateurs démontrent que certaines exigences fondamentales de la métrologie continueront à s'appliquer aussi bien au niveau national qu'au niveau international :

- L'adoption universelle d'un système commun d'unités de mesures solidement lié à la physique fondamentale, est grandement souhaitable. L'établissement du Système international d'unités (SI) par la CGPM en 1960 a été un progrès décisif dans cette direction. En science et en technologie, le SI est maintenant presque universellement utilisé, et dans presque tout le commerce international et la fabrication de produits de haute technologie, il a largement remplacé les systèmes d'unités plus anciens.
- Les mesures effectuées par tout utilisateur doivent être fondées sur des réalisations physiques équivalentes des unités. On peut atteindre ce but en s'assurant qu'elles sont traçables soit à un étalon de mesure unique qui est conservé par un organisme international, soit à des étalons nationaux qui sont reconnus comme équivalents entre eux dans des limites acceptables d'incertitude. Pour être traçable, chaque mesure doit être liée aux étalons appropriés par une chaîne continue de comparaisons, ayant toutes des incertitudes établies. Une telle chaîne de traçabilité prend traditionnellement la forme d'une série d'étalonnages, chacun de ces étalonnages étant raccordé à un étalon de référence plus exact et de niveau supérieur. En chimie analytique, on utilise souvent, dans ce but, des matériaux de référence certifiés.

Ces points ont été soulevés dans les Résolutions 1, 2 et 3 de la 20^e Conférence générale intitulées « Nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes », « La traçabilité des étalons au niveau mondial » et « Le besoin de recherches métrologiques à long terme ». Le texte de ces importantes résolutions est donné à la fin de ce rapport (Annexe B).

3 Besoins nationaux liés à la métrologie

Les États deviennent de plus en plus conscients de l'avantage économique et social que procure un système de mesurage national efficace et, en particulier, de l'importance d'un tel système comme outil de compétitivité industrielle. Il y a peu de doute, par conséquent, que les systèmes nationaux de mesures continueront indéfiniment à fournir des éléments constitutifs du Système international. Il est important de les considérer en tant que tels, bien qu'il soit quelque peu artificiel de considérer les besoins nationaux et internationaux de la métrologie séparément, car il y a peu de besoins internationaux qui ne reflètent les besoins nationaux. L'intérêt et les exigences de beaucoup d'utilisateurs de la métrologie ne sont pas limités au plan intérieur de leur propre pays mais sont tout à fait internationaux, comme il apparaît immédiatement en considérant les utilisateurs ci-dessus. Beaucoup d'entreprises sont engagées dans le commerce international, la fabrication conjointe de produits manufacturés est devenue monnaie courante, les organisations militaires de défense comprennent souvent des groupes de nations, les problèmes de pollution de l'environnement s'étendent souvent au-delà des frontières nationales, etc.

La Figure 1 donne une vue générale des principales activités de la métrologie indispensables au niveau national. Elle illustre comment les acquis d'un système national d'unités et d'étalons, conservé par un LNM, sont répercutés aux utilisateurs par différents canaux : *a)* directement du laboratoire national, *b)* indirectement par l'intermédiaire de laboratoires d'étalonnage accrédités et *c)* par des organismes responsables des réglementations légales, ou des spécifications de normes privées, etc. On peut prévoir que dans un avenir proche, toutes ces activités se prolongeront aux niveaux nationaux, mais qu'elles prendront plus d'importance dans le cadre d'une harmonisation internationale.

Un système national de mesures complet comprend plusieurs aspects ou domaines de responsabilité : unités de mesure et étalons nationaux, accréditation de laboratoires, métrologie légale, normalisation et autres, etc. Dans certains pays, chaque aspect est sous la responsabilité d'une organisation séparée, ailleurs ils sont regroupés sous l'autorité d'une organisation-mère commune. Chacun des deux systèmes peut fonctionner correctement pour peu que l'on ait prévu de coordonner le travail de toutes les entités. Parfois, la responsabilité est partagée entre plusieurs organismes, par exemple la métrologie légale pour laquelle les responsabilités sont souvent réparties entre des organisations nationales, ou provinciales. Il est cependant souhaitable et presque essentiel que, pour chaque aspect,

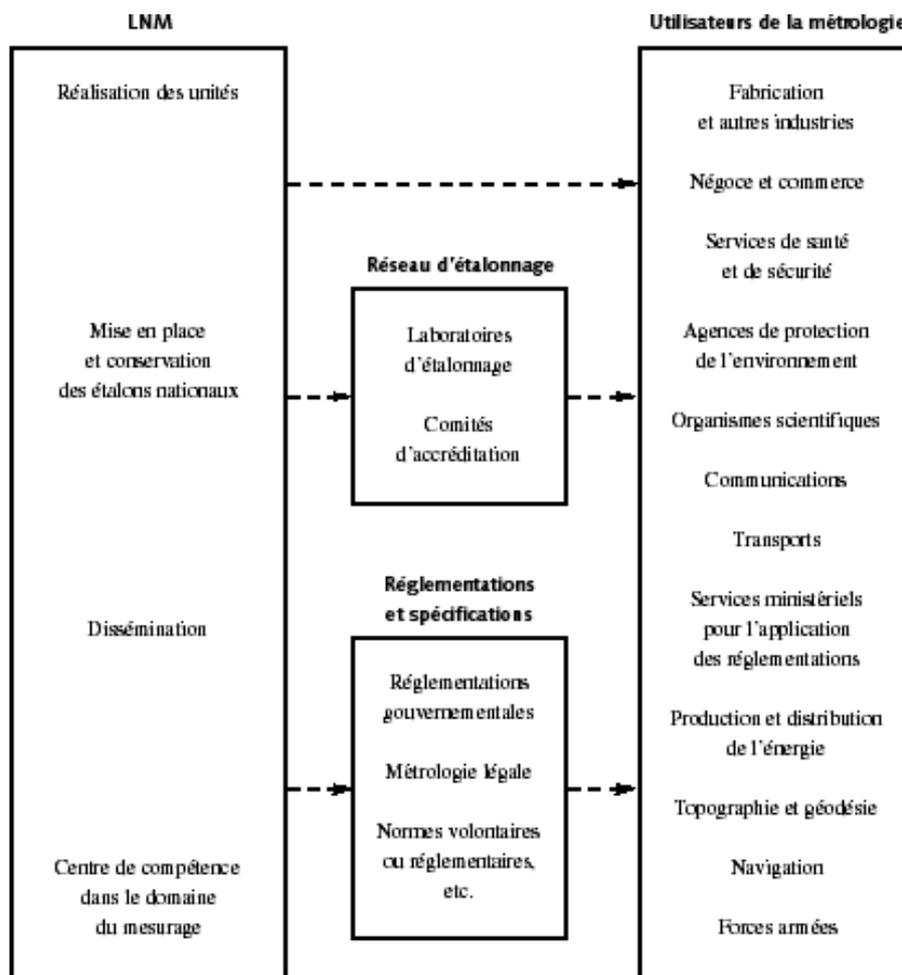


Figure 1 Schéma montrant, pour un système de mesurage national bien établi, le transfert des acquis techniques du laboratoire national de métrologie (LNM) aux utilisateurs, directement ou par l'intermédiaire d'autres organismes.

une seule organisation ait le pouvoir de représenter l'intérêt national lors de discussions sur la scène internationale ou de négociations d'accords internationaux.

3.1 Unités de mesure

La première mission d'un système national de mesure est l'adoption d'un système national d'unités et la mise en œuvre de la législation pour que seules les unités de ce système soient reconnues par la loi. Il est très souhaitable que le SI soit adopté en tant que système national, parce que *a)* le SI est un système cohérent, pratique et bien compris et que *b)* beaucoup de progrès ont déjà été faits pour son utilisation universelle. Au fur et à mesure de l'avancée de la science et de la technologie, et de l'évolution des demandes des utilisateurs, le SI continuera à être tenu à jour par le BIPM et il ne semble pas y avoir de raison de douter que son emploi continue de se répandre.

3.2 Étalons nationaux

La création de laboratoires nationaux de métrologie, ayant pour mission de conserver les étalons nationaux et de faire en sorte que les besoins nationaux en matière de mesure soient satisfaits, débuta à la fin du 19^e siècle dans les pays les plus développés. Elle s'est poursuivie jusqu'à ce jour et au cours des dernières décennies de nombreux pays en voie de développement ont donné une grande priorité à la mise en place de leurs propres LNM, avec un niveau de compétence conforme à leurs besoins. Il a parfois été dit que les organisations régionales de métrologie pouvaient éviter aux États d'avoir leur propre LNM. Cette suggestion ne tient pas compte du fait que les laboratoires nationaux modernes sont beaucoup plus que les dépositaires des étalons nationaux. Leur compétence en matière de mesures est reconnue, ils sont essentiels à l'infrastructure technique des États, fournissent aux instances gouvernantes conseils techniques et assistance, sans parler de l'aide à l'industrie et à d'autres interlocuteurs dans les domaines relatifs aux mesures. Le rôle des laboratoires nationaux de métrologie est certainement renforcé par l'importance croissante des collaborations régionales, mais dans un avenir proche il appartiendra à chaque État de soutenir son propre laboratoire de métrologie que le gouvernement, l'industrie et d'autres utilisateurs pourront directement interroger.

Comme le montre la Figure 2, chaque LNM peut choisir plusieurs méthodes pour remplir sa mission d'établissement des étalons nationaux.

1. La première de ces méthodes implique que le LNM assure la réalisation physique de l'unité à partir de sa définition, établissant ainsi un étalon primaire qui servira d'étalon national. C'est l'approche la plus fondamentale et elle est d'une grande importance parce que les réalisations physiques fournissent une liaison solide entre la définition de l'unité et sa représentation physique comme étalon. C'est pourtant l'approche qui est en général la plus difficile et la plus coûteuse.
2. La deuxième méthode ne concerne qu'un nombre limité de grandeurs physiques. Elle implique également qu'un étalon primaire serve d'étalon national mais, dans ce cas, non pas en réalisant l'unité à partir de sa définition, mais en établissant un étalon largement reproductible dont la valeur a été admise grâce au BIPM par convention internationale. On se réfère à cette méthode en parlant de « reproduction » de l'unité plutôt que de « réalisation ». Citons comme exemple, l'emploi de lasers à fréquence asservie recommandés pour établir un étalon pour le mètre, l'effet Josephson pour le volt, et l'effet Hall quantique pour l'ohm. Grâce à leur grande reproductibilité, ces étalons sont couramment préférés comme étalons nationaux, même par les laboratoires de métrologie qui ont eux-mêmes réalisé les unités concernées et ainsi contribué au choix des valeurs admises.

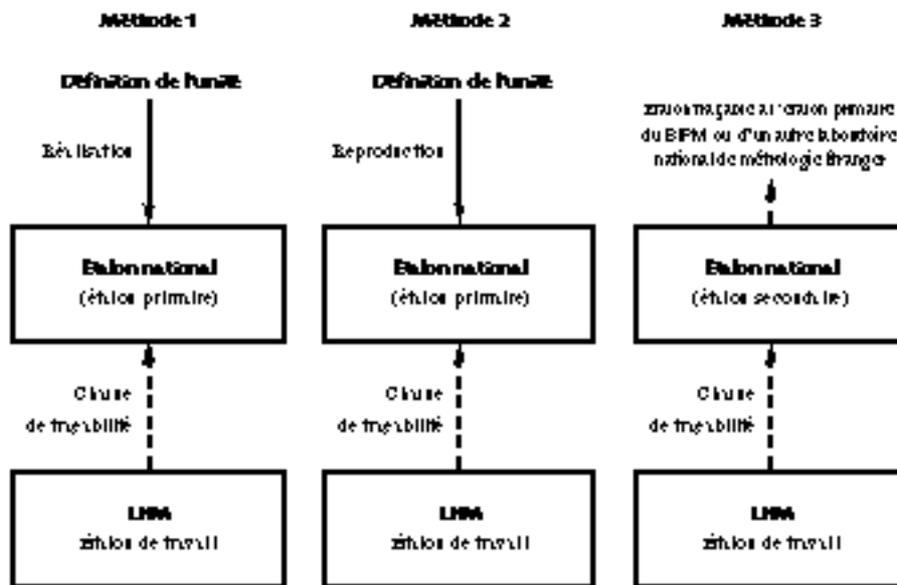


Figure 2

Illustration des trois méthodes dont peut disposer un laboratoire national de métrologie (LNM) pour l'établissement de ses étalons nationaux. Les services d'étalonnage assurés par le LNM utilisent des étalons de travail qui sont traçables aux étalons nationaux.

- La troisième méthode consiste à utiliser un étalon secondaire comme étalon national, sa valeur étant déterminée par une comparaison régulière avec un étalon primaire de la même unité conservé par le BIPM ou un autre LNM. C'est la méthode utilisée par tous les laboratoires nationaux pour la masse car, par définition le seul étalon primaire de masse est le Prototype international du kilogramme conservé au BIPM.

Ces différentes méthodes utilisées pour établir les étalons nationaux varient considérablement d'un laboratoire national à un autre, et il est vraisemblable qu'il en sera toujours ainsi. Pour les laboratoires nationaux les plus qualifiés, les étalons nationaux sont presque tous des étalons primaires, et, dans ces laboratoires on utilise peu d'étalons secondaires autres que ceux du kilogramme. À l'autre extrémité, beaucoup de petits laboratoires nationaux de métrologie, à qui on demande moins d'exactitude dans les mesures, fondent leurs étalons nationaux presque exclusivement sur des étalons secondaires ; pour les grandeurs physiques les moins utilisées ils préfèrent souvent ne pas conserver d'étalons mais plutôt diriger leurs usagers vers les LNM d'autres pays. Les meilleures exactitudes de ces plus petits LNM, bien qu'inférieures à celles des meilleurs laboratoires, peuvent néanmoins suffire à de nombreuses applications et aux besoins réels nationaux. On ne devrait pas exercer de pression sur eux pour qu'ils atteignent des performances de haut niveau non nécessaires, ou pour qu'ils établissent des étalons primaires.

Des erreurs peuvent exister dans les trois méthodes mentionnées ci-dessus pour mettre en œuvre des étalons nationaux et il n'est pas toujours possible de les identifier par des études sur place. Si l'on veut que les étalons gagnent en crédibilité sur

le plan international, il faut les comparer aux étalons nationaux d'autres laboratoires de métrologie, ou avec les étalons conservés par le BIPM. De telles comparaisons vérifient à la fois la qualité des étalons et la capacité du LNM à les utiliser.

