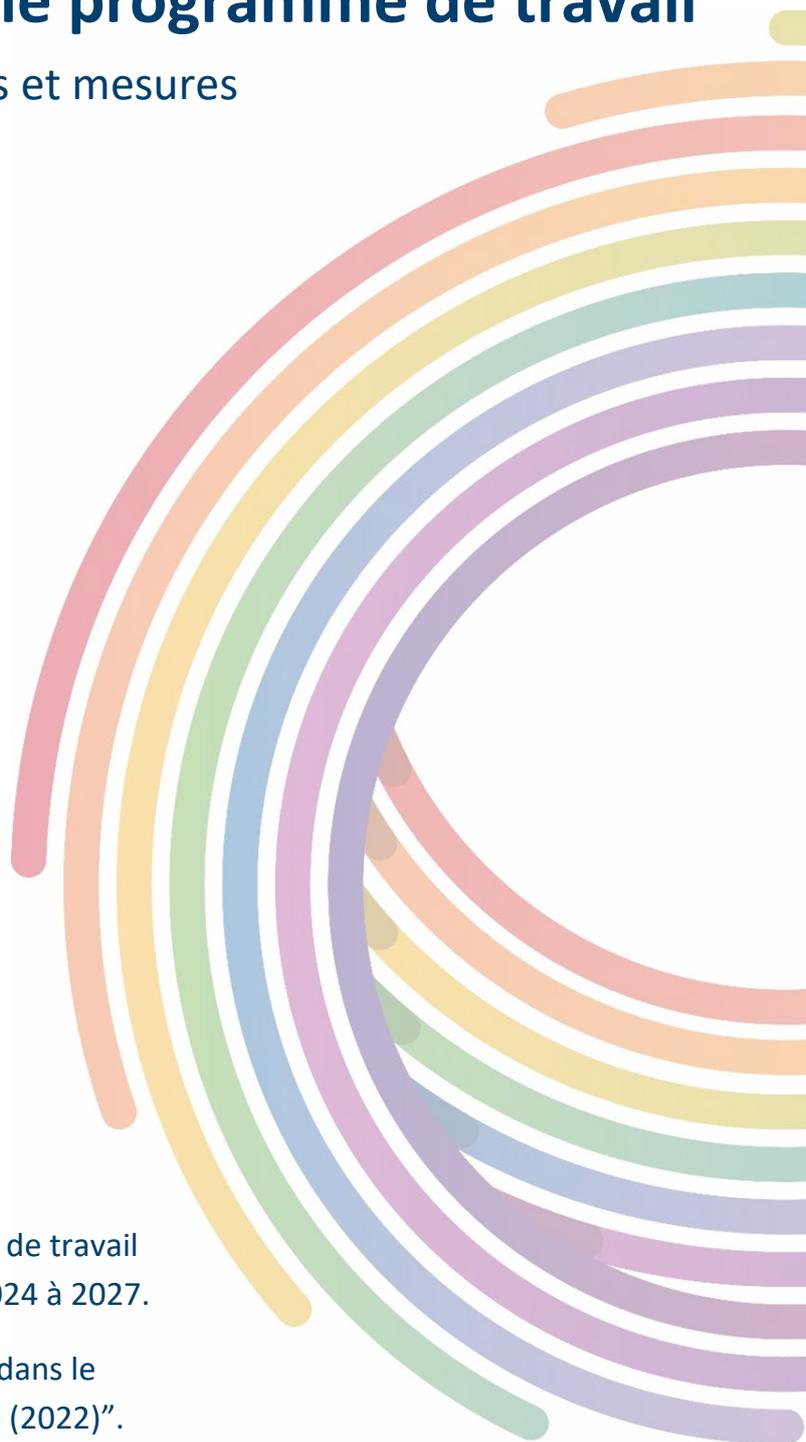


# Projets proposés dans le programme de travail

du Bureau international des poids et mesures  
pour les années 2024 à 2027

Ce document décrit les projets du programme de travail  
du siège du BIPM proposés pour les années 2024 à 2027.

Il répond aux objectifs approuvés par le CIPM dans le  
“Strategic Plan for the BIPM Work Programme (2022)”.



# Projets proposés dans le programme de travail

## du Bureau international des poids et mesures

### pour les années 2024 à 2027

Ce document décrit les projets du programme de travail du siège du BIPM proposés pour les années 2024 à 2027. Il répond aux objectifs approuvés par le CIPM dans le “Strategic Plan for the BIPM Work Programme (2022)”.

Historique de révision		
v1	Premier projet préparé par le directeur du BIPM (premier projet) en collaboration avec les directeurs de département du BIPM, pour commentaires par le CIPM.	22 mars 2022
v2	Version publiée sur le site internet du BIPM pour commentaires.	mai/juin 2022
v3	Commentaires pris en considération. Discussion et approbation par le CIPM.	juin 2022
v4	Version quasi-finale publiée sur le site internet du BIPM pour discussion lors de la 27 <sup>e</sup> réunion de la CGPM.	août 2022

V4b

12.10.2022

## Table des matières

<b>RÉSUMÉ</b> .....	4
<b>SECTION I : INTRODUCTION</b> .....	8
PRIORITÉS IDENTIFIÉES DANS LE PLAN STRATÉGIQUE.....	9
BASE DE CALCUL DES COÛTS ET IMPLICATION DE PERSONNEL DÉTACHÉ.....	10
<b>SECTION II : PROGRAMME DE TRAVAIL DU BIPM POUR LES ANNÉES 2024 À 2027</b> .....	11
TRAVAIL DE LABORATOIRE RÉALISÉ PAR LE BIPM .....	11
MÉTROLOGIE EN PHYSIQUE.....	13
MÉTROLOGIE DU TEMPS .....	18
MÉTROLOGIE DE LA CHIMIE.....	22
MÉTROLOGIE DES RAYONNEMENTS IONISANTS.....	26
COMMUNICATION ET PROMOTION .....	35
TRANSFORMATION NUMÉRIQUE ET NOUVEAUX SERVICES NUMÉRIQUES .....	37
SERVICES INFORMATIQUES.....	40
RENFORCEMENT DES CAPACITÉS ET TRANSFERT DES CONNAISSANCES.....	43
SOUTIEN ADMINISTRATIF .....	48
SERVICES TECHNIQUES .....	49
LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME.....	50

## RÉSUMÉ

Le présent document décrit les projets du programme de travail du Bureau international des poids et mesures (BIPM) proposés pour les années 2024 à 2027 qui permettront de répondre aux objectifs approuvés par le Comité international des poids et mesures (CIPM) tels que présentés dans le Plan stratégique du BIPM (2022).

Le programme comprend des projets dans quatre domaines techniques :

### *Métrologie en physique*

- Coordonner la comparaison des réalisations primaires du kilogramme à partir de la nouvelle définition de l'unité de masse et maintenir la valeur de consensus au moyen des étalons de travail du BIPM.
- Disséminer l'unité de masse en établissant sa traçabilité métrologique à partir de la balance de Kibble du BIPM en se fondant sur la nouvelle définition du kilogramme.
- Organiser une nouvelle comparaison d'étalons de tension à effet Josephson en courant alternatif.
- Élaborer une nouvelle approche permettant d'établir la traçabilité des étalons de capacité électrique à partir de l'effet Hall quantique en courant alternatif.

### *Métrologie du temps*

- Optimiser l'utilisation des données de fréquence de haute exactitude, obtenues à partir d'horloges optiques pour calculer l'UTC, et contribuer à la réalisation de la feuille de route du CCTF visant à redéfinir la seconde.
- Étudier et tester de nouvelles techniques de traitement des comparaisons de temps et de fréquence, ou l'extension de techniques existantes, l'objectif étant de comparer les étalons de fréquence optiques sans dégrader leur stabilité.
- Mettre en place de nouvelles vérifications automatiques des données d'entrée et des résultats afin de renforcer la qualité et la robustesse du calcul mensuel de l'UTC et du calcul hebdomadaire de l'UTC rapide, ce qui aidera entre autres les laboratoires nationaux de métrologie à réaliser leurs échelles de temps UTC( $k$ ) avec la qualité élevée requise.
- Rendre les données numériques utilisées pour le calcul de l'UTC et de l'UTC rapide accessibles dans de nouveaux formats lisibles par machine afin de contribuer à la transformation numérique des services des laboratoires nationaux de métrologie et d'aider les autres utilisateurs des données d'horloges.

### *Métrologie de la chimie*

- Réaliser, sur demande, les comparaisons bilatérales d'étalons de mesure du dioxyde de carbone dans l'air requises par les laboratoires nationaux de métrologie, afin de répondre aux objectifs approuvés au niveau international concernant la qualité des données servant à la surveillance de l'atmosphère et à la vérification des émissions.

- Réaliser, sur demande, des comparaisons bilatérales pour les laboratoires nationaux de métrologie proposant des services d'étalonnage et des étalons de mesure de l'ozone troposphérique et du dioxyde d'azote pour les réseaux de surveillance de la qualité de l'air et des émissions.
- Réaliser des comparaisons pour les 15 laboratoires nationaux de métrologie les plus impliqués parmi ceux proposant des services de mesure de référence et des calibrateurs de peptides et protéines pour des applications de diagnostic *in vitro*, ainsi que pour des programmes de transfert de connaissances pour les laboratoires offrant de tels services.
- Étendre les programmes de transfert de connaissances concernant le travail de laboratoire aux calibrateurs organiques afin de couvrir les résidus de pesticides et de médicaments vétérinaires, ainsi qu'une plus large gamme de mycotoxines.

### ***Métrologie des rayonnements ionisants***

- Étendre les services de comparaison et d'étalonnage fournis à partir d'installations hors site afin d'y intégrer les électrons de hautes énergies et de répondre ainsi à l'utilisation croissante de ces champs de rayonnement en radiothérapie.
- Mettre en place de nouvelles technologies de mesure à faible courant pour le Système de référence international (SIR) de prochaine génération afin de comparer des étalons de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma, pour des applications dans les domaines de la médecine nucléaire et de la surveillance de l'environnement.
- Accroître les possibilités de mesures du SIR étendu (ESIR) afin de comparer des étalons de radionucléides émetteurs de rayonnement alpha et beta de basses énergies, notamment en utilisant des systèmes de traitement numériques des impulsions.

### ***Relations internationales, coordination, communication et promotion***

Le programme de travail pour les années 2024 à 2027 présente par ailleurs les activités en matière de coordination, de relations internationales et de communication qui permettront d'atteindre les objectifs approuvés dans la stratégie du BIPM. Ces activités seront conduites de façon à répondre de manière efficace et en temps opportun aux possibilités (ou menaces) qui pourraient survenir au sein de la communauté des parties prenantes concernant la métrologie.

Le BIPM poursuivra les activités de coordination dans le cadre du CIPM MRA en mettant l'accent sur la mise en œuvre des principes FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable* - données trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables), notamment en rendant les données de la KCDB compatibles avec le cadre numérique plus large développé par le CIPM.

Parmi les activités majeures dans le domaine des relations internationales figurent le fait d'accroître les interactions avec les organisations régionales de métrologie et avec d'autres organismes internationaux pertinents, afin de promouvoir les avantages que l'infrastructure métrologique mondiale apporte par l'intermédiaire de l'infrastructure internationale de la qualité. Les activités de collaboration du BIPM sont vastes et le BIPM restera flexible par rapport aux activités qu'il propose car les organisations avec lesquelles il collabore s'adaptent à l'évolution de leurs besoins. Les activités de collaboration, menées en collaboration avec le CIPM, se concentreront sur l'exploration de modèles qui permettraient de faciliter la participation des États qui ne prennent pas encore part aux activités du BIPM.