L'objectif fondamental des LNM est de fournir aux usagers les moyens leur permettant de mesurer dans les unités du SI avec une exactitude appropriée à chaque application. Que la traçabilité à un LNM particulier puisse être considérée par les utilisateurs comme étant équivalente à la traçabilité à un LNM plus qualifié, cela dépend des applications spécifiques des mesures et des besoins d'exactitude. Une telle décision doit être fondée sur une analyse de ces besoins et en se référant aux comptes rendus des performances des LNM publiées à la suite de comparaisons internationales régulières, relatives à la grandeur physique considérée. Ce point est discuté plus loin.

3.3 Réseaux d'étalonnage et accréditation de laboratoires

Puisque les LNM ne peuvent évidemment réaliser qu'une petite partie des demandes nationales d'étalonnage des étalons secondaires et de référence, il faut trouver d'autres moyens pour assurer l'exactitude des nombreux autres étalons utilisés dans le pays. Les utilisateurs qui ont recours à de tels moyens doivent être certains que les valeurs attribuées à leurs étalons de travail et de référence coïncident, dans des limites d'incertitude quantifiées et acceptables, avec les valeurs qui auraient résulté d'une comparaison directe aux étalons nationaux. Il est d'usage d'établir un réseau hiérarchique de laboratoires d'étalonnage, les laboratoires nationaux de mesure étant au sommet. On peut utiliser cette méthode avec des variantes, mais celles-ci ont en commun un ensemble de conditions de base à remplir.

Pour certains domaines de mesures, particulièrement en chimie, la distribution de matériaux de référence certifiés est fréquemment utilisée comme méthode pour améliorer l'exactitude et l'uniformité des mesures. Les procédés utilisés pour mesurer et caractériser de tels matériaux de référence n'ont pas toujours donné lieu à une évaluation rigoureuse, en fonction des unités SI, des incertitudes de mesure associées. À l'avenir, il faudra attacher plus d'importance à identifier et à adopter des méthodes qui peuvent être complètement décrites et comprises et pour lesquelles un bilan complet d'incertitude peut être établi.

La fiabilité de la chaîne de traçabilité, depuis les étalons nationaux jusqu'aux étalons de travail, au lieu d'utilisation, est d'une importance cruciale pour le système national de mesurage. Tous les laboratoires de chaque chaîne d'étalonnage, et par conséquent tous ceux du réseau national d'étalonnage, devraient pouvoir démontrer leur compétence. Pour cela s'est développée la pratique de l'accréditation des laboratoires chaque fois qu'un laboratoire est reconnu apte par une organisation externe possédant l'expertise appropriée. La plupart des pays n'ont qu'un seul Comité national d'accréditation, et en général réellement un seul pour l'accréditation des laboratoires d'étalonnage. Ces organismes sont souvent responsables de l'accréditation non seulement des laboratoires d'étalonnage, mais aussi d'un grand nombre de laboratoires d'essais. Il sera toujours très important qu'une très

étroite collaboration existe entre le LNM et le Comité national d'accréditation. Le travail d'un LNM ne peut être totalement efficace que s'il est soutenu par un réseau d'étalonnage dont la compétence est reconnue, et inversement, un Comité national d'accréditation de laboratoires a besoin de l'expertise de son LNM pour planifier et exécuter son programme d'accréditation.

Les Comités nationaux d'accréditation de laboratoires accentuent la confiance dans le réseau national d'étalonnage en réalisant des comparaisons de mesures faites « horizontalement » entre les laboratoires accrédités afin de contrôler leur équivalence. Ils se réfèrent souvent à ce procédé comme étant un contrôle de compétence. Inclure les LNM dans de telles comparaisons peut être utile, car cela permet de vérifier la chaîne de traçabilité « verticale » aux étalons nationaux.

3.4 Métrologie légale

Les États ont établi au fil des ans un nombre considérable de lois et de règlements qui nécessitent des mesures fiables pour pouvoir être appliquées efficacement et dans l'esprit de la loi. On utilise le terme « métrologie légale » pour couvrir ce domaine d'interaction entre les règlements et les mesures. La métrologie légale a eu pour origine le besoin d'assurer l'honnêteté du commerce et de protéger le consommateur ; elle continue à se situer en priorité dans ce domaine. Cependant, au cours des dernières décennies le besoin de protéger la société dans d'autres domaines tels que la santé, la sécurité et l'environnement a engendré de nouvelles lois et de nouveaux règlements, et une extension des activités de la métrologie légale.

Comme il a déjà été indiqué dans l'introduction de ce document, la plupart des États ont fondé un organisme national de métrologie légale, mais il n'est pas rare de voir la responsabilité de la métrologie légale déléguée à des sous-entités nationales ou à des provinces. La responsabilité de certains de ces organismes est limitée au commerce, mais parfois elle est beaucoup plus étendue. Beaucoup de domaines d'activité des États ont au moins potentiellement une implication dans la métrologie légale, dans des domaines tels que la protection des consommateurs, les affaires de santé, l'environnement, le commerce, les communications, l'agriculture, etc. L'organisme national de métrologie légale fait en général partie d'un ministère, et à moins d'être mandaté par le gouvernement pour exercer ses responsabilités dans tous les domaines de la métrologie légale, son influence sur les autres ministères peut se limiter à des conseils et à une coordination.

L'harmonie la plus parfaite entre le LNM et l'organisme national de métrologie légale est fondamentale sur des sujets comme les unités, les étalons nationaux, les réseaux d'étalonnage et l'accréditation de laboratoires. Au fur et à mesure de son extension, la métrologie légale englobera vraisemblablement des domaines de mesure qui sont nouveaux pour les organismes nationaux de métrologie légale, mais pour lesquels il existe néanmoins une expertise réelle au sein des laboratoires nationaux. Un exemple récent a été de savoir contrôler les instruments de mesure de micro-ondes pour les interférences et la compatibilité électromagnétique. Une collaboration étroite sera nécessaire pour éviter le double emploi

d'équipements et pour atteindre des solutions optimales au niveau des États. De même, les LNM peuvent être aidés par les organisations nationales de métrologie légale pour identifier les problèmes légaux concernant la promotion de l'uniformité des mesures.

Le domaine couvert par la métrologie légale est clairement lié à la politique menée par les États et peut varier selon les époques. Si certaines nations sont actuellement en train de déréguler, chez d'autres c'est le contraire qui se produit, les réglementations augmentent et s'étendent à des domaines non traditionnels tels que la protection de l'environnement et la santé.

3.5 Normes et autres documents de référence

Les normes et autres documents de référence remplissent deux besoins fondamentaux de la métrologie.

Ils rendent systématique et représentent un consensus en ce qui concerne une partie considérable des mesures faites dans l'industrie et ailleurs, et aussi l'exactitude requise.

Ensuite, ils fournissent un moyen efficace de diffuser dans tout le pays des informations fondamentales concernant le système national de mesures. Cela inclut des renseignements sur la terminologie, les grandeurs et les unités, les méthodes de mesure et d'essai, l'évaluation des incertitudes de mesure, etc.

De plus, la participation à des comités qui rédigent les normes et autres documents nationaux de référence fournit aux services métrologiques une base appréciable pour connaître les besoins des utilisateurs. Cela complète l'information fournie directement par les contacts avec les utilisateurs : le LNM avec sa clientèle pour les étalonnages et avec les services de conseil en mesure, le Comité national d'accréditation de laboratoires avec les organismes qui effectuent des étalonnages et avec les laboratoires d'essais qui recherchent l'accréditation, l'organisation nationale de métrologie légale avec les fonctionnaires chargés d'établir les règlements et enfin les commerçants et les autres industries concernées.

Il est fréquent de rencontrer, dans un pays donné, un certain nombre d'organismes chargés d'élaborer des normes ou d'autres documents de référence, mais seul l'un d'entre eux est reconnu comme l'organisme principal ou national ; ce dernier est appelé ici centre national de normalisation. Il est souhaitable que les fournisseurs de services en métrologie collaborent avec ces organisations et avec ceux de leurs comités qui établissent des documents relevant particulièrement des mesures et de la métrologie.

3.6 Formation en métrologie

Dans de nombreux pays il apparaît que les programmes d'enseignement de la métrologie sont insuffisants à tous les niveaux du système éducatif : écoles, écoles techniques et universités. La métrologie doit souvent être apprise « sur le

tas » et cela rend le développement d'un système national de mesures uniforme beaucoup plus difficile. Ce problème d'une formation de meilleure qualité est important et il est pour l'essentiel du ressort des États. Cependant, les États qui sont le plus avancés dans le domaine de la métrologie proposent souvent des formations à ceux qui sont moins avancés, action qu'il convient d'encourager.

4 Besoins internationaux en métrologie et collaborations internationales correspondantes

Même si la nécessité de l'uniformité des mesures a été reconnue bien avant la fondation du BIPM en 1875, ce besoin n'a cessé de croître et ce, plus particulièrement au cours des dernières décennies. Parmi les raisons de cette croissance, on peut citer la forte tendance vers la mondialisation du commerce international, la fabrication de produits en coopération internationale, une plus grande complexité technique de la plupart des produits et des services, et la préoccupation croissante pour ce qui est lié à la santé, à la sécurité et aux problèmes de l'environnement. Cette tendance va vraisemblablement s'accroître à l'avenir, renforçant le désir mutuel des nations d'avoir davantage confiance dans les mesures, les essais pratiques et les certificats de conformité des autres pays.

L'expérience a montré que la voie la plus efficace vers l'uniformité des mesures passe par la collaboration multilatérale entre les organismes nationaux compétents, à la fois au niveau mondial et régional.

À l'heure actuelle cinq organisations internationales sont les principaux centres de collaboration multilatérale en matière de mesures et de métrologie au niveau mondial (*voir* Tableau 1). Chacune a la responsabilité d'harmoniser sur le plan international un ou plusieurs aspects de la métrologie parmi ceux identifiés plus haut comme besoins nationaux.

Le BIPM, nous l'avons déjà indiqué dans l'introduction, est responsable du Système international d'unités (SI) et de la mise en œuvre d'accords internationaux sur les étalons. Il est la plaque tournante de la collaboration entre les LNM. Citons ici comme particulièrement importants les réunions et le programme des Comités consultatifs (CC) mis en place par le CIPM. Ils agissent auprès de lui en tant que conseil et coordonnent le travail international dans les divers domaines de la métrologie. Les noms et sigles des neuf CC formés à ce jour sont donnés au Tableau 2. Chacun est composé d'un président (normalement membre du CIPM), de délégués des LNM membres, et autres organismes spécialisés les plus compétents dans le domaine, ainsi que d'experts nommés à titre individuel et de représentants du BIPM. Les critères d'appartenance ont été récemment revus par le CIPM et sont donnés dans l'Annexe C. Il est souhaitable, afin de favoriser la communication avec les organisations régionales qui collaborent dans le domaine de la métrologie, que chaque CC comprenne au moins un LNM appartenant à une région dans laquelle il existe suffisamment de compétence pour satisfaire à ces critères. Les noms et sigles

Tableau 1. Principales organisations de collaboration multilatérale internationale dans le domaine de la métrologie

Domaine de la collaboration	Organisations mondiales/ Institutions	Organisations régionales/ Groupements
Système international d'unités et Étalons de mesures internationaux	BIPM	–
Collaboration entre les LNM (y compris comparaisons des étalons nationaux)	BIPM	ANDIMET (Amérique du Sud) * APMP(Asie et le Pacifique) CAMET (Amérique centrale) * CARIMET (Caraïbes) * COOMET (Europe centrale et de l'Est) EUROMET (Europe) NORAMET (Amérique du Nord) * SADCMET (Afrique du Sud) SURAMET (Amérique du Sud) *
Accréditation de laboratoires	ILAC	APLAC (Asie et le Pacifique) EA(Europe) IAAC (Amérique du Nord et du Sud) NACC (Amérique du Nord) SARAC (Afrique du Sud)
Métrologie légale	OIML	APLMF (Asie et le Pacifique) COOMET (Europe centrale et de l'Est) SALMEC (Afrique du Sud) WELMEC (Europe)
Normes et documents de référence	ISO / CEI	AIDMO (Monde arabe) ACCSQ (Extrême orient) ARSO (Continent africain) CEN/CENELEC (Europe) COPANT (Amérique du Nord et du Sud) PASC (Région du Pacifique) SADCSTAN (Afrique du Sud)
* Ces cinq organismes du continent américain sont membres du Système interaméricain de métrologie (SIM)		

de certains Comités consultatifs ont été modifiés lors du CIPM qui s'est tenu en 1997, afin de prendre en compte les responsabilités élargies qui leur ont été assignées (voir Section 4.3 ci-après). Les nouvelles appellations sont données au Tableau 2.

Tableau 2. Comités consultatifs du CIPM au 1^{er} janvier 1998

-
1. Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM)
 2. Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR)
 3. Comité consultatif de thermométrie (CCT)
 4. Comité consultatif des longueurs (CCL)
 5. Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF)
 6. Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI)
 7. Comité consultatif des unités (CCU)
 8. Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM)
 9. Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM)
-

Une des caractéristiques des réunions des CC est la discussion ouverte et franche sur tous les points à l'ordre du jour, y compris ceux qui touchent aux programmes métrologiques des LNM participants. Ceci a joué un rôle considérable dans les progrès de la métrologie et l'exécution de la mission du BIPM, et a fréquemment stimulé le programme de recherche des LNM eux-mêmes. On peut craindre que la pression exercée sur un certain nombre de laboratoires nationaux ces dernières années, à des fins commerciales et de concurrence, puisse mettre en danger la liberté d'expression habituelle lors des réunions des CC et coupe court à la présentation et à la discussion de certains aspects de recherche sur les étalons. Le développement de cette tendance serait très nuisible au travail des CC. Même si cela n'est qu'une conséquence naturelle de la mondialisation croissante du commerce et de la libéralisation des marchés internationaux, le CIPM doit rechercher un terrain d'entente au sein même d'un environnement concurrentiel afin que les LNM puissent continuer à coopérer ouvertement et à faire progresser la métrologie ; ceci est un sujet de débat actuel au sein du CIPM.

Une initiative a été prise pour améliorer la communication au niveau le plus élevé entre le BIPM et ses principaux interlocuteurs, les LNM des États membres. Des réunions régulières entre les directeurs des LNM, les membres du CIPM et les responsables du BIPM sont organisées à l'initiative du BIPM pour débattre des problèmes les plus importants de la métrologie au plan international. Ces réunions donnent à tous les LNM la possibilité d'exercer leur influence sur la politique et les usages du BIPM, qu'ils aient ou non des membres de leur personnel au CIPM et aux réunions des CC. La première de ces réunions s'est tenue en février 1997 et la deuxième en février 1998.

L'International Laboratory Accreditation Conference (ILAC) a été créée en 1977 dans le but de promouvoir l'harmonisation internationale dans le domaine de l'accréditation de laboratoires, afin de créer un réseau international pour la reconnaissance mutuelle et l'acceptation des rapports de mesures et d'essais. En septembre 1996, les représentants de plus de quarante organismes d'accréditation

nationaux ont signé un accord, remplaçant l'ancien ILAC par une organisation plus formelle et structurée, ayant le même sigle, mais appelée International Laboratory Accreditation Cooperation. L'ILAC tient maintenant une assemblée générale chaque année, possède un comité de direction et quatre comités spécialisés qui étudient la politique d'accréditation, les problèmes techniques, les affaires publiques et les relations avec les laboratoires. Il se propose de créer dans un proche avenir un petit secrétariat permanent.

L'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) est, comme le BIPM, une organisation intergouvernementale établie par la signature d'une convention internationale. Fondée en 1955, elle comprenait en mai 1995 cinquante-quatre États membres signataires de la Convention et quarante et un autres membres correspondants. Elle a un secrétariat permanent, le Bureau international de métrologie légale (BIML) dont le siège est en France, à Paris, mais sa mission ne requiert pas de laboratoire. Pour mener à bien sa mission d'harmonisation de la métrologie légale sur le plan international, l'OIML organise entre autres des conférences quadriennales des États membres et des réunions annuelles de son comité directeur, appelé le Comité international de métrologie légale (CIML). Le CIML gère dix-huit comités techniques qui rédigent et mettent à jour des documents et recommandations internationales.

L'Organisation internationale de normalisation (ISO), et la Commission électrotechnique internationale (CEI), constituent la base mondiale pour l'élaboration de normes internationales privées, la CEI étant responsable pour l'ingénierie électrique et électronique, et l'ISO pour tous les autres domaines. Leur siège est à Genève (Suisse), leur but premier est de faciliter le commerce international et l'échange des biens et des services en éliminant les barrières techniques au commerce. Pour cela, ces organismes élaborent et publient des normes internationales qui peuvent être adoptées dans le monde entier par leurs membres. Comme les organisations nationales de normalisation, l'ISO et la CEI contribuent à la métrologie en systématisant toute une gamme d'exigences qui concernent le mesurage et qui font appel à un support métrologique ; ces organisations publient et assurent la diffusion des conventions fondamentales de métrologie qui ont été signées au niveau international.

En plus de ces institutions mondiales, il existe de nombreux organismes ou organisations régionales relevant de la métrologie. Ils sont indiqués dans le Tableau 1. Les organismes les plus concernés par le travail du BIPM sont les organisations régionales de métrologie (ORM) ; l'objectif de chacune d'elles est de développer la collaboration entre les LNM de sa région afin de remplir les objectifs régionaux en matière d'uniformité des mesures. Les ORM ont été créées récemment, la plus ancienne datant seulement du milieu des années 70, et l'ensemble des régions qu'elles couvrent ne s'étend pas encore dans le monde entier. Il est important de signaler que les ORM ne s'interposent pas et n'empêchent en aucune manière les contacts directs des LNM avec le BIPM. Elles fournissent aux LNM un moyen supplémentaire de collaborer, y compris avec les laboratoires nationaux des États qui ne sont pas signataires de la Convention du Mètre. Les ORM ne sont pas des

organismes intergouvernementaux disposant d'un financement garanti et possédant un secrétariat permanent, ce sont des organisations de coopération créées par les laboratoires eux-mêmes.

4.1 Le Système international d'unités (SI)

Même s'il est souhaitable d'avoir un système d'unités aussi stable que possible comme fondement de la métrologie, il faudra continuer à modifier régulièrement le SI à l'avenir, au fur et à mesure des avancées de la science et de la technologie et de l'émergence de nouveaux besoins. C'est une préoccupation constante du BIPM, du CIPM et de son Comité consultatif des unités (CCU). Ce dernier est constitué de représentants des organisations internationales les plus concernées, comme la CEI, l'ISO, l'OIML, l'UICPA et l'UIPPA. Les amendements apportés au SI sont forcément un compromis entre les changements souhaitables d'un point de vue scientifique, et la réticence compréhensible des utilisateurs à l'égard de modifications qu'ils ne jugent pas essentielles.

Dans le passé, le BIPM a joué un rôle primordial pour encourager les pays à adopter le SI comme système national d'unités. Les pays qui ne l'ont pas encore fait sont très conscients des avantages dont ils bénéficieraient, mais leur retard à opter pour le SI est principalement dû à des problèmes internes politiques et sociaux et, par conséquent, le BIPM n'intervient que très peu pour accélérer ce processus.

Il existe des relations étroites entre les unités et les étalons, et les constantes fondamentales de la physique. Il y a, par exemple, des relations entre la constante de Planck h et les étalons électriques fondés sur les effets quantiques ; de même il y a une relation entre la constante d'Avogadro N_A et le nouvel étalon de masse proposé, qui pourrait être fondé sur des atomes de silicium. Les études de telles relations et de déterminations plus exactes des constantes fondamentales constituent un apport considérable à la fois à la métrologie et à la science en général. Le BIPM doit conserver des liens avec ce domaine de recherche et même contribuer à l'effort international général lorsqu'il estime être suffisamment compétent ou disposer de moyens appropriés.

Le BIPM devrait continuer à jouer un rôle clé dans la normalisation de la terminologie de la métrologie et la méthodologie pour déterminer et exprimer l'incertitude des résultats de mesures. Les documents intitulés *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* et *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* préparés conjointement avec la CEI, l'IFCC, l'ISO, l'UICPA, l'UIPPA et l'OIML doivent être constamment mis à jour et l'utilité d'autres documents fondamentaux de ce type est à l'étude. Le second document, qui traite de l'expression de l'incertitude de mesure, est très important. Les principes qu'il énonce sont maintenant employés dans tous les domaines de la métrologie et de plus en plus au niveau pratique et industriel.

4.2 Collaboration internationale pour améliorer les étalons

Le BIPM s'implique, avec les LNM, tout particulièrement au travers des activités des Comités consultatifs, dans la coordination internationale des recherches pour améliorer les étalons primaires. Il entreprend également d'établir, de conserver et de disséminer certains de ces étalons au sein de ses propres laboratoires.

- Le kilogramme est la seule unité dont l'étalon primaire continue à être un objet matériel unique, à savoir le Prototype international du kilogramme conservé par le BIPM. Un effort important est fait, surtout dans les LNM, pour étudier des approches différentes de la définition du kilogramme, fondées sur des masses atomiques ou des forces électromagnétiques. Il subsiste néanmoins des obstacles importants et les efforts pourraient n'être couronnés de succès qu'après quelques dizaines d'années. En attendant, le BIPM poursuivra sa mission actuelle de conserver et de disséminer l'unité de masse.
- En ce qui concerne l'unité du temps, la seconde, la tâche spécifique qui incombe au BIPM est d'établir et de diffuser le Temps atomique international (TAI) ainsi que, en collaboration avec les organisations astronomiques concernées, le Temps universel coordonné (UTC). Les utilisateurs demandent une exactitude toujours plus grande dans ce domaine, déjà hautement exact, de la métrologie. Une avancée se produit actuellement, elle est fondée sur les techniques des atomes froids et des ions piégés. Il est prévisible que le BIPM et le CCTF continueront d'avoir à l'avenir un programme chargé.
- Comme déjà mentionné dans la section 3.2, il existe un nombre d'unités pour lesquelles il est techniquement possible d'établir des étalons primaires extrêmement reproductibles, fondés sur des valeurs admises par convention et choisies pour être en conformité aussi bonne que possible avec la définition des unités. Citons, pour exemple, la reproduction d'étalons primaires pour le mètre, fondés sur des valeurs recommandées de la fréquence de certains rayonnements lasers à fréquences stabilisées. Pour le volt et pour l'ohm, ces reproductions sont fondées respectivement sur des valeurs recommandées des constantes de Josephson et de von Klitzing. Presque de la même façon, l'échelle de température internationale EIT-90 utilise des valeurs recommandées pour ses points fixes. Le BIPM coordonne l'ensemble du travail requis pour développer ces techniques de reproduction et pour déterminer les valeurs recommandées, et collabore avec les LNM pour accomplir ce travail. On peut s'attendre à ce que des progrès scientifiques non prévisibles aujourd'hui fourniront de nouvelles occasions d'établir des étalons de reproduction.
- Pour quelques unités, comme par exemple la candela, il n'existe pas encore d'étalon susceptible d'avoir une bonne reproductibilité et il est par conséquent nécessaire d'effectuer des réalisations très fréquemment à partir de la définition. Dans ces cas, le BIPM travaille en collaboration avec les LNM pour rechercher des étalons plus stables et trouver des méthodes de réalisation plus exactes et plus pratiques.

- En ce qui concerne les mesures de quantité de matière, c'est-à-dire la métrologie en chimie, les mesures conformes à la définition de l'unité du SI (la mole) ne peuvent en pratique pas être réalisées par comparaison physique avec des prototypes matériels, à cause du très grand nombre de substances qui devraient être comparées une à une. À la place, le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé par le CIPM en 1993, a identifié une gamme de méthodes primaires de mesure. Une méthode primaire de mesure est une méthode qui est pourvue des meilleures qualités métrologiques, dont on peut comprendre et décrire clairement l'exécution, pour laquelle un bilan d'incertitude complet peut être établi en fonction des unités du SI, et dont les résultats sont par conséquent acceptés sans référence à un étalon de la grandeur que l'on est en train de mesurer. Il y a un besoin urgent d'améliorer l'exactitude et l'uniformité des mesures en chimie, ce qui est d'une importance primordiale pour l'économie et l'environnement ; pour cela il est nécessaire que le BIPM et le CCQM jouent le rôle de guide dans ce domaine. Il est par conséquent recommandé au BIPM de constituer un petit laboratoire pour contribuer à résoudre quelques-uns des problèmes clés.

Les recherches menées au BIPM ont apporté de nombreuses contributions majeures à l'amélioration des méthodes de réalisation physique des unités du SI et au développement de nouveaux étalons. Certains projets conviennent particulièrement à l'environnement international du BIPM, à la qualification de son personnel et à l'ensemble du matériel scientifique dont il dispose. Il est important que les subventions accordées au BIPM soient suffisantes pour poursuivre ces activités.

Le BIPM dispose d'un personnel de laboratoire réduit, environ quarante scientifiques et techniciens, et continuera inéluctablement d'être impliqué dans une gamme d'activités expérimentales relatives aux étalons beaucoup plus étroite que celles que couvrent beaucoup de LNM. Par chance cependant, l'expérience a montré que les CC peuvent intervenir efficacement dans certains domaines même là où le BIPM lui-même n'est pas actif. Citons le domaine de la mesure de la température, où le Comité consultatif de thermométrie (CCT) a démontré son efficacité, en dépit d'un programme minimal en thermométrie au BIPM même. Il faut cependant prendre garde que l'ensemble du travail expérimental et de recherche accompli au BIPM doit rester au-dessus du seuil requis pour attirer et retenir une équipe viable de scientifiques de premier plan. Ils doivent être capables de travailler avec leurs homologues les plus compétents des LNM, soit d'égal à égal, soit comme chefs de file respectés.

Le BIPM devra poursuivre son aide aux LNM des États membres de la Convention du Mètre, pour établir et conserver des étalons nationaux qui soient à très peu de choses près équivalents ou traçables à des étalons primaires bien reconnus. Pour cela, les moyens sont le transfert de technique ainsi qu'une gamme d'étalonnages par rapport aux étalons conservés au BIPM, particulièrement à l'usage des laboratoires nationaux qui adoptent pour étalons nationaux des étalons secondaires étalonnés à l'extérieur. Dans le cas de la masse ce service sera

indispensable aussi longtemps que le kilogramme continuera à être défini par un Prototype international ; en ce qui concerne le temps, le BIPM sera de la même manière obligé de poursuivre sa fonction unique pour le TAI et l'UTC. Il est recommandé que, sauf dans ces cas-là, le BIPM ne fournisse d'étalonnages que pour les grandeurs physiques pour lesquelles il est compétent, c'est-à-dire là où il a mis au point les étalons nécessaires conformément à sa mission : étalons primaires mis en œuvre en collaboration avec les CC ou évalués lors de comparaisons internationales. Il est inévitable que la gamme d'étalons et d'étalonnages proposés par le BIPM soit toujours moins complète que celles des plus grands LNM.

4.3 Les Comités consultatifs : rôle élargi

La stratégie du CIPM pour l'avenir est de pleinement reconnaître que les réunions des Comités consultatifs sont devenus les principaux lieux de rencontre des experts des LNM dans leurs domaines respectifs. Le nombre des CC s'est constamment accru et le domaine d'activité couvert s'est constamment élargi depuis que le tout premier, le Comité consultatif d'électricité (CCE), a été créé en 1927. Cependant, il n'y a pas eu jusqu'à ce jour de tentative systématique d'élargir le champ des CC pour couvrir tous les aspects de la métrologie. Il demeure des vides importants, par exemple dans le domaine du magnétisme, des vibrations, de l'acoustique et des ultrasons. Afin d'embrasser l'ensemble des domaines de la métrologie, pour lesquels les laboratoires nationaux considèrent qu'il y a un besoin réel de collaboration internationale, le CIPM élargit les termes de référence de ses CC et encourage la création dans leur sein de groupes de travail dans des domaines spécifiques. Si cela est nécessaire, il créera d'autres Comités consultatifs. Ceci ne veut pas forcément dire que le BIPM devra s'impliquer dans un grand nombre de nouvelles activités. En outre, les CC doivent faire particulièrement attention à ne pas se tourner vers des domaines où il est déjà possible de collaborer en métrologie par le biais d'autres organismes, comme par exemple la CIGRE pour la métrologie en haute tension et la CIE pour la colorimétrie. Les CC doivent envisager tous les domaines qui leur sont alloués, mais n'être actifs que dans ceux où le besoin est le plus grand.