Le BIPM continuera à coopérer de façon étroite avec l'OIML car les deux organisations veillent à parler d'une seule voix au nom de la métrologie. En outre, le BIPM continuera à promouvoir l'importance de la comparabilité mondiale des mesures en collaborant avec des organisations internationales qui revêtent une importance stratégique pour la mission du BIPM (telles que l'OIML, l'ILAC, l'ISO et l'OMC-OTC) et il continuera également à travailler de façon étroite avec ces organisations dans le cadre du réseau international sur l'infrastructure de la qualité, INetQI, afin de parvenir à une meilleure coordination et une meilleure reconnaissance de l'infrastructure de la qualité.

### ***Transformation numérique et nouveaux services numériques***

Afin de mettre en œuvre la « Grande vision » du CIPM concernant le cadre numérique du SI, le BIPM devra acquérir de nouvelles capacités pour procéder à la transformation numérique de ses bases de données et services et les rendre lisibles par machine.

Les activités du programme de travail étayeront la transformation numérique, avec la création d'un centre numérique au sein duquel les données du BIPM, des organisations régionales de métrologie et des laboratoires nationaux de métrologie seront accessibles dans un format répondant aux principes FAIR. Comme ce domaine ne cesse d'évoluer et de prendre de l'ampleur, certaines activités seront menées de façon itérative pour s'assurer que ce qui est mis en place répond aux besoins des parties prenantes.

Tous les documents du BIPM seront trouvables et accessibles, conformément aux principes FAIR.

### ***Renforcement des capacités et transfert des connaissances (CBKT)***

Le programme de renforcement des capacités et de transfert des connaissances (CBKT), qui a commencé après la 24<sup>e</sup> réunion de la CGPM (2014), a été très bien accueilli et a rapidement évolué pour devenir un pilier des activités métrologiques nationales et régionales. Le programme CBKT offre désormais un ensemble d'activités très appréciées qui continuent à évoluer.

Les activités d'apprentissage à distance du programme CBKT ont été élargies pour inclure des fonctionnalités d'apprentissage en ligne. En 2022, la plateforme d'apprentissage en ligne a évolué pour pouvoir héberger du contenu proposé par les organisations régionales de métrologie intéressées. Les activités CBKT conserveront leur importance au sein du nouveau programme de travail et comprennent un nombre significatif de nouvelles capacités.

### ***Scientifiques invités***

Les activités proposées dans le programme de travail pour les années 2024 à 2027 sont ambitieuses et leur réalisation dépend du travail effectué par des scientifiques invités et spécialistes collaborant avec le personnel du BIPM. La participation de scientifiques invités réduit les coûts, apporte une expérience spécifique au moment nécessaire, insuffle des idées neuves et offre une plus grande souplesse en matière de personnel. Ce projet de programme de travail inclut également des activités de renforcement des capacités et de transfert des connaissances qui, pour certaines, ne pourront être réalisées que si le BIPM trouve des

partenaires financiers parmi les laboratoires nationaux de métrologie, les États Membres et les organisations régionales de métrologie, ou d'autres organismes.

Ainsi, tous les États Membres bénéficient de l'accès aux équipements, services et savoir-faire des laboratoires de métrologie du BIPM, indépendants et reconnus au niveau international.

Le tableau ci-dessous indique le nombre estimé de participations de laboratoires nationaux de métrologie et de laboratoires désignés aux comparaisons coordonnées et aux étalonnages réalisés par le personnel du BIPM pour les années 2024 à 2027 : ces chiffres montrent une augmentation importante par rapport aux participations prévues dans le programme de travail pour les années 2020 à 2023.

<b>Département scientifique du BIPM</b>	<b>Participations prévues à des comparaisons et étalonnages réalisés par le personnel du BIPM</b>
Métrologie en physique	340
Temps*	83
Chimie	287
Rayonnements ionisants	192
<b>Total</b>	<b>902</b>

*\* Pour le Département du temps, les participants sont les laboratoires contribuant chaque mois au calcul de l'UTC.*

## SECTION I : INTRODUCTION

Le programme de travail pour les années 2024 à 2027 vise à atteindre les objectifs approuvés par le CIPM, tels que présentés dans le Plan stratégique du BIPM (2022). Voici la vision, la mission et les objectifs du BIPM.

### ***VISION ET MISSION DU BIPM***

Le BIPM est l'organisation intergouvernementale créée par la Convention du Mètre ; ses États Membres agissent en commun en ce qui concerne les sujets liés à la science des mesures et aux étalons de mesure.

**La vision du BIPM** est d'être universellement reconnu comme l'organisation de référence internationale concernant le système mondial de mesure.

**La mission du BIPM** est de travailler au niveau international avec les laboratoires nationaux de métrologie de ses États Membres, les organisations régionales de métrologie, ainsi que ses partenaires stratégiques, et de tirer parti de son statut d'organisation internationale et impartiale pour promouvoir et faire avancer la comparabilité mondiale des mesures pour :

- la découverte et l'innovation scientifique,
- la production industrielle et le commerce international,
- l'amélioration de la qualité de vie et la préservation de l'environnement.

### ***OBJECTIFS DU BIPM***

**Représenter la communauté métrologique internationale afin d'en maximiser la reconnaissance et l'impact.**

- Nous coopérons avec les organisations intergouvernementales pertinentes ainsi qu'avec d'autres organismes internationaux afin de développer les possibilités de tirer parti de la métrologie pour relever les défis mondiaux.