En septembre 1996, le CIPM a fait un pas important vers l'extension du rôle des CC. Il a créé un groupe de travail *ad hoc* pour le conseiller sur le besoin d'un programme dans le cadre de la Convention du Mètre en acoustique, dans le domaine des ultrasons et des vibrations. Un tel programme pourrait être entrepris soit par un nouveau CC soit par un nouveau groupe de travail au sein d'un CC existant. Même si en Europe la collaboration existe raisonnablement entre les LNM actifs dans ces domaines, il y a peu de contacts à l'échelle mondiale si ce n'est par des rapports entre personnes ou au sein des comités techniques ISO/CEI concernés par des normes relatives à ces domaines. Les besoins métrologiques semblent les plus aigus dans le domaine des ultrasons et plus particulièrement dans trois directions : le diagnostic médical par ultrasons, la thérapeutique médicale par ultrasons et les ultrasons à usage industriel. Mais ce n'est qu'un exemple. En septembre 1997, le CIPM a démarré des études pour voir si le temps est venu d'établir des

étalons en dureté et débit de fluides sous les auspices de la Convention du Mètre. On pourrait également considérer d'autres propriétés rhéologiques de la matière comme la viscosité, la plasticité, et la déformation ; les propriétés thermophysiques des matériaux comme la conductivité thermique, la capacité et l'émissivité thermiques ; les mesures et les problèmes d'étalonnage en granulométrie, etc. Toutes ces mesures ont un impact industriel direct : les LNM s'y intéressent déjà et une certaine pression pourrait s'exercer sur le BIPM pour assurer l'équivalence des mesures sur le plan mondial dans plusieurs de ces domaines.

Les appellations traditionnelles de certains Comités consultatifs ne reflétaient pas toujours l'ampleur de leur travail et tendaient à renforcer un dangereux malentendu selon lequel le BIPM avait tendance à être perçu parfois comme étroit, purement scientifique, et ayant peu de rapports avec les besoins pratiques de la métrologie. Par exemple, le titre Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) est restrictif par rapport aux activités beaucoup plus étendues de ce Comité en matière de mesures de longueur et de métrologie dimensionnelle. C'est pour cette raison que le CIPM, à sa session de septembre 1997, a modifié les appellations (et les sigles) de quatre CC. Outre le CCDM qui est devenu le Comité consultatif des longueurs (CCL), le Comité consultatif d'électricité (CCE) est devenu le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CEEM), le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) est devenu le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), et le Comité consultatif pour les étalons des rayonnements ionisants (CEMRI) est devenu le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI). Les sigles en anglais correspondent au français.

4.4 Équivalence des étalons nationaux

Nous avons parlé plus haut du besoin d'uniformité internationale des mesures qui devient de plus en plus aigu et en avons donné les raisons. Étant donné que les systèmes de mesure nationaux continuent à servir de fondement au système mondial, l'uniformité mondiale des mesures ne deviendra possible que si l'équivalence des étalons nationaux conservés dans différents pays est reconnue. Aussi y-a-t-il aujourd'hui une forte demande de la part des utilisateurs de métrologie pour une preuve plus explicite et plus transparente du degré d'équivalence (ou de non-équivalence) des étalons nationaux conservés par les LNM. L'insuffisance de cette preuve et le manque d'accès immédiat à celle-ci sont un des soucis des organismes d'accréditation de laboratoires, qui rencontrent diverses situations demandant une meilleure connaissance des équivalences internationales. Cela se produit par exemple, lorsqu'un laboratoire d'étalonnage recherchant l'accréditation, possède quelques étalons traçables à un LNM étranger, plutôt qu'à celui de son pays, en particulier lorsque des étalons nouvellement étalonnés ont été depuis peu importés par le laboratoire, et que les étalonnages par le LNM du pays ne semblent pas être nécessaires. Un autre cas très important est celui où deux ou plusieurs comités nationaux d'accréditation de laboratoires souhaitent mettre au point un accord de reconnaissance mutuelle.

Afin d'évaluer s'il y a équivalence, pour une grandeur physique donnée, entre les étalons de deux (ou plus) LNM, il y a lieu de connaître :

- l'origine et l'historique de l'étalon national conservé par chaque LNM et l'incertitude qu'il annonce ;
- la qualité de l'environnement et de l'équipement de chaque LNM, et l'expérience et la compétence du personnel ;
- la qualité des résultats obtenus pendant une durée appropriée par chaque LNM lors des comparaisons internationales des étalons en question.

Afin d'obtenir des conclusions exhaustives et infaillibles au sujet de l'équivalence de tous les étalons et de toutes les mesures des LNM participants, les comparaisons internationales devraient être pratiquées sur une base régulière pour chaque grandeur physique et à chaque niveau auquel les mesures sont utiles. Ceci entraînerait une charge de travail impossible à accomplir. À la place, une sélection judicieuse des comparaisons nécessaires pour obtenir un niveau de confiance raisonnable doit être faite, en tenant compte non seulement des besoins scientifiques, mais aussi des demandes des utilisateurs en matière de métrologie.

Le BIPM a mené depuis environ cent ans des comparaisons internationales d'étalons nationaux, soit directement, soit par l'intermédiaire des CC. Pourtant, en général, seulement dix ou vingt LNM participent à chaque comparaison. Ce sont surtout, mais pas exclusivement, des laboratoires importants membres des CC. Il ne serait pas réaliste d'intégrer dans ces comparaisons tous les États membres de la Convention, et encore moins tous les États. Il faut envisager d'autres solutions.

Le développement de la collaboration des LNM au cours de ces vingt dernières années, au sein d'organisations régionales de métrologie nouvellement créées, complète efficacement les collaborations internationales dans le cadre du BIPM et des CC. Les comparaisons régionales d'étalons qui sont effectuées s'adressent aux LNM d'États qui participent peu aux comparaisons du BIPM, qu'ils soient ou non membres de la Convention du Mètre. L'échange mutuel d'information, de formation et de conseils sur les étalons et les possibilités d'étalonnage améliorent également l'uniformité.

Au cours des dix à vingt dernières années plusieurs LNM ont formalisé des accords bilatéraux, reconnaissant l'équivalence de leurs étalons nationaux à l'intérieur de limites spécifiées. La preuve de l'équivalence a été largement fondée sur les comparaisons multilatérales antérieures, mais il n'est pas rare que des comparaisons supplémentaires aient été nécessaires ainsi que des discussions entre spécialistes. Bien que ces reconnaissances bilatérales d'équivalence aient été bénéfiques à de nombreux égards, et puissent toujours avoir leur raison d'être lorsque deux États en ressentent le besoin précis, l'expérience a montré que la charge de travail correspondante rendait impraticable les fondations d'un système mondial sur un ensemble d'accords bilatéraux.

Le besoin de faire davantage pour démontrer le degré d'équivalence des étalons nationaux a été reconnu par la 20^e CGPM en 1995. Sa Résolution 2 recommande :

- que les LNM, 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.

La même année le CIPM démarrait une enquête sur la meilleure façon d'aller de l'avant. Cette enquête est conduite par le directeur du BIPM et entreprise en étroite collaboration avec les directeurs des LNM, les organisations régionales de métrologie et l'ILAC. Ses conclusions sont mises en place progressivement au fur et à mesure qu'un consensus est obtenu par les parties concernées sur chaque point.

Il est d'ores et déjà admis que la base technique pour rendre compte du niveau d'équivalence sera fournie par une série de comparaisons de mesures sélectionnées avec soin, que l'on désignera comme « comparaisons clés du BIPM », et qui seront répétées à des intervalles de temps appropriés. Le directeur du BIPM prépare à l'heure actuelle un document définissant les lignes conductrices de ces comparaisons ; ce document sera soumis pour approbation au CIPM. Chaque CC entreprend d'identifier les comparaisons clés et leur périodicité, en ayant soin de couvrir les principales grandeurs et techniques de son domaine. Cette démarche approche de son terme et, à ce jour, quelque soixante-dix comparaisons clés ont été identifiées. Chacune de ces comparaisons clés sera organisée par le CC concerné, en collaboration avec le BIPM ; la participation sera ouverte aux LNM qui ont une grande compétence technique et de l'expérience dans ce domaine et également au BIPM quand ce sera opportun. Les résultats de chaque comparaison seront analysés par le CC et utilisés pour établir une moyenne pondérée ou une valeur médiane, qui sera considérée comme la valeur de référence de la comparaison clé, et pour déterminer son incertitude. Ceci sera suivi par une évaluation de l'écart du résultat déclaré par chaque participant par rapport à la valeur de référence et de l'incertitude de cet écart. L'ensemble des valeurs des écarts et de leurs incertitudes serviront d'indicateurs du degré d'équivalence métrologique des étalons nationaux participant à la comparaison clé.

Quelques-unes des comparaisons clés seront effectuées directement par le BIPM. Au cours de ces dernières années, le BIPM a choisi chaque fois que cela a été possible d'utiliser des étalons transportables conformes à l'état de l'art et de reproductibilité adéquate, par exemple pour le mètre, le volt et l'ohm. Ces étalons sont transportés dans différentes régions où ils peuvent être comparés aux étalons de plusieurs LNM. Tout en constituant une manière efficace de contribuer à la

recherche d'uniformité des mesures, ce procédé ajoute un transfert de technologie bénéfique et offre des potentialités nouvelles pour l'avenir.

Afin que les LNM qui ne participent pas aux comparaisons du BIPM puissent également comparer leurs étalons nationaux aux valeurs de référence des comparaisons clés, les organisations régionales (ORM) sont invitées à organiser des comparaisons clés régionales correspondant aux comparaisons clés du BIPM (voir Figure 3). Une partie importante d'une comparaison clé est l'écriture d'un protocole pour sa mise en œuvre. Il est en effet essentiel que les comparaisons régionales et celles du BIPM utilisent les mêmes méthodes, ou des méthodes très voisines. L'objectif est que dans chaque comparaison régionale il y ait au moins deux des LNM qui participent à la comparaison correspondante du BIPM, afin d'établir des liaisons solides. Il sera alors possible pour les CC de relier les résultats de chaque LNM participant aux comparaisons régionales aux valeurs de référence des comparaisons clés établies au BIPM et de calculer les écarts correspondants.

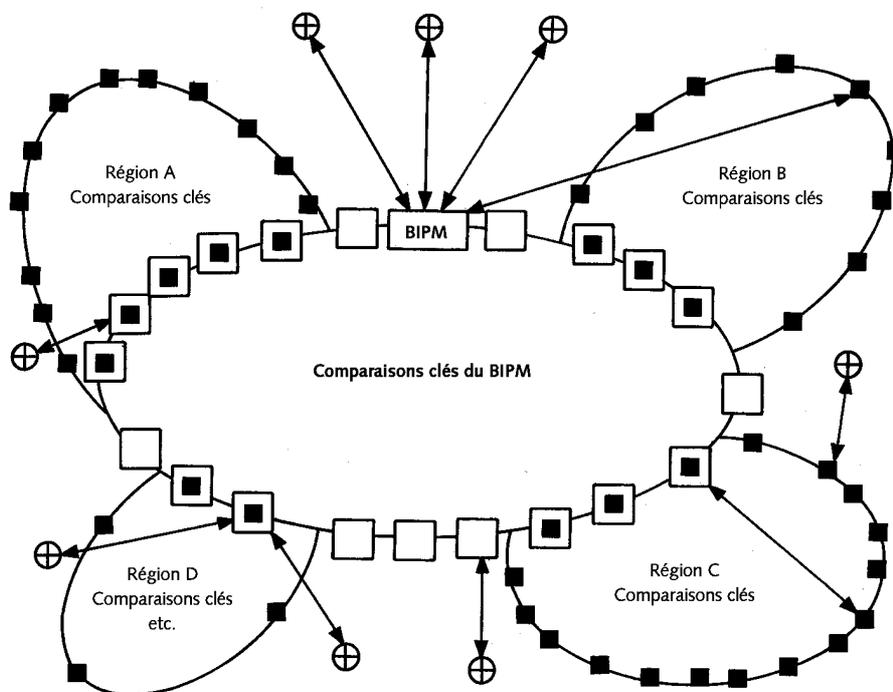


Figure 3

Illustration schématique de la façon dont une comparaison clé d'étalons nationaux, effectuée au BIPM et reliée aux comparaisons clés régionales correspondantes, peut efficacement fournir une base technique pour vérifier le degré d'équivalence des étalons nationaux de nombreux pays.

- NLM participant à la comparaison clé du BIPM.
- LNM participant à des comparaisons clés régionales.
- ▣ LNM participant à la fois à la comparaison clé du BIPM et à des comparaisons clés régionales.
- ⊕ Autres LNM.
- ↔ Comparaisons clés bilatérales.

Il est très important pour le progrès de l'uniformité des mesures à l'échelle mondiale que le BIPM continue à prendre part aux activités des organisations régionales de métrologie en plus de la collaboration avec les LNM. Le BIPM doit prendre la responsabilité de coordonner ses comparaisons clés aux comparaisons clés régionales et inviter les organisations régionales de métrologie à contribuer au choix des comparaisons clés. Afin d'établir un mécanisme efficace pour cette collaboration, on a obtenu un accord auprès des coordonnateurs des ORM pour créer un Comité commun des ORM et du BIPM, qui sera présidé par le directeur du BIPM. Le BIPM doit aussi encourager les pays non encore impliqués dans une coopération régionale en métrologie, soit à rejoindre les organisations régionales de métrologie existantes, soit, si cela est souhaitable, à en former de nouvelles.

Les résultats de comparaisons clés bilatérales correctement réalisées peuvent aussi être utilisés par les CC pour relier les étalons nationaux d'un LNM aux valeurs de référence des comparaisons clés. Il sera bien sûr essentiel qu'un des laboratoires ait participé à la comparaison clé correspondante du BIPM ou à une comparaison régionale qui lui soit reliée.

Le BIPM va poursuivre sa politique de publier dans *Metrologia*, dès qu'ils sont disponibles, les résumés des résultats de toutes les comparaisons de mesures multilatérales et bilatérales auxquelles participent les LNM ou le BIPM, y compris les comparaisons clés organisées par le BIPM, les CC, les ORM ou d'autres organismes. Les CC étudieront les résultats de toutes ces comparaisons et en tireront les conclusions. Dans le cadre des services qu'il fournit aux LNM des États membres de la Convention du Mètre, le BIPM va publier sous forme électronique un historique de tous les résultats des comparaisons clés et assimilées, des valeurs de référence des comparaisons clés et des écarts des résultats des participants par rapport à ces valeurs, avec les incertitudes associées. Ces éléments seront accessibles facilement sur Internet, et formeront la grande banque de données utile aux organismes d'accréditation et autres, afin d'évaluer dans quelle mesure le degré d'équivalence internationale des étalons nationaux a été établi. Une importante responsabilité du BIPM dans cette activité de publication est de s'assurer, par une critique circonstanciée, de la validité des comparaisons dont les résultats seront utilisés.

Les méthodes de travail ci-dessus devraient être particulièrement bénéfiques aux LNM qui participent très peu ou même pas du tout aux comparaisons de mesures menées par les CC et le BIPM ; l'occasion leur est fournie de démontrer leur savoir-faire en matière de mesure, en le comparant à des points de repère internationaux, et d'être ainsi plus largement reconnus.

Les rapports préparés pour le CIPM par le directeur du BIPM décrivent plus en détail la méthode à utiliser pour les comparaisons clés et pour l'analyse des résultats, y compris la détermination des valeurs de référence des comparaisons clés et des écarts. De plus, en collaboration avec les directeurs des LNM et les organisations régionales, un accord sur les comparaisons clés est mis en place pour la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux et des certificats d'étalonnage émis par les laboratoires nationaux. Ces laboratoires nationaux seront invités à signer cet accord, dont le BIPM assurera le suivi au nom des États membres.

Les responsabilités plus importantes ainsi dévolues aux Comités consultatifs, particulièrement celles qui concernent les comparaisons clés et leur interprétation, accroissent la nécessité pour eux de rester actifs et de prendre des décisions entre les réunions. Pour les aider dans cette mission, le BIPM a désigné comme secrétaire exécutif de chaque Comité consultatif un responsable scientifique du BIPM et propose de fournir une aide supplémentaire de secrétariat.

4.5 Collaboration internationale pour l'accréditation de laboratoires

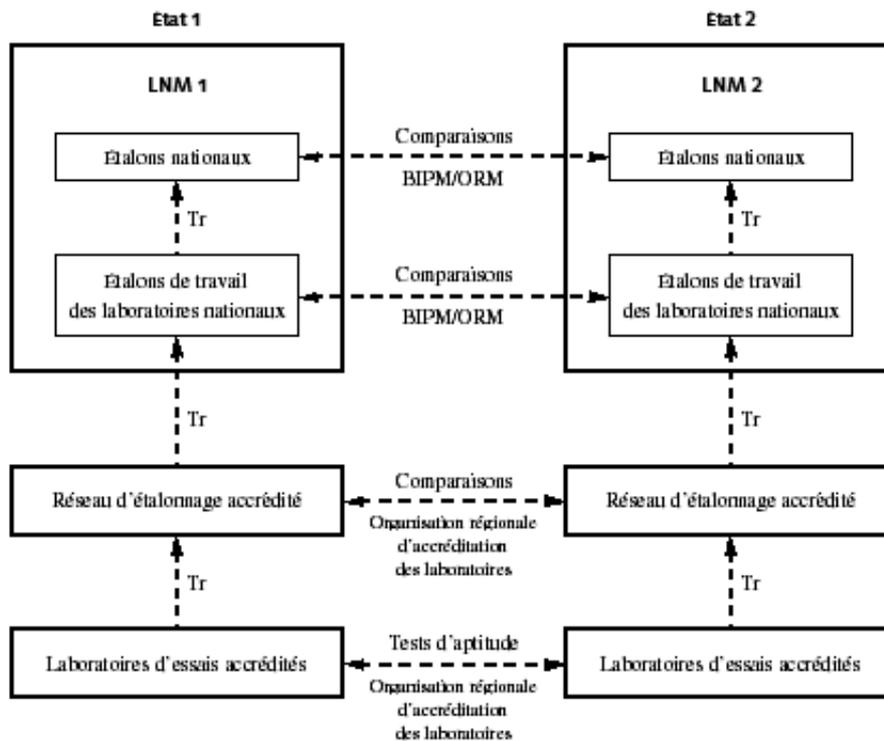
Les Comités nationaux d'accréditation de laboratoires et leur organisation internationale correspondante, l'ILAC, jouent un rôle crucial en aidant les gouvernements à lever les barrières commerciales relatives aux essais. Le succès concret de l'infrastructure mondiale du mesurage, y compris le travail du BIPM et des LNM, dépend beaucoup du succès que ces agences auront pour assurer la traçabilité effective des mesures à des étalons nationaux et internationaux.

L'ILAC et les organismes régionaux correspondants ont l'importante mission de garantir l'équivalence internationale des mesures à des niveaux inférieurs à ceux des LNM. La Figure 4 montre les hiérarchies des systèmes de mesure de deux États fictifs dans une région donnée du monde ; la traçabilité des étalons utilisés en un lieu de travail, est reliée au réseau d'étalonnage accrédité, puis aux étalons de travail utilisés par les LNM, pour finalement rejoindre les étalons nationaux des LNM. Les rôles complémentaires du BIPM et des organisations régionales de métrologie pour garantir l'équivalence entre les étalons nationaux et les étalons de travail des LNM ont déjà fait l'objet de la section 4.4. Afin de vérifier la continuité des chaînes verticales de traçabilité, les Comités d'accréditation régionaux se doivent d'organiser des comparaisons à l'intérieur des régions et des essais d'aptitude comme indiqué dans la Figure 4 ; l'ILAC se doit également d'organiser des vérifications entre les régions.

Il est important que le BIPM établisse des liens étroits avec l'ILAC en complément des relations au niveau national entre les laboratoires nationaux et les comités nationaux d'accréditation de laboratoires. En effet, les deux organismes partagent un certain nombre d'intérêts. L'un d'entre eux est l'équivalence des étalons nationaux, un autre est la mise en place d'une politique reconnue d'une traçabilité convenable des mesures, cela à partir des étalons internationaux et nationaux jusqu'au lieu de travail même. Comme indiqué plus haut, l'ILAC va bientôt disposer d'un petit secrétariat permanent. Le BIPM et l'ILAC auraient intérêt à ce qu'il soit situé au BIPM même ou dans un lieu proche. Il est entendu que les coûts du secrétariat de l'ILAC seraient supportés par cette organisation, dans le cas où son secrétariat serait basé au BIPM.

4.6 Collaboration internationale en métrologie légale

Depuis sa fondation en 1955, l'OIML a eu un succès considérable dans l'harmonisation au niveau mondial des règlements et procédures nationaux en matière de métrologie légale, en particulier dans le domaine des mesures commerciales. L'OIML a publié des guides traitant des aspects généraux de la métrologie légale,


Figure 4

Illustration, pour une certaine région du monde, des rôles complémentaires du BIPM, de l'organisation régionale de métrologie et de l'organisation régionale d'accréditation des laboratoires, pour vérifier l'équivalence horizontale des mesures, à différents niveaux de hiérarchie, des étalonnage de deux États.

LNM = laboratoire national de métrologie.

ORM = organisation régionale de métrologie.

Tr = chaîne de traçabilité.

y compris l'adoption des unités SI comme unités légales de mesure. Elle a aussi établi un grand nombre de recommandations destinées à être adoptées par les États membres afin qu'ils s'assurent que la conception, la vérification et l'utilisation d'instruments de mesure destinés à vérifier les dispositions légales soient correctement effectuées. En 1991, un système de certification pour des instruments de mesure a été créé par l'OIML pour faciliter les procédures administratives et baisser les coûts liés au commerce international d'instruments de mesure assujettis à des dispositions légales. Récemment, le rôle de l'OIML s'est élargi, pour s'étendre à d'autres domaines que les mesures commerciales, là où le bien-être des populations est concerné par des règlements nécessitant des instruments de mesure pour être appliqués (par exemple la sécurité, la santé et l'environnement). Il faut s'attendre à une demande croissante dans ce domaine même s'il est parfois difficile de prévoir la bonne volonté des gouvernements à adopter et appliquer des règlements uniformes sur le plan international.

Le BIPM et le Bureau international de métrologie légale (BIML) ont toujours travaillé en harmonie et ont contribué conjointement à élaborer des documents fondamentaux sur la métrologie, mais peut être moins que l'on aurait pu l'attendre des deux seules organisations intergouvernementales de métrologie. Au fur et à mesure de l'avancée de la métrologie légale au-delà des mesures liées au commerce de ses débuts, le besoin mutuel de collaboration grandira. Un groupe de travail commun du CIPM et du Comité international de métrologie légale (CIML) est chargé d'identifier les moyens d'élargir la collaboration entre les deux organisations et d'augmenter leur efficacité à atteindre leurs objectifs et employer leurs ressources. Ceci inclut, mais ne se limite pas à la possibilité de regrouper les deux organisations.

4.7 Normes et autres documents de référence internationaux

Pour atteindre l'uniformité mondiale des mesures, il est de plus en plus évident qu'il est nécessaire d'avoir une série de documents internationaux qui traitent les aspects fondamentaux de la métrologie. L'ISO et la CEI (et, à un niveau moindre, l'OIML) jouent un rôle important dans ce domaine, et leurs documents sont fréquemment adoptés par les organisations nationales. Parmi de tels documents fondamentaux, citons :

- ISO 31 (Parties 0 à 13), *Grandeurs et unités* ;
- ISO Guides 30-35, *Matériaux de référence* ;
- ISO 1000, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités* ;
- CEI Publication 27 (Parties 1 à 4), *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique* ;
- CEI Publication 50, *Vocabulaire électrotechnique international* ;
- OIML D2, *Unités de mesure légales*.

Deux documents particulièrement importants ont été publiés par l'ISO, au nom de sept organisations : le BIPM, la CEI, l'IFCC, l'ISO, l'OIML, l'UICPA et l'UIPPA. Il s'agit de :

- *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* ;
- *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*.

Certains guides publiés conjointement par l'ISO et la CEI traitent de la certification et de la mise en conformité des produits et des entreprises, et concernent tout particulièrement les laboratoires d'étalonnage et leur accréditation. On peut citer :

- ISO/CEI Guide 25, *Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnage et d'essais* ;
- ISO/CEI Guide 58, *Systèmes d'accréditation de laboratoires d'essais et d'étalonnages – Prescriptions générales pour la gestion et la reconnaissance*.

La série de normes ISO 9000 sur la qualité en gestion d'entreprise et l'assurance de qualité a eu un impact bénéfique sur la métrologie internationale en démontrant à de nombreux organismes qui recherchaient la certification de qualité qu'ils avaient besoin d'une métrologie sûre et d'une traçabilité de leurs mesures. Dans certains cas, cependant, la confusion s'est malheureusement installée entre les rôles respectifs de la certification de qualité et de l'accréditation des laboratoires.

Le travail du Comité REMCO de l'ISO, chargé des matériaux de référence, a certains objectifs en commun avec le BIPM et le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) sur la métrologie en chimie. La communication entre ces groupes a été récemment renforcée par l'admission du REMCO en tant que membre du CCQM.

Il est recommandé que le BIPM, l'ILAC et l'OIML entreprennent régulièrement des discussions avec l'ISO et la CEI sur la nécessité de documents internationaux supplémentaires sur les aspects fondamentaux de la métrologie et de l'uniformité des mesures. L'écriture des guides internationaux pourrait jouer un rôle utile pour réaliser l'équivalence et la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux conservés dans différents LNM, et développer des critères plus uniformes pour la traçabilité des mesures. Il est à noter que l'ISO, la CEI et l'OIML sont déjà représentés au Comité consultatif des unités.

Les normes fournies par l'ISO et la CEI constituent une excellente source de renseignements à propos des mesures qui sont nécessaires à l'industrie, aux produits et aux services. Elles peuvent avoir une grande valeur pour les fournisseurs de services métrologiques requis pour étayer les mesures. On peut donner l'exemple de la norme de la série CEI 1000 sur la compatibilité électromagnétique. Il est recommandé que le BIPM et l'OIML se réfèrent autant que possible à l'ISO et la CEI dans la préparation de documents de référence relatifs aux domaines spécifiques de mesures appliquées ou « pratiques ». Ces domaines sont très nombreux, et il est irréaliste de croire que les frais induits puissent être couverts par les subventions gouvernementales versées habituellement au BIPM et à l'OIML pour les aspects les plus généraux et les plus centraux de la métrologie et de la métrologie légale.

4.8 Besoins des pays en voie de développement

Le CIPM a reconnu que le BIPM doit trouver de nouveaux moyens pour aider les pays en voie de développement à renforcer leurs systèmes de mesure nationaux. Ce but peut être atteint en partie en collaborant avec l'OIML qui a déjà un Conseil de développement qui traite les besoins des pays en voie de développement. Dans ce but, le BIPM, en collaboration avec l'OIML et l'IMEKO participera, au mois de juin 1998, à un séminaire organisé par la Physikalisch-Technische Bundesanstalt dans ses locaux, à Braunschweig en Allemagne, séminaire dont le thème est *Le rôle de la métrologie dans le développement économique et social*.

Plusieurs des initiatives annoncées dans ce rapport accroîtront les chances des pays en voie de développement d'être associés au travail du BIPM, en particulier

ceux qui sont déjà membres de la Convention du Mètre. Par exemple, les réunions régulières entre les directeurs des LNM, les membres du CIPM et les personnes responsables du BIPM sont ouvertes aux pays en voie de développement tout comme aux autres États possédant déjà des systèmes de mesure bien établis, pour peu qu'ils appartiennent à la Convention du Mètre. La décision d'admettre des observateurs, en plus des membres, aux réunions des Comités consultatifs augmentera l'interaction entre le BIPM et les LNM les moins avancés. Ainsi qu'il a été indiqué à la section 4.4, il est très important de noter que la coordination des comparaisons clés du BIPM et des organisations régionales fournit une possibilité permanente pour les pays en voie de développement d'évaluer leur compétence dans le domaine des mesures, par rapport à des repères internationaux, et d'acquérir une plus grande reconnaissance de leur aptitude.

Une autre initiative que le BIPM va prendre est l'établissement de relations à haut niveau avec les agences mondiales de financement telles que la Banque mondiale et les banques de développement régionales pour les conseiller dans l'attribution des fonds destinés à renforcer les structures de la métrologie des pays en voie de développement. Un objectif important est d'amener l'appréhension des activités métrologiques à un niveau tel qu'on les considère comme une composante du développement économique.