**Être un centre de collaboration scientifique et technique entre les États Membres, leur permettant de développer des aptitudes pour les comparaisons internationales de mesure, sur le principe des frais partagés.**

- Nous coordonnons des comparaisons internationales des étalons de mesure nationaux considérées comme de la plus haute priorité.
- Nous établissons et maintenons des étalons de référence appropriés utilisés pour conduire, au plus haut niveau métrologique, des comparaisons clés internationales et assurons des étalonnages dans le cadre de ces comparaisons.

**Coordonner le système mondial de mesure, en garantissant la comparabilité et la reconnaissance au niveau international des résultats de mesures obtenus.**

- Nous coordonnons des activités entre les laboratoires nationaux de métrologie des États Membres et les organisations régionales de métrologie, notamment en proposant des services techniques en soutien au CIPM MRA et en fournissant l'infrastructure nécessaire au développement et à la promotion du SI.

La mission et les objectifs du BIPM sont étayés par son travail dans les domaines suivants :

- **le renforcement des capacités**, avec pour objectif de parvenir à un équilibre global des aptitudes métrologiques des États Membres ;
- **le transfert de connaissances**, qui permet de garantir que le travail du BIPM a le plus grand impact possible.

## PRIORITÉS IDENTIFIÉES DANS LE PLAN STRATÉGIQUE

Le plan stratégique du BIPM (document « BIPM Strategic Plan (2022) ») a été approuvé par le CIPM en octobre 2021 : il définit un ensemble de priorités dont il a été convenu et qui fixent le cadre au sein duquel élaborer le plan stratégique. Certaines de ces priorités concernent particulièrement le programme de travail et ont donc été prises en considération lors de l'élaboration des propositions présentées ci-après.

Les plus pertinentes de ces priorités seront axées sur les points suivants :

- les défis et les possibilités qui se présenteront dans tous les domaines du BIPM en raison de la transformation numérique, allant de la mise à disposition de données répondant aux principes FAIR jusqu'aux besoins accrus en matière de qualité et conservation des données,
- l'accent mis davantage sur les défis sectoriels et sur le besoin de soutenir de nouveaux mécanismes facilitant le travail intersectoriel afin de communiquer de façon efficace avec les acteurs de tous les secteurs,
- les futures avancées technologiques qui auront des répercussions profondes et rapides sur la façon d'établir la traçabilité métrologique dans le futur,
- les possibilités identifiées dans les stratégies des Comités consultatifs, notamment le transfert de connaissances assuré par les laboratoires du BIPM,
- la promotion de la science de la mesure comme un outil essentiel de la croissance économique après l'impact de la pandémie mondiale, ainsi que le besoin continu de fonctionner en se protégeant du coronavirus et en tenant compte de l'émergence probable d'une « nouvelle normalité » fondée sur de nouvelles manières pour le personnel du BIPM d'interagir avec les laboratoires nationaux de métrologie, les organisations régionales de métrologie et d'autres parties prenantes clés.

## BASE DE CALCUL DES COÛTS ET IMPLICATION DE PERSONNEL DÉTACHÉ

Le programme inclut un certain nombre de projets dont le succès dépend de façon significative du travail effectué par du personnel en détachement. Ces projets ne seront réalisés que si des ressources supplémentaires sont garanties.

### Personnel détaché contribuant à l'exécution du programme de travail

Les ressources en personnel requises pour exécuter le programme de travail (incluant les scientifiques invités et autres spécialistes) sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Département du BIPM	Personnel du BIPM (mois-personne)		Personnel détaché de laboratoires nationaux et désignés participant à l'exécution du programme (mois-personne)
	Exécution du programme	Gestion de département	
Métrologie en physique	465	15	30
Temps	316,2	15	128
Chimie	489	15	120
Rayonnements ionisants	369	15	60
Relations internationales et communication	417	15	108
Services informatiques	89	7	-
<b>Total</b>	<b>2145,2</b>	<b>82</b>	<b>446</b>

#### Remarque :

Les détachés bénéficiant d'activités de renforcement des capacités et de transfert des connaissances ne sont pas inclus dans le tableau ci-dessus.

## SECTION II : PROGRAMME DE TRAVAIL DU BIPM POUR LES ANNÉES 2024 À 2027

### TRAVAIL DE LABORATOIRE RÉALISÉ PAR LE BIPM

La stratégie concernant le travail de collaboration scientifique et technique mené dans les laboratoires du BIPM est la suivante :

Être un centre de collaboration scientifique et technique entre les États Membres, leur permettant de développer des aptitudes pour les comparaisons internationales de mesure, sur le principe des frais partagés.

- Nous coordonnons des comparaisons internationales des étalons de mesure nationaux considérées comme de la plus haute priorité.
- Nous établissons et maintenons des étalons de référence appropriés utilisés pour conduire, au plus haut niveau métrologique, des comparaisons clés internationales et assurons des étalonnages dans le cadre de ces comparaisons.

Lorsqu'un projet proposé est examiné pour déterminer s'il répond à l'objectif du BIPM présenté ci-dessus et s'il est pertinent qu'il soit réalisé dans les laboratoires du BIPM, des critères sont pris en considération dans quatre domaines :

- **L'importance du mesurande/de la grandeur**
  - Le mesurande ou la grandeur qui fera l'objet de la comparaison (ou de l'équipement de référence) doit avoir un large impact dans le domaine concerné, tel qu'identifié dans la stratégie du Comité consultatif correspondant, et doit être reconnu(e) comme important(e) au niveau international.
- **L'ampleur de la participation estimée et de la future utilisation**
  - De façon générale, au moins 15 laboratoires nationaux de métrologie et laboratoires désignés participent au projet au cours de son cycle de réalisation et le projet doit présenter un intérêt sur le long terme, le projet devant être estimé nécessaire pour les dix années à venir au minimum (à compter du début du projet). Il doit être nécessaire de conserver les équipements et l'expertise développés afin de pouvoir les réutiliser dans le futur.
  - Les laboratoires nationaux de métrologie et laboratoires désignés peuvent tirer parti du projet en conduisant des comparaisons et en réalisant des étalonnages de façon efficace et en temps opportun (par exemple, en réduisant les contraintes liées à l'expédition d'instruments sensibles ou de matériaux dangereux pour des comparaisons multicentriques).
- **Un accès facilité**
  - Le projet doit permettre aux laboratoires nationaux de métrologie et laboratoires désignés d'accéder à des équipements et connaissances auxquels ils n'ont pas facilement accès autrement.