5 Rôle du BIPM au cours des premières décennies du 21^e siècle

La Convention du Mètre fournit le fondement officiel d'un accord mondial sur le mesurage dans l'industrie, le commerce et le négoce, la science et l'ingénierie, les communications, la médecine et essentiellement toutes les activités d'un État moderne, incluant la santé et la sécurité. La Convention a dû son origine vers la fin du 19^e siècle, à une époque où le commerce prenait de plus en plus d'importance pour les produits manufacturés, au fait qu'on avait reconnu la nécessité d'un accord international sur les unités de mesure. Elle est maintenant un maillon essentiel de l'infrastructure technique du monde moderne. Le BIPM est l'outil principal de la Convention pour atteindre ces objectifs et puisque, dans les États membres, la gamme d'activités qui nécessitent des mesures exactes et uniformes augmente plutôt qu'elle ne décroît, on peut prévoir une expansion considérable du rôle et de la portée des activités du BIPM. On doit cependant reconnaître que les contraintes économiques des États membres et une politique très générale de ne pas augmenter les dépenses militent contre une telle expansion. Le CIPM a donc examiné plusieurs scénarios concernant l'avenir du BIPM, envisageant soit l'augmentation de son activité et de sa dotation afin de pourvoir à l'accroissement de la demande, soit les conséquences d'une réduction de plusieurs parties de son programme et même d'une réduction de son budget global. Il est important de noter qu'en menant cette étude, le CIPM était conscient du fait que le point en cause n'est pas de savoir si le travail accompli par le BIPM doit être fait – l'accord est unanime sur ce point – mais s'il peut être effectué de façon plus efficace, soit au BIPM soit ailleurs, et comment il pourrait être exécuté de la manière la plus économique.

L'activité du BIPM, à l'heure actuelle, entre dans deux grandes catégories.

- Il assure un secrétariat administratif et scientifique afin de coordonner les collaborations internationales entreprises sous les auspices de la Convention du Mètre.
- Il fonctionne comme un laboratoire scientifique qui associe un travail à la fois de service et de recherche scientifique dans le domaine de la métrologie.

À la connaissance du CIPM, tout le monde s'accorde pour reconnaître que le rôle du BIPM en tant que secrétariat administratif et scientifique est essentiel. Le CIPM estime que le BIPM ne pourrait pas jouer ce rôle efficacement s'il ne possédait pas de laboratoire et s'il ne menait pas des programmes actifs de travail

scientifique. Cette idée a toujours été celle du CIPM ; elle a été confortée par de nombreux États membres lors des Conférences générales successives, et elle n'est pas remise en cause ici. Il est opportun cependant de souligner ici quelques-uns des principaux arguments en faveur de cette politique.

- De nombreux gouvernements considèrent qu'il y a une importance stratégique à maintenir l'indépendance de l'infrastructure technologique et métrologique de leur pays et, quand ils ont besoin de traçabilité internationale, ils préfèrent se référer à un laboratoire international indépendant et ne pas être contraints de dépendre de LNM étrangers. En particulier abandonner le travail de laboratoire au BIPM aurait pour conséquence la désignation par les États membres d'un ou de plusieurs LNM pour conserver et disséminer le Prototype international du kilogramme, l'échelle mondiale de temps, le Système international de référence pour les mesures de radioactivité, et ainsi de suite. Tous les LNM qui actuellement s'appuient sur les étalonnages du BIPM afin d'assurer la traçabilité de leurs étalons nationaux, devraient compter sur des LNM étrangers. De même, le transfert considérable de technologie et de conseils techniques liés aux étalons fondamentaux, qui sont à présent fournis aux LNM par le personnel scientifique du BIPM lors des comparaisons internationales, devraient être obtenus d'un autre laboratoire national. La confiance en des comparaisons internationales menées et analysées objectivement et impartialement déclinerait inévitablement si l'implication des scientifiques du BIPM compétents et indépendants devait cesser.
- Si l'on veut parvenir économiquement à l'uniformité mondiale des mesures, la collaboration internationale requise, y compris les comparaisons d'étalons nationaux, doit être multilatérale plutôt que bilatérale. Coordonner les collaborations multilatérales est une des forces du BIPM, mais pour poursuivre cette action avec succès, il faut absolument que le BIPM dispose d'un personnel scientifique composé d'experts de très haut niveau. Environ une centaine d'organisations et de laboratoires, tout autour du monde, participent au travail des neuf Comités consultatifs et, rien qu'en 1997, quelque cent-soixante-dix experts de laboratoires nationaux sont venus au BIPM assister aux réunions de six de ces Comités. Si le BIPM devait perdre son aptitude à coordonner ces activités multilatérales, la collaboration entre ces cent laboratoires devrait être bilatérale ou régionale, avec des liens inter-régionaux. Chacune de ces solutions serait beaucoup moins efficace et plus coûteuse que le système actuel mis en place par le BIPM. Il est d'ailleurs peu probable que les LNM soient disposés à prendre en charge les programmes et les responsabilités scientifiques du BIPM sans contrepartie financière des États membres, en particulier vu les pressions exercées sur beaucoup d'entre eux pour avoir un comportement plus commercial.

Le BIPM doit par conséquent conserver son personnel scientifique et continuer d'être un laboratoire scientifique actif.

Le CIPM, ayant décidé que l'abandon du travail de laboratoire au BIPM n'est pas une option viable, a poursuivi son étude en examinant plusieurs scénarios pour

maintenir à la fois les fonctions de secrétariat et de laboratoire du BIPM face aux contraintes économiques et à l'évolution des besoins de l'ensemble des LNM. Il a revu le texte, reproduit ici dans l'Annexe A, qu'il avait adopté en 1984 pour résumer le rôle du BIPM, et l'a modifié comme suit :

Rôle du BIPM au cours des premières décennies du 21^e siècle

La mission du BIPM est d'assurer l'uniformité mondiale des mesures.

Le BIPM doit mener à bien cette mission à la fois en fournissant la base physique nécessaire à une telle uniformité et en collaborant avec d'autres institutions et organisations qui ont des missions connexes. Par conséquent, ses tâches principales sont :

- maintenir au meilleur niveau et disséminer le Système international d'unités (SI) ;
- conserver et disséminer l'étalon primaire de masse, le Prototype international du kilogramme ;
- établir et disséminer le Temps atomique international et, en collaboration avec les organisations astronomiques appropriées, le Temps universel coordonné ;
- constituer un centre pour les comparaisons internationales des réalisations physiques d'autres unités de base et dérivées du SI, pour autant qu'il le faudra, afin de couvrir les besoins de l'ensemble des laboratoires nationaux de métrologie (LNM) ; effectuer ses propres réalisations dans les cas particuliers où c'est plus avantageux et participer au développement des méthodes primaires de mesure en chimie ;
- collaborer avec les Comités consultatifs et les organisations régionales de métrologie pour identifier les comparaisons clés internationales indispensables pour évaluer le degré d'équivalence des étalons nationaux, et faire le nécessaire pour que ces comparaisons soient menées à bien ;
- publier les résumés des résultats disponibles de toutes les comparaisons multilatérales et bilatérales incluant celles des LNM et du BIPM et publier des évaluations du degré d'équivalence des étalons nationaux dans la mesure où il aura été ainsi établi ;
- mettre en place et assurer le suivi, au nom des États membres, d'un accord de reconnaissance mutuelle des étalons nationaux et des certificats d'étalonnage émis par les LNM ;
- renforcer la traçabilité des étalons nationaux de mesure des États membres en effectuant chaque fois que c'est réalisable les étalonnages demandés par les LNM ;
- entreprendre des travaux de recherche scientifique liés aux unités de mesure et aux étalons, y compris les recherches fondamentales appropriées et la détermination de constantes physiques ;

- collaborer avec d'autres organismes internationaux ayant des missions connexes, y compris mais pas seulement, les organisations régionales de métrologie, l'International Laboratory Accreditation Cooperation, l'Organisation internationale de métrologie légale, l'Organisation internationale de normalisation et la Commission électrotechnique internationale, pour s'assurer avec elles que les documents fondamentaux nécessaires à l'uniformité des mesures, tels ceux sur le vocabulaire métrologique et sur l'expression des incertitudes de mesure, sont mis à jour et largement disséminés ;
- assurer le secrétariat scientifique et administratif de la Conférence générale des poids et mesures, du Comité international des poids et mesures et de ses Comités consultatifs.

En plus de ce résumé, le CIPM a pris vingt et une décisions spécifiques qui traitent du rôle du BIPM ; elles sont données à la section suivante du présent rapport.

6 Décisions prises par le CIPM

À l'occasion des discussions pour la préparation de ce rapport, le CIPM a pris les décisions données ci-après sur le rôle futur du BIPM et des Comités consultatifs. Certaines de ces décisions sont essentiellement des confirmations d'une politique précédente, d'autres apportent des éléments importants d'une nouvelle politique.

Le rôle primordial du BIPM en matière de métrologie

1. Le BIPM doit continuer à jouer son rôle mondial de premier plan qui consiste à garantir l'uniformité des mesures. Il doit améliorer et promouvoir le Système international d'unités (SI), prévoir les nouveaux besoins, améliorer les étalons et mettre en place une banque de données d'accès aisé, afin de communiquer le degré avec lequel les étalons nationaux de différents pays sont équivalents entre eux.
2. Le BIPM doit rendre plus facile la communication au niveau le plus élevé avec ses principaux interlocuteurs que sont les LNM des États membres. Pour cela, il lui faut organiser des réunions régulières des directeurs de ces laboratoires avec les membres du CIPM et le personnel responsable du BIPM afin de débattre des problèmes majeurs de la métrologie mondiale.

Activités de laboratoire du BIPM

3. Le BIPM doit entreprendre un ensemble de recherches liées aux unités et aux étalons afin de créer l'environnement de recherche active nécessaire pour attirer et retenir des scientifiques de premier plan capables de travailler avec leurs homologues les plus éminents des LNM, d'être respectés comme égaux voire comme chefs de file. Cette condition est essentielle pour que le BIPM mène à bien sa mission. On peut y inclure de la recherche fondamentale associée et des déterminations de constantes physiques. L'effort total du laboratoire du BIPM doit au minimum être maintenu à son niveau actuel, qui est à peine au-dessus du seuil nécessaire pour disposer d'une équipe viable.
4. Le travail de laboratoire doit être poursuivi dans le domaine des masses, du temps et des fréquences, en raison des responsabilités uniques du BIPM concernant le Prototypage international du kilogramme, le TAI et l'UTC.

5. Le Système international de référence (SIR), mis en place par le BIPM depuis de nombreuses années pour les mesures d'activité en radionucléides, fournit la base mondiale pour assurer l'équivalence des étalons nationaux d'activité. On continuera à soutenir cette action.
6. Les autres activités courantes du BIPM – principalement dans les domaines des longueurs, de l'électricité, des rayonnements ionisants, de la radiométrie et de la photométrie – continuent d'apporter d'importantes contributions à l'uniformité des mesures et aux programmes correspondants sur les étalons dans les LNM. Cependant, le BIPM est trop petit pour participer à toutes les branches de la métrologie et ses domaines d'activité doivent être modifiés de temps en temps pour refléter les besoins changeants de l'ensemble des LNM.
7. Le BIPM doit commencer un petit programme de laboratoire sur des aspects soigneusement choisis dans le domaine de la métrologie en chimie. Il s'agit d'être plus à même d'aider le Comité consultatif pour la quantité de matière et fournir un point d'ancrage au monde de la chimie, afin de renforcer la traçabilité des mesures chimiques aux unités SI. Cette nouvelle activité nécessite une équipe d'environ quatre personnes.
8. Le BIPM doit poursuivre sa mission auprès des LNM des États membres afin de renforcer la traçabilité de leurs étalons nationaux. Pour cela, il doit effectuer des étalonnages chaque fois qu'il en a la possibilité.

Équivalence des étalons nationaux

9. Le BIPM va collaborer avec les Comités consultatifs afin d'identifier dans chaque domaine de la métrologie les comparaisons internationales de mesures, appelées comparaisons clés du BIPM, qui sont nécessaires pour évaluer le degré d'équivalence des étalons nationaux. Il apportera son aide aux Comités consultatifs pour organiser périodiquement de telles comparaisons entre les meilleurs laboratoires nationaux dudit domaine, et en s'assurant chaque fois que cela est possible que plusieurs, et au moins deux LNM participants proviennent de chaque organisation régionale de métrologie.
10. Les relations entre le BIPM et les organisations régionales de métrologie doivent être consolidées et l'accord des coordonnateurs des grandes organisations régionales de métrologie recherché, en vue de la création d'un comité commun aux organisations régionales de métrologie et au BIPM, que présidera le directeur du BIPM. Le BIPM doit encourager les organisations régionales de métrologie à organiser des comparaisons clés régionales, synchronisées avec les comparaisons clés du BIPM, pour faire en sorte que les comparaisons mondiales des étalons nationaux regroupent autant de LNM que possible. Il devra également encourager les pays qui ne participent pas encore à des accords régionaux de métrologie, soit à rejoindre des organisations régionales existantes soit à en former de nouvelles là où ce serait nécessaire.
11. Le BIPM continue sa politique qui consiste à publier dans *Metrologia* des résumés de résultats accompagnés d'une analyse circonstanciée, pour toutes

les comparaisons de mesures des LNM et du BIPM, en particulier ceux des comparaisons clés du BIPM ou des organisations régionales.

12. Les Comités consultatifs devront déterminer à partir des résultats de chaque comparaison clé du BIPM une valeur de référence de la comparaison clé. L'écart de la valeur déclarée par chaque participant à une comparaison clé (du BIPM, régionale ou bilatérale) par rapport à la valeur de référence doit être évalué, ainsi que son incertitude. Le BIPM publiera comme service aux LNM des États membres, sous forme électronique, un historique exhaustif des résultats individuels des comparaisons clés et de leurs écarts par rapport aux valeurs de référence des comparaisons clés. Cet historique sera accessible au monde entier, par Internet.
13. En collaboration avec les directeurs des LNM et les coordonnateurs des organisations régionales de métrologie, le BIPM va mettre en place et assurer le suivi d'un accord pour la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux et des certificats d'étalonnages émis par les LNM, et il invitera les directeurs des laboratoires à être signataires de cet accord.