- **La possibilité d'étendre les équipements utilisés à d'autres applications**
  - Lorsque cela est possible, le projet doit être organisé afin que des scientifiques invités venant de laboratoires nationaux de métrologie et laboratoires désignés puissent y participer et que les équipements puissent aussi être utilisés pour des activités de renforcement des capacités.
  - Lorsque cela est possible, les avantages tirés de l'utilisation des équipements et des connaissances développées pour le projet peuvent être utilisés pour assurer la traçabilité des mesures par le biais de services d'étalonnages (pour des laboratoires nationaux de métrologie et des laboratoires désignés).

## MÉTROLOGIE EN PHYSIQUE

### **Stratégie concernant la métrologie en physique**

Soutenir le programme de comparaisons du CCEM afin de démontrer les aptitudes des laboratoires nationaux de métrologie et de contribuer au transfert des connaissances assuré par les scientifiques du BIPM effectuant des comparaisons sur site à l'aide d'étalons quantiques transportables dédiés.

- *Soutenir la stratégie du CCEM en réalisant un programme de comparaisons sur site à l'aide d'une nouvelle génération d'étalons quantiques plus efficaces et polyvalents afin d'accroître l'impact de ce service auprès des laboratoires nationaux de métrologie.*
- *Assurer des services de transfert des connaissances pour les laboratoires nationaux de métrologie qui développent de nouvelles aptitudes de mesure à l'aide d'étalons quantiques.*

Soutenir les laboratoires nationaux qui n'ont pas accès à des étalons quantiques en effectuant des étalonnages pour les grandeurs électriques et en assurant le transfert des connaissances.

- *Adapter le portefeuille de services d'étalonnage aux besoins des laboratoires nationaux de métrologie.*
  - *Initier la mise en place des certificats d'étalonnage numériques pour les services du BIPM.*
- *Assurer le transfert des connaissances en matière d'étalons quantiques électriques pour les laboratoires nationaux de métrologie émergents.*

Étayer la mise en pratique du kilogramme en coordonnant les comparaisons clés du CCM des réalisations primaires maintenues par les laboratoires nationaux de métrologie.

- *Soutenir la stratégie du CCM en coordonnant les comparaisons clés des réalisations primaires du kilogramme et des étalons secondaires de masse conformément à la mise en pratique.*
- *Maintenir la balance de Kibble du BIPM utilisée pour réaliser le kilogramme.*

Soutenir la dissémination du kilogramme en réalisant des étalonnages des étalons de masse pour les laboratoires nationaux de métrologie qui n'ont pas accès à une réalisation primaire.

- *Mettre en place les certificats d'étalonnage numériques et assurer le transfert des connaissances dans les domaines de la réalisation (balance de Kibble) et de la dissémination du kilogramme.*

### **Activités en métrologie électrique**

Les laboratoires d'électricité du BIPM s'assurent que les laboratoires nationaux de métrologie ont un accès permanent à des moyens permettant de comparer ou d'étalonner leurs étalons primaires nationaux, au niveau d'incertitude le plus faible possible, pour les grandeurs électriques fondamentales (tension, résistance et capacité), à partir desquelles les autres grandeurs électriques peuvent être dérivées. À cette fin, le Département de la métrologie en physique développe et maintient des équipements de référence internationaux tels que l'étalon transportable de tension à effet Josephson, l'étalon transportable de résistance de Hall quantifiée, le condensateur calculable, ainsi que les systèmes de mesure associés. Aux comparaisons existantes vient s'ajouter une comparaison d'étalons de tension à effet Josephson en courant alternatif. Outre le fait de démontrer les aptitudes des laboratoires nationaux de métrologie, les comparaisons sont souvent l'occasion d'assurer un transfert des connaissances. L'importance des étalons électriques quantiques s'est accrue à la suite de la révision du SI mise en œuvre en 2019 car ces étalons permettent une réalisation directe des unités électriques. La demande d'étalonnages augmente progressivement en fonction du nombre d'États Membres. Une

autre tâche importante est le soutien continu apporté au projet de la balance de Kibble, ainsi qu'à d'autres départements du BIPM, dans le domaine des mesures électriques.