Les Comités consultatifs du CIPM

14. Les critères d'appartenance aux Comités consultatifs ont été revus par le CIPM (*voir* Annexe C). Les missions des Comités consultatifs doivent être élargies, et si nécessaire un ou deux Comités consultatifs supplémentaires créés, afin de traiter tous les domaines principaux de la métrologie pour lesquels l'équivalence internationale des étalons et la coopération entre les LNM sont importants.
15. L'Annexe D propose un modèle de missions d'un Comité consultatif type, bien que ces missions puissent varier considérablement d'un Comité consultatif à un autre. L'accent est porté sur la planification des comparaisons clés, la critique et l'analyse des résultats, et l'évaluation du degré d'équivalence des étalons nationaux.
16. La dénomination de quatre Comités consultatifs a été modifiée afin de donner une indication plus claire de leur activité (*voir* Tableau 2). La création d'un Comité consultatif dans le domaine de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations est envisagée.
17. La coordination de la recherche sur les étalons dans les LNM doit continuer d'être une activité importante des Comités consultatifs. Il faudra réfléchir, lors des réunions des Comités consultatifs, à la possibilité de partager quelques-uns des équipements les plus coûteux.
18. Au vu de leurs responsabilités croissantes, les Comités consultatifs doivent demeurer actifs et poursuivre un programme de travail entre les réunions : le BIPM leur fournit le support d'un secrétariat central et un membre du personnel scientifique du Bureau est désigné comme secrétaire exécutif.

Coopération avec les organisations internationales

19. Le BIPM, en tant qu'organisation internationale au sommet de la métrologie, doit organiser des réunions périodiques à un niveau élevé entre des représentants du BIPM, du BIML, de l'ISO, de la CEI et de l'ILAC. L'objectif de ces réunions doit être, entre autres :
 - de s'assurer que les missions des cinq organisations dans les domaines de la mesure et de la métrologie sont complémentaires, mais que toutes réunies, elles assurent totalement l'unification mondiale des étalons ;
 - d'établir une stratégie pour informer les gouvernements des États et les organisations internationales appropriées de l'importance croissante des mesures et de la métrologie ;
 - de passer en revue les documents de référence internationaux, guides et autres documents, qui peuvent faire progresser l'uniformité des mesures en métrologie et d'identifier les besoins en documentation supplémentaire ainsi que les organismes les plus appropriés pour en prendre la responsabilité ;
 - de trouver des initiatives communes pour assister en matière de métrologie les pays en voie de développement, y compris par le renforcement des relations avec les agences internationales de financement telles que la Banque mondiale et les banques de développement régionales.
20. Le BIPM va entretenir avec l'ILAC des rapports étroits et permanents et collaborer avec cet organisme à de vastes sujets comme l'équivalence des étalons nationaux et les critères de traçabilité des mesures. Il devrait encourager l'accueil du nouveau secrétariat de l'ILAC au BIPM.
21. Le BIPM cherchera à travailler en collaboration plus étroite avec le BIML, en tenant particulièrement compte des recommandations émises par le groupe de travail commun du CIPM et du CIML.

7 Engagements financiers demandés aux États membres de la Convention du Mètre

Ce rapport va maintenant traiter des engagements financiers qui seront demandés aux États membres de la Convention du Mètre au cours des prochaines décennies afin de mettre en œuvre efficacement la stratégie et les décisions énoncées plus haut. Ces engagements entrent dans trois catégories.

- La première catégorie est la dotation annuelle que chaque État membre s'engage à payer au BIPM. Celle-ci représente un engagement financier direct. Une dotation totale pour chaque année est déterminée par avance par la Conférence générale des poids et mesures après examen du programme de travail du BIPM ; elle est répartie entre les États membres par une procédure approuvée par la Conférence générale et fondée sur le barème des quotes-parts de l'Organisation des Nations Unies pour la répartition des contributions.
- La deuxième catégorie est constituée des coûts supplémentaires induits, pour chaque État membre, par sa collaboration aux programmes de travail du CIPM, du BIPM et des Comités consultatifs. La plus grande partie des dépenses liées à cette collaboration est financée par les LNM, particulièrement lors de leur participation à des comparaisons internationales de mesures et à d'autres travaux au sein des Comités consultatifs.
- La troisième catégorie concerne l'augmentation de frais auxquels les États membres peuvent être amenés à faire face dans leur propre pays pour répondre à l'exigence accrue de fiabilité dans le domaine de la métrologie, exigence qui est prévisible dans un certain nombre de domaines nouveaux.

Les besoins futurs sont décrits ci-après pour chacune de ces trois catégories.

7.1 Dotation annuelle du BIPM

Avant de discuter du montant de la dotation pour les prochaines décennies, les données de la période 1980-1996 sont analysées brièvement afin de dégager les tendances récentes. Au cours de cette période, la dotation totale fixée par la Conférence générale est passée de 7 475 000 francs-or à 25 918 000 francs-or. Si l'indice de l'inflation française est pris en compte et les deux montants exprimés en francs-or de 1996, l'augmentation a été de 15 548 000 francs-or à 25 918 000 francs-or. La dotation a donc augmenté sur la période d'approximativement 66,7 % en valeur réelle. Le pourcentage de la dotation réellement perçu

chaque année par le BIPM s'est établi entre 85,95 % et 116,10 % et en moyenne à 99,31 %. Il convient de remarquer que le nombre de personnes employées (cotisant à la caisse de retraite du BIPM) est passé de 50 en 1980 à 68 en 1991, ce qui représente une augmentation de 36 %. Notons, toutefois, qu'en 1996 le personnel a été temporairement réduit à 65 personnes pour faire face à une crise financière temporaire due à la dissolution de l'URSS. L'accroissement était dû en partie à la prise en charge par le BIPM, en 1985, de la responsabilité du TAI. De plus, le niveau de qualification du personnel s'est accru de façon significative au cours de cette période. Ainsi, par exemple, le nombre de personnes titulaires du doctorat est passé de 9 en 1980 à 21 en 1996. De plus, la complexité des équipements de laboratoire s'est considérablement accrue, les principales innovations concernent le laboratoire des lasers, le radiomètre cryogénique, les dispositifs d'effet Josephson et d'effet Hall quantique et le laboratoire du temps.

En 1995, la 20^e Conférence générale a fixé comme suit la dotation du BIPM pour les années 1997-2000 :

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.

Ces montants correspondent à une augmentation de 4,5 % par an et ont été décidés après avoir pris en compte l'augmentation des cotisations à la caisse de retraite du BIPM, l'entretien et la rénovation des bâtiments, le montant prévisible de l'inflation en France et les coûts additionnels engendrés par la complexité grandissante de la métrologie.

Portons maintenant notre attention sur le niveau de dotation à prévoir pour les premières décennies du 21^e siècle, et plus particulièrement pour les périodes quadriennales 2001-2004 et 2005-2008. Les dotations annuelles pour ces périodes seront déterminées par la 21^e Conférence générale en 1999 et la 22^e Conférence générale en 2003.

Les décisions du CIPM reproduites à la Section 6 de ce rapport préfigurent un certain nombre de nouvelles activités du BIPM, qui engendreront des dépenses importantes. On peut citer :

- la décision de démarrer un programme de laboratoire de métrologie en chimie avec une équipe d'environ quatre personnes, dont la plupart et peut être toutes devront être recrutées à l'extérieur, et
- les décisions concernant l'équivalence des étalons nationaux et les comparaisons clés, qui augmenteront sensiblement la charge de travail administratif des responsables scientifiques faisant fonction de secrétaires exécutifs des Comités consultatifs ; ceci nécessitera l'adjonction d'une ou deux personnes en soutien administratif.

Les coûts engendrés par ces deux nouvelles activités peuvent être résumés comme suit. Le programme de laboratoire de métrologie en chimie fera passer de

six à sept le nombre de sections scientifiques au BIPM. Le programme proposé est d'environ la même taille que celui déjà existant dans les sections où travaillent trois physiciens et un technicien. Cette configuration correspond au minimum viable. Le coût direct de fonctionnement permanent sera d'environ 8 % du budget annuel. Les travaux de rénovation des salles de laboratoire sont estimés à environ 1,5 millions de francs-or, et l'investissement initial en équipement est d'environ 3 millions de francs-or. On peut espérer qu'une grande partie de l'équipement proviendra de dons de laboratoires nationaux ou d'entreprises privées ; les autres dépenses de démarrage seront prises sur les réserves. Le soutien administratif apporté par une ou deux personnes supplémentaires pour le programme des comparaisons clés induira un coût supplémentaire d'environ 3 %. Le coût total de ces deux nouvelles activités sera donc de 10 % à 11 % du budget annuel.

Le CIPM pense que cette augmentation du coût de fonctionnement peut, avec une gestion rigoureuse, être compensée par des économies budgétaires correspondantes de 10 % à 11 %. L'achèvement, en 2000, du programme à long terme de construction de bâtiments devrait réduire de manière significative les dépenses du BIPM dans les décennies à venir. Ce programme a représenté environ 4 % du budget annuel du BIPM en moyenne, depuis le début des années 1980, date à laquelle le CIPM avait pris cette décision. Ce programme comprenait la construction d'un nouveau laboratoire pour les activités des lasers, d'un nouveau bâtiment administratif, comprenant une bibliothèque et des bureaux, et d'un nouvel atelier de mécanique pour remplacer les locaux actuels qui ne sont pas adaptés. Les bâtiments des lasers et de l'administration sont terminés, et utilisés depuis longtemps déjà, et la construction des nouveaux ateliers, en cours, terminera le programme. On ne prévoit pas de construire de nouveaux bâtiments au cours des prochaines décennies. Des rénovations et divers travaux d'entretien des bâtiments existants seront nécessaires, mais leur coût et l'entretien général des bâtiments sont normalement pris en compte dans le budget du BIPM. Les économies supplémentaires nécessaires de 6 % à 7 % ne peuvent être réalisées que par une meilleure efficacité et en cessant ou en réduisant certaines activités. Il faut se souvenir que des économies significatives sur le budget général ne peuvent intervenir que par des réductions de personnel, puisque quelques 40 % du budget correspondent aux salaires directs, et 20 % supplémentaires aux retraites, primes d'expatriation, allocations familiales et assurances médicales ou autres. Le directeur a déjà effectué des diminutions de personnel et réalisé d'autres économies liées à un gain d'efficacité, mais il faudra faire davantage pour atteindre le niveau d'économies fixé. On pense qu'il est possible d'atteindre cet objectif par des économies d'ordre général sans arrêter un seul des programmes en cours mais à l'avenir, il n'y aura plus de place pour des économies non sélectives.

Un autre sujet de préoccupation budgétaire pour l'avenir est le versement annuel pour la caisse de retraite, qui est en constante augmentation, afin de faire face au doublement du nombre des retraités du BIPM au cours de la période 1994-2010. En réponse à une étude actuarielle de la caisse de retraite, le CIPM avait décidé entre autres en 1994 d'augmenter progressivement l'allocation chaque année de 1996 à 2008 d'une somme équivalente à 2 % des salaires (ce qui équivalait à ce moment-là à environ 1 % du budget total annuel du BIPM). Ceci fut voté par la

20^e Conférence générale des poids et mesures pour les dotations des années 1997-2000. La non reconduction de cette disposition par les Conférences générales de 1999 et de 2003 conduira à une réduction progressive des autres postes budgétaires du BIPM après l'an 2000.

Le CIPM, face à cette situation, a étudié avec le directeur du BIPM plusieurs scénarios possibles concernant le niveau de la dotation annuelle au cours de la décennie 2001-2010.

- Le premier scénario considéré est une dotation constante en valeur réelle tout au long de la décennie, équivalente à celle qui a déjà été votée pour l'an 2000. Des mesures efficaces d'économie et de réduction telles que celles indiquées plus haut, permettraient de poursuivre pendant quelques années les activités du BIPM, existantes et nouvelles. Cependant, à partir de 2006, il faudrait réduire les dépenses d'au moins 5 % pour équilibrer le budget. Si l'on tient compte des efforts déjà faits, des réductions de cette importance nécessiteraient de diminuer le programme scientifique. Une des options à considérer serait la fermeture d'une des sections scientifiques.
- Le deuxième scénario suit toujours une dotation constante, mais à un niveau 5 % plus élevé en valeur réelle que celui de 2000. Ce scénario devrait permettre de poursuivre les activités actuelles et nouvelles tout au long de la décennie. Il faudrait toujours réaliser des économies et restreindre les programmes scientifiques, comme indiqué plus haut, mais ces décisions seraient moins sévères et ne devraient pas être décidées avec la même urgence que dans le premier scénario.
- Il faut également examiner les conséquences d'une baisse réelle de la dotation. Une baisse de 10 % en valeur réelle à partir de 2001 signifierait une réduction immédiate de personnel de six ou sept personnes, par la fermeture d'une ou plusieurs sections scientifiques. En 2005 une autre section scientifique devrait probablement disparaître. Des baisses de 20 % ou de 30 % doubleraient ou tripleraient respectivement l'importance des réductions de personnel qui devraient être faites immédiatement. Une baisse de 30 % signifierait une réduction de moitié du programme scientifique actuel et il se pourrait que dans ce cas le BIPM ne soit plus viable en tant que laboratoire scientifique. Il serait alors difficile de recruter des scientifiques de haut niveau dans un institut ayant un programme si restreint, et disposant de trop peu de personnel scientifique pour atteindre la masse intellectuelle critique. Le CIPM insiste sur le fait que, s'il est vrai que certains LNM ont déjà fait face à de telles baisses de financement, le BIPM est déjà une petite institution qui fonctionne à la limite la plus basse de survie du point de vue des ressources financières et intellectuelles. De telles coupures auraient des conséquences disproportionnées sur l'activité du BIPM.

À la lumière de l'analyse résumée ci-dessus, le CIPM envisage de recommander à la 21^e Conférence générale de 1999 que la dotation annuelle du BIPM demeure constante en valeur réelle au cours de la période quadriennale 2001-2004, au niveau déjà fixé par la 20^e Conférence générale pour l'an 2000. Tout en recon-

naissant les contraintes économiques actuelles des États membres, ceci permettrait de poursuivre les programmes scientifiques en cours et de débiter les nouveaux, bien qu'avec un budget serré. À la 22^e Conférence générale en 2003, le CIPM se trouvera devant un choix difficile : soit recommander le maintien d'une dotation constante pendant la période 2005-2008 et, en conséquence, réduire le programme scientifique du BIPM, soit recommander une augmentation de la dotation d'environ 5 % en valeur réelle. Il vaut mieux différer cette décision jusqu'au moment où la situation économique sera plus claire et les détails du budget du BIPM seront mieux connus pour cette période. Il ne faut pas non plus exclure la possibilité qu'en 2003 la pression exercée par les États membres pour entreprendre de nouveaux programmes de travail soit telle que le CIPM propose une augmentation plus élevée de la dotation.