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Étalon de tension de référence international</b>		
1.	PMD-E1	<p><b>E1.1: Comparaisons bilatérales sur site d'étalons de tension à effet Josephson</b>            Comparaison directe d'étalons de tension à effet Josephson en courant continu et/ou en courant alternatif à l'aide des étalons transportables du BIPM afin d'obtenir l'incertitude la plus faible possible.  <i>Laboratoires nationaux participants : 6</i></p> <p>1. Comparaisons bilatérales sur site en courant continu et/ou en courant alternatif dans le cadre de la comparaison clé <b>BIPM.EM-K10.a/b</b> avec une incertitude relative estimée à <math>1 \times 10^{-10}</math> (courant continu) et inférieure à <math>1 \times 10^{-7}</math> (courant alternatif).            Maintenance des étalons transportables de tension à effet Josephson, également utilisés pour les comparaisons bilatérales d'étalons de tension à diodes Zener (E1.2) et les étalonnages d'étalons de tension à diodes Zener effectués pour les laboratoires nationaux de métrologie (E1.3).</p> <p><b>E1.2: Comparaisons bilatérales de tension à l'aide d'étalons de transfert à diodes Zener</b>            Comparaisons pour les laboratoires nationaux de métrologie ne possédant pas d'étalons de tension à effet Josephson et étape préalable à une comparaison sur site d'étalons de tension à effet Josephson (E1.1).  <i>Laboratoires nationaux participants : 6</i></p> <p>1. Comparaisons bilatérales d'étalons de tensions à diodes Zener dans le cadre de la comparaison clé <b>BIPM.EM-K11.a/b</b> avec une incertitude relative estimée à <math>5 \times 10^{-8}</math>.            2. Participation aux comparaisons connexes des organisations régionales de métrologie afin de les relier à BIPM.EM-K11.            Maintenance des étalons secondaires de tension du BIPM (à diodes Zener), également utilisés pour l'étalonnage des étalons de tension à diodes Zener effectués pour les laboratoires nationaux de métrologie (E1.3).</p> <p><b>E1.3: Étalonages d'étalons secondaires à diodes Zener</b>            Étalonages pour les laboratoires nationaux de métrologie ne possédant pas d'étalon primaire de tension, ce qui est le cas pour la plupart des nouveaux États Membres, à l'aide de systèmes de mesure déjà en place pour les activités de comparaison.  <i>Étalonnages destinés à : 6 laboratoires nationaux (12 certificats)</i></p> <p>Étalonnage d'étalons secondaires à diodes Zener pour les laboratoires nationaux de métrologie ne possédant pas de réalisation primaire et pour des clients internes (Département des rayonnements ionisants et balance de Kibble).</p>
<b>Étalon de résistance de référence international</b>		
2.	PMD-E2	<p><b>E2.1: Comparaisons bilatérales sur site d'étalons de résistance de Hall quantifiée</b>            Comparaison directe d'étalons de résistance de Hall quantifiée à l'aide de l'étalon transportable du BIPM afin d'obtenir l'incertitude la plus faible possible.  <i>Laboratoires nationaux participants : 6</i></p> <p>1. Comparaisons bilatérales sur site d'étalons de résistance de Hall quantifiée (y compris les nouveaux étalons à base de graphène) dans le cadre de la comparaison clé <b>BIPM.EM-K12</b> avec une incertitude relative estimée à <math>1 \times 10^{-9}</math>.            2. Fondement de la réalisation de l'unité de capacité électrique, le farad (E3).            Maintenance de l'étalon transportable et de la chaîne de mesure correspondante, également utilisés pour les comparaisons bilatérales de résistance à l'aide d'étalons de transfert de résistance (E2.2) et les étalonnages d'étalons secondaires effectués pour les laboratoires nationaux de métrologie (E2.3).</p>

3.		<p><b>E2.2: Comparaisons bilatérales de résistance à l'aide d'étalons de transfert de résistance</b>  Première étape avant une comparaison sur site (BIPM.EM-K12) et comparaisons pour les laboratoires nationaux de métrologie ne possédant pas d'étalons de résistance de Hall quantifiée.  <i>Laboratoires participants : 6</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comparaisons bilatérales d'étalons de transfert de résistance dans le cadre de la comparaison clé <b>BIPM.EM-K13.a/b</b> avec une incertitude relative estimée à <math>5 \times 10^{-8}</math>.</li> <li>2. Participation aux comparaisons connexes des organisations régionales de métrologie afin de les relier à BIPM.EM-K13.</li> </ol> <p>Maintenance des étalons secondaires de résistance du BIPM et de la chaîne de mesure correspondante, également utilisés pour les étalonnages d'étalons secondaires de résistance effectués pour les laboratoires nationaux de métrologie (E2.3).</p>
4.		<p><b>E 2.3 : Étalonnages d'étalons secondaires de résistance</b>  Étalonnages pour les laboratoires nationaux de métrologie ne possédant pas d'étalon primaire de résistance, ce qui est le cas pour la plupart des nouveaux États Membres, à l'aide de systèmes de mesure déjà en place pour les activités de comparaison.  <i>Étalonnages destinés à : 20 laboratoires nationaux de métrologie (130 certificats)</i></p> <p>Étalonnage d'étalons secondaires de résistance pour les laboratoires nationaux de métrologie ne possédant pas de réalisation primaire et pour des clients internes (Département des masses et Département des rayonnements ionisants, balance de Kibble).</p> <p><b>E 2.4 : Mise au point d'un étalon de résistance de Hall quantifiée à base de graphène</b>  Développement d'un étalon de résistance de Hall quantifiée plus compact et économique, opérationnel à des températures élevées (5 K) et à un faible champ magnétique (&lt; 5 T).</p> <p>Mise au point d'un étalon de résistance de Hall quantifiée à base de graphène, en remplacement de l'étalon à base d'arséniure de gallium, afin de faciliter la mise en place de la résistance de Hall quantifiée lors de comparaisons sur site et de réduire les coûts de fonctionnement.</p>
<b>Étalon de capacité électrique de référence international</b>		
5.	PMD-E3	<p><b>E3.1: Comparaisons bilatérales de capacité électrique à l'aide d'étalons de transfert de capacité</b>  Comparaisons pour les laboratoires nationaux de métrologie souhaitant démontrer leurs aptitudes en matière d'étalonnage de capacité électrique.  <i>Laboratoires participants : 4</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comparaisons bilatérales d'étalons de transfert de capacité dans le cadre de la comparaison clé <b>BIPM.EM-K14.a/b</b> avec une incertitude relative estimée à <math>5 \times 10^{-8}</math>.</li> <li>2. Maintenance des systèmes de mesure permettant de dériver l'unité de capacité électrique de l'effet Hall quantique et/ou du condensateur calculable, et soutenant les activités d'étalonnage d'étalons secondaires de capacité électrique (E3.2).</li> </ol> <p><b>E3.2: Étalonnages d'étalons secondaires de capacité électrique</b>  Étalonnages pour les laboratoires nationaux de métrologie ne possédant pas d'étalon primaire de capacité électrique, ce qui est le cas pour la plupart des nouveaux États Membres.  <i>Étalonnages destinés à : 20 laboratoires nationaux de métrologie (100 certificats)</i></p> <p>Étalonnages d'étalons secondaires de capacité électrique pour les laboratoires ne possédant pas de réalisation primaire.</p> <p><b>E3.3: Utilisation de l'effet Hall quantique en courant alternatif pour établir un étalon d'impédance</b>  Développement d'une méthode primaire afin de réaliser les mesures d'impédance en courant alternatif conformément au SI révisé.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilisation de l'effet Hall quantique en courant alternatif pour la mise en œuvre d'un étalon primaire d'impédance opérationnel afin de réduire l'incertitude sur la réalisation de l'unité de capacité électrique.</li> <li>2. Comparaison directe de l'effet Hall quantique en courant alternatif et du condensateur calculable afin de vérifier la validité de l'équation établissant la constante de von Klitzing au niveau de <math>10^{-9}</math> et étayer ainsi la mise en pratique de la définition des unités électriques.</li> </ol>

## Activités en métrologie des masses

Le rôle du BIPM en métrologie des masses a évolué du fait de la redéfinition du kilogramme. L'existence de réalisations indépendantes du kilogramme au sein de plusieurs laboratoires nationaux de métrologie, fondées sur des balances de Kibble, une balance du joule ou des sphères en silicium enrichi isotopiquement, constitue une situation fondamentalement inédite pour la métrologie des masses. Le BIPM joue le rôle essentiel d'assurer l'uniformité mondiale de la dissémination du kilogramme en organisant tous les deux ans des comparaisons des réalisations primaires des laboratoires nationaux de métrologie. Pendant une période de transition, la valeur de consensus déterminée à partir des résultats de ces comparaisons constituera le fondement de la dissémination de l'unité de masse à partir des laboratoires nationaux de métrologie et du BIPM afin d'assurer l'uniformité mondiale des mesures de masse. Le BIPM fournit une référence stable pour ces comparaisons. Le Département de la métrologie en physique continue à maintenir et améliorer la balance de Kibble, afin de contribuer à la robustesse du système international en ce qui concerne la réalisation et la dissémination du kilogramme. Le BIPM continuera par ailleurs à effectuer des étalonnages de masse pour les laboratoires nationaux de métrologie qui ne disposent pas de réalisation de l'unité de masse.

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Dissémination de l'unité de masse</b>		
<b>6.</b>	<b>PMD-M1</b>	<p><b>M1.1: Étalonnage de prototypes nationaux en platine iridié et d'étalons de masse en acier inoxydable de 1 kg</b>  <i>Étalonnages destinés à : 25 laboratoires nationaux de métrologie (50 certificats)</i></p>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Étalonnage de prototypes nationaux de 1 kg en platine iridié dans l'air et dans le vide.</li> <li>2. Étalonnage d'étalons nationaux de masse de 1 kg en acier inoxydable, ainsi que détermination du volume et du centre de gravité, sur demande.</li> <li>3. Suivi de l'évolution de la masse des étalons de travail du BIPM, ce qui permettra d'établir un lien stable entre les comparaisons clés successives des réalisations du kilogramme (M1.3) afin de calculer la valeur de consensus.</li> </ol> <p>Étalonnage de jauges de pression : service interne nécessaire pour soutenir les étalonnages de masse au niveau d'incertitude requis et service effectué pour d'autres départements du BIPM (Département de la chimie, Département des rayonnements ionisants).</p>
		<p><b>M1.2: Fabrication de prototypes de 1 kg en platine iridié</b>  <i>Fabrication pour : 2 laboratoires nationaux de métrologie</i></p>
		<p><b>M1.3: Organisation de deux comparaisons clés du CCM des réalisations du kilogramme</b>  <i>9 laboratoires nationaux de métrologie (à deux reprises)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organisation de deux comparaisons clés CCM.M-K8 des réalisations du kilogramme à l'aide de balances de Kibble ou du joule et de la méthode XRCD. Calcul d'une nouvelle valeur de consensus après chaque comparaison.</li> </ol>

<b>Balance de Kibble</b>	
	<p><b>Développement et maintenance de la balance de Kibble</b></p> <p>Équipement de référence international pour la mise en pratique de la nouvelle définition du kilogramme sur le long terme et à frais partagés.</p>
7.	<p><b>PMD-M2</b></p> <p><b>M2.1:</b> Évaluation de l'amélioration de la performance de la balance de Kibble en utilisant un mécanisme de balance à fléau symétrique afin d'obtenir une incertitude cible de <math>2 \times 10^{-8}</math> au niveau de 1 kg (voir la nouvelle application pour cette technologie en M2.5).</p>
	<p><b>M2.2:</b> Maintien et optimisation du fonctionnement de la balance de Kibble du BIPM, par rapport à la conception existante, afin de conserver un système clé-en-main qui constitue un équipement de référence international pour la réalisation de la nouvelle définition du kilogramme au niveau de <math>5 \times 10^{-8}</math> et qui pourra intégrer le mécanisme amélioré de balance à fléau symétrique (voir M2.1).</p>
	<p><b>M2.3:</b> Mise à disposition des résultats d'une détermination indépendante de la balance de Kibble pour la comparaison des réalisations du kilogramme (CCM.M-K8), effectuée tous les deux ans, et héberger la réunion au sujet de la collaboration internationale des laboratoires nationaux de métrologie concernant la balance de Kibble une fois lors du programme de travail.</p>
	<p><b>M2.4:</b> Détermination de l'accélération gravitationnelle du laboratoire de la balance de Kibble du BIPM en collaboration avec des laboratoires nationaux de métrologie, ce qui nécessitera l'utilisation au BIPM de gravimètres absolus fournis par des laboratoires nationaux ayant participé avec succès à la comparaison de gravimètres absolus la plus récente, CCM.G-K2.XXXX. Il est prévu de remplacer le gravimètre relatif afin de vérifier la stabilité du gradient spatial de gravité.</p>
	<p><b>M2.5:</b> Conception et construction d'un prototype intégrant le mécanisme de balance à fléau symétrique (voir M2.1), qui constituera la base d'une balance de Kibble compacte pouvant être utilisée pour des masses égales ou inférieures à 500 g. (Pour les activités CBKT prévues, voir PMD-CBKT2)</p>