Les prévisions pour les décennies suivantes sont plus difficiles. Les versements à la caisse de retraite ne devraient pas continuer d'augmenter après l'année 2008 mais, d'ici là, la caisse de retraite fera l'objet d'un autre rapport actuariel. Il ne fait aucun doute que le BIPM sera conduit à entreprendre de nouveaux programmes pour lesquels il aura besoin de recruter du personnel : des exemples probables sont les programmes liés à la future redéfinition du kilogramme ou bien à la réalisation de l'ampère fondée sur un effet quantique. Il est impossible de prévoir en détail les développements à venir de la science mais le BIPM se doit d'être toujours prêt à s'adapter pour en bénéficier. Même s'il est possible, en réduisant d'autres programmes et en redéployant le personnel actuel, d'entreprendre d'autres programmes scientifiques tout en conservant la même dotation en valeur réelle, il est trop tôt pour prendre une quelconque décision définitive en la matière.

7.2 Autres coûts de participation à la Convention du Mètre

En plus du paiement de la dotation annuelle du BIPM, chaque État membre doit prendre en charge d'autres frais liés à sa participation aux travaux menés sous l'égide de la Convention du Mètre. Citons quelques-unes des activités qui entraînent des coûts supplémentaires :

- participation aux réunions de la Conférence générale, du Comité international et des Comités consultatifs ;
- participation aux comparaisons internationales de mesures et autres programmes de coopération entre laboratoires, principalement organisées par les Comités consultatifs et leurs groupes de travail ;
- dons occasionnels d'équipements importants au BIPM, tels le tour moderne à pointe de diamant récemment donné par le Japon et la balance de précision donnée précédemment par les États-Unis ; et
- frais occasionnels pour des visiteurs scientifiques au BIPM.

L'émergence des organisations régionales de métrologie au cours des dernières décennies fait aussi appel aux ressources des LNM qui participent à leurs comparaisons de mesures et autres activités.

L'introduction des comparaisons clés du BIPM et des comparaisons clés régionales augmentera de manière significative le nombre de comparaisons entreprises par de nombreux laboratoires nationaux. S'il est vrai que chaque laboratoire national est le mieux placé pour évaluer sa propre charge financière, il apparaît clairement qu'il n'y a pas de moyen plus rentable de déterminer le degré d'équivalence des étalons nationaux sur le plan mondial. De plus, l'extension des domaines de la métrologie couverts par les Comités consultatifs aura des implications financières pour les laboratoires nationaux participants, même si les nouveaux programmes ne seront probablement entrepris qu'après examen par les États membres des avantages qu'ils pourraient en tirer.

Il faut souligner que chaque État membre, par l'intermédiaire de son LNM, doit identifier soigneusement les Comités consultatifs, les comparaisons de mesures et autres activités régies par la Convention du Mètre dans lesquels il désire être impliqué. Cette précaution devrait permettre de donner la priorité aux activités jugées les plus importantes pour l'intérêt national des États membres et en même temps permettre de contenir les coûts supplémentaires dans des limites acceptables.

7.3 Impact des nouveaux domaines de la métrologie sur les États membres

Les sections 7.1 et 7.2 ont traité des coûts encourus par les États membres, du fait de leur appartenance à la Convention du Mètre et de leur participation à l'activité du BIPM.

Pour ce qui concerne les programmes métrologiques nationaux à l'intérieur des pays, il est évident que chaque État membre prend des décisions qui lui sont propres sur son futur niveau de ressources. Il faut cependant faire remarquer dans ce rapport que les implications financières des États membres seront significatives en fonction de la demande croissante d'une métrologie fiable dans de nouveaux domaines. Comme il a été remarqué ci-dessus, ces domaines s'étendront sans doute bien au-delà du périmètre traditionnel de la physique et de l'ingénierie et comprendront la métrologie pour la chimie, la biologie, la médecine, la santé, la sécurité, la protection de l'environnement, etc. Les États membres vont être soumis à des pressions pour étendre leurs activités vers l'industrie et le commerce, sans parler de l'amélioration du bien-être de l'homme. Ceci amènera les États membres à dépenser davantage pour la réalisation des programmes de métrologie, ou bien à redistribuer leurs fonds par des réductions considérables et peut-être drastiques, de leurs programmes traditionnels.

Autant que le lui permettra son budget restreint, le BIPM sera un point central pour la coordination internationale des programmes des États membres et de leurs LNM dans ces nouveaux domaines. Si cependant le BIPM est maintenu à budget constant, sa contribution sera très limitée et la responsabilité de la coordination internationale devra être confiée en grande partie aux laboratoires nationaux eux-mêmes, et particulièrement à ceux qui sont de plus grande taille et les mieux équipés, une tâche qui impliquera un accroissement significatif de leur charge financière.

Annexe A. Document de 1984 traitant du rôle du BIPM

Au cours de sa réunion de 1984 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1984, 52, 7) le CIPM a débattu du rôle du BIPM dans les années 1980 et ses conclusions sont parues dans la Convocation de la 18^e Conférence générale (*BIPM Comptes rendus 18^e Conf. gén. poids et mesures*, 1987, 23) dans les termes suivants :

L'objectif du BIPM est de fournir les bases physiques nécessaires pour assurer l'uniformité des mesures dans le monde. En conséquence, ses missions principales sont les suivantes :

- conserver et disséminer l'unité de masse ;
- établir et disséminer le Temps atomique international et, en collaboration avec les organismes astronomiques appropriés, le Temps universel coordonné ;
- constituer un centre pour les comparaisons internationales des réalisations d'autres unités, unités de base ou unités dérivées, et pour la dissémination ultérieure de ces unités, suivant les besoins de l'ensemble des laboratoires nationaux de métrologie ; cela exige, entre autres, que dans divers domaines le BIPM conserve ses propres réalisations de certaines unités de base ou dérivées ;
- déterminer, éventuellement, la valeur de certaines constantes physiques étroitement liées à la définition, la réalisation ou la dissémination d'unités de base ou dérivées ;
- assurer le secrétariat scientifique et administratif de la Conférence générale des poids et mesures, du Comité international des poids et mesures et de ses Comités consultatifs ;
- lorsque certaines comparaisons internationales patronnées par les Comités consultatifs ne peuvent pas être prises en charge par le BIPM, fournir toute l'aide possible pour l'organisation de ces comparaisons ;
- s'assurer que les résultats de chaque comparaison internationale font l'objet d'un rapport circonstancié et que ces résultats, s'ils ne font pas l'objet d'une autre publication, sont publiés directement par le BIPM.

Pour assurer ces tâches avec l'efficacité et la qualité requises, le BIPM doit disposer d'un personnel scientifique, technique et administratif hautement qualifié, et de moyens appropriés, laboratoires, équipement, bibliothèque, atelier et autres installations.

Annexe B. Résolutions 1, 2, 3 et 11 de la 20^e CGPM, octobre 1995

■ 20^e CGPM, 1995, 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

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.

■ 20^e CGPM, 1995, Résolution 2 : Traçabilité des étalons au niveau mondial

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,

reconnait 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.

■ **20^e CGPM, 1995, Résolution 3 : Besoin de recherches métrologiques à long terme**

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.

■ **20^e CGPM, 1995, Résolution 11 : Métrologie, besoins à long terme**

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.

Annexe C. Critères d'appartenance aux Comités consultatifs du CIPM

Au cours de sa 85^e session en 1996, le CIPM a adopté de nouveaux critères d'appartenance aux Comités consultatifs (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 6) dans les termes suivants :

La composition des Comités consultatifs est décidée par le CIPM en consultation avec les présidents des Comités consultatifs et le directeur du BIPM.

Les laboratoires invités à être membres d'un Comité consultatif doivent être déjà reconnus comme étant les plus compétents au niveau international dans le domaine couvert par ce comité. Cela implique normalement :

- que ce soient des laboratoires nationaux chargés d'établir les étalons nationaux dans ce domaine ;
- qu'ils soient actifs dans le domaine de la recherche et aient publié dans des revues de recherche de réputation internationale ;
- que leur compétence ait été démontrée par leur participation à des comparaisons internationales organisées par le Comité consultatif, le BIPM ou une organisation régionale de métrologie.

En plus des laboratoires membres, les Comités consultatifs peuvent avoir pour membres :

- des personnes nominativement désignées dont les connaissances et la compétence dans le domaine sont telles qu'elles peuvent apporter une aide précieuse au Comité consultatif, même si elles viennent d'un laboratoire qui ne répond pas aux critères pour être membre du comité ;
- des unions internationales ou d'autres organisations internationales dont l'avis ou les compétences peuvent être utiles au Comité consultatif.

Les présidents des Comités consultatifs peuvent de temps à autre inviter des observateurs à assister aux réunions, y compris des représentants des laboratoires qui pourraient répondre aux critères mais qui ne sont pas encore membres.

En général, le laboratoire national de métrologie de chaque État membre de la Convention du Mètre qui le souhaite peut être membre ou observateur d'au moins un Comité consultatif.

Annexe D. Modèle de termes de référence d'un Comité consultatif type du CIPM (Comité consultatif pour X)

Le Comité consultatif pour X est responsable devant le CIPM et se voit confier par lui les responsabilités suivantes :

1. être la principale source de conseil dans les domaines suivants de la métrologie : X1, X2, X3, et plus particulièrement sur les questions traitant des unités, des étalons les plus aptes à répondre aux besoins mondiaux, et de la recherche de l'uniformité mondiale ;
2. être un lieu d'échange ouvert d'information sur les nouvelles avancées scientifiques et techniques dans les domaines de la métrologie couverts par le Comité consultatif, et sur les nouveaux besoins prévisibles des utilisateurs ;
3. décider dans quels domaines le Comité consultatif doit avoir un programme de travail actif et ceux dans lesquels il n'a qu'un rôle de surveillance, par exemple dans les domaines considérés comme ayant une faible priorité ou dont une autre organisation s'occupe déjà correctement ;
4. établir des groupes de travail pour l'aider dans certains aspects spécifiques de son programme ;
5. coordonner quand c'est possible le travail des LNM, admettant éventuellement une certaine duplication d'efforts, mais sans excès, organiser des projets communs et organiser des réunions préliminaires sur la possibilité de partager l'emploi et l'usage des investissements les plus coûteux ;
6. identifier dans chaque domaine un petit nombre de comparaisons internationales clés qui doivent être effectuées régulièrement afin de constater le degré d'équivalence des étalons nationaux conservés par les laboratoires nationaux, et décider de leur fréquence ;
7. organiser ces comparaisons entre les laboratoires nationaux compétents dans ce domaine, incluant lorsque cela est possible plusieurs, et au moins deux, LNM de chaque organisation régionale de métrologie, et déterminer une valeur de référence de la comparaison clé, à partir de l'analyse des résultats de chaque comparaison ;
8. déterminer à partir des analyses des résultats des comparaisons clés du BIPM, et de celles des comparaisons régionales et bilatérales correspondantes, l'écart

du résultat de chaque participant à partir de la valeur de référence de la comparaison clé et l'incertitude liée ;

9. aider le BIPM à choisir et établir son programme scientifique, le réviser périodiquement et informer le directeur du BIPM de tous les avis émis sur l'opportunité et la qualité de ce programme, et tenir le CIPM informé de nouveaux besoins pour lesquels une nouvelle activité de laboratoire au BIPM est considérée comme étant *a)* essentielle ou *b)* hautement souhaitable.

Sigles et abréviations utilisés dans ce rapport

Abréviations utilisées pour des organisations génériques

CC	Comité consultatif du Comité international des poids et mesures (<i>voir</i> Tableau 2 pour les CC spécifiques)
LNM	Laboratoire national de métrologie
ORM	Organisation régionale de métrologie

Autres sigles

ACCSQ	ASEAN Consultative Committee on Standards and Quality
AIDMO	Arab Industrial Development and Mining Organization
ANDIMET	Coopération métrologique andine (Bolivie, Colombie, Équateur, Pérou et Venezuela)
APLAC	Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation
APLMF	Asia-Pacific Legal Metrology Forum
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARSO	African Regional Standards Organization
BIML	Bureau international de métrologie légale
BIPM	Bureau international des poids et mesures
CAMET	Coopération métrologique de l'Amérique Centrale (Belize, Costa-Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua et Panama)
CARIMET	Organisation métrologique des Caraïbes (Antigua et Barbuda, la Barbade, Bahamas, la Dominique, République dominicaine, Grenade, la Guyane, Haïti, Jamaïque, St Kitts et Nevis, Sainte Lucie, Saint Vincent et Grenadines, Surinam et Trinité et Tobago)
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEN	Comité européen de normalisation
CENELEC	Comité européen de normalisation en électrotechnique
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIGRE	Conférence internationale des grands réseaux électriques à haute tension
CIML	Comité international de métrologie légale
CIPM	Comité international des poids et mesures

COOMET	Coopération métrologique entre les États d'Europe centrale
COPANT	Panamerican Standards Commission
EA	European Cooperation for Accreditation
EUROMET	European Metrology Cooperation
IAAC	Inter-American Accreditation Cooperation
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IFCC	International Federation of Clinical Chemistry
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
IMEKO	International Measurement Confederation
ISO	Organisation internationale de normalisation
NACC	North American Calibration Cooperation
NORAMET	North American Metrology Cooperation
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
PASC	Pacific Area Standards Congress
SADCMET	Southern African Development Community Cooperation in Measurement Traceability
SADCSTAN	Southern African Development Community Standardization Cooperation
SALMEC	Southern African Legal Metrology Cooperation
SARAC	Southern African Regional Accreditation Cooperation
SI	Système international d'unités
SIM	Système interaméricain de métrologie
SURAMET	Coopération métrologique sud-américaine (Argentine, Brésil, Chili, Paraguay et Uruguay)
TAI	Temps atomique international
UAI	Union astronomique internationale
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée
UIPPA	Union internationale de physique pure et appliquée
UTC	Temps universel coordonné
WELMEC	West European Legal Metrology Cooperation