## MÉTROLOGIE DU TEMPS

### Activités en métrologie du temps

La principale mission du BIPM dans le domaine du temps est de réaliser et disséminer le Temps universel coordonné (UTC) fondé sur le calcul du Temps atomique international (TAI) à partir des données de 450 horloges atomiques maintenues par près de 80 laboratoires dans le monde entier. L'UTC est l'échelle de temps de référence internationale qui garantit un accord approximatif avec le temps dérivé de la rotation irrégulière de la Terre.

Afin de réaliser le TAI, l'UTC et une approximation rapide (UTC<sub>r</sub>) au meilleur niveau d'exactitude et de stabilité, tout en tirant parti des horloges et des techniques de comparaison de temps développées par les laboratoires nationaux et les organisations régionales de métrologie, des améliorations sont en permanence nécessaires. Ainsi, des activités de recherche sont menées par le Département du temps, parmi lesquelles la maintenance d'un laboratoire du temps capable de fournir des récepteurs GNSS de référence permettant de mesurer les retards des équipements de comparaison de temps des laboratoires nationaux de métrologie.

Pendant le programme de travail pour les années 2024 à 2027, les travaux de recherche visant à améliorer l'UTC auront notamment pour objectif de contribuer au développement et à l'utilisation optimale des mesures d'étalons de fréquence optiques, ainsi qu'à leur comparaison à distance à un haut niveau d'exactitude. Cela conduira à une amélioration significative du TAI et de l'UTC, ainsi qu'à une possible redéfinition de la seconde du SI qui nécessitera alors une meilleure connaissance du potentiel de pesanteur de la Terre. Par ailleurs, le département continuera d'améliorer la fiabilité de la procédure de calcul du TAI et de l'UTC et de distribuer les résultats dans des formats numériques, lisibles par machine.

La qualité de l'UTC dépend de la qualité des données fournies par les laboratoires participants. Afin d'étayer ce principe, le département participe aux activités CBKT visant à soutenir la production de réalisations exactes et fiables des approximations locales UTC(*k*), à partir desquelles l'UTC peut être calculé de façon beaucoup plus exacte et fiable.

Le Département du temps promeut l'utilisation de l'UTC comme échelle de temps de référence unique par l'ensemble des pays et des fournisseurs de services GNSS, ainsi que pour différentes applications (notamment les réseaux numériques et les systèmes spatiaux), en collaboration avec d'autres organisations et comités internationaux ayant des activités dans le domaine des échelles de temps et de la conservation de l'heure.

Les éléments moteurs des activités de recherche et développement du Département du temps du BIPM sont établis en fonction de la feuille de route et de la stratégie du CCTF.

#### **Stratégie concernant la métrologie du temps**

- Calculer, disséminer et améliorer l'échelle de temps de référence mondiale, l'UTC, par l'intégration des données fournies par les horloges atomiques des laboratoires nationaux de métrologie et par des comparaisons de temps (y compris par des tests et l'intégration de nouveaux types d'étalons, ainsi que leur comparaison sur de longues distances).
- Contribuer au développement et à l'utilisation optimale des nouveaux étalons de fréquence optiques et de leurs mesures à distance de haute stabilité afin d'améliorer l'UTC, et soutenir la future redéfinition de la seconde.

- Promouvoir l'importance et les avantages d'une unique échelle de temps de référence afin de garantir aux communautés internationales scientifiques et industrielles, ainsi qu'à d'autres organisations internationales concernées, un accès traçable à la seconde du SI.

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Génération du TAI et de l'UTC, les références internationales stables et exactes</b>		
1.	Time-U1	<p><b>U1.1: Calcul de l'UTC, de l'UTCr et de TT, et comparaison clé de temps et de fréquence</b>  <i>Laboratoires participant au calcul de l'UTC : 83 (2022)</i>  <i>Laboratoires participant au calcul de l'UTCr : 58 (2022)</i></p>
		<p>Mise à disposition <i>mensuelle</i> de l'échelle de temps de référence internationale, l'UTC, fondée sur le calcul du Temps atomique international (TAI), et publication et distribution de toutes les données de référence associées, en améliorant en permanence leur qualité métrologique.</p> <p>Les résultats des différences entre UTC et les réalisations locales en temps réel UTC(<i>k</i>) des laboratoires participants sont publiés dans la <i>Circulaire T</i> mensuelle du BIPM. Ces données sont également transmises à la KCDB dans le cadre de la comparaison clé CCTF-K001.UTC. La procédure de calcul de l'UTC et sa validation font partie du Système Qualité du BIPM.</p> <p>Mise à disposition <i>hebdomadaire</i> d'une solution rapide appelée UTCr, calculée et publiée chaque mercredi à partir des données quotidiennes envoyées par un sous-ensemble de laboratoires participants.</p> <p>Mise à disposition <i>annuelle</i> du Temps terrestre, TT<sub>BIPM</sub>, avec une exactitude à long terme optimisée <i>a posteriori</i>, pour les études requérant la meilleure performance possible sur le long terme.</p> <p><b>U1.2: Développement et optimisation des algorithmes et outils servant au calcul de l'UTC et d'autres produits</b></p> <p>Les algorithmes développés, maintenus et améliorés en permanence par le Département du temps sont utilisés pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– l'établissement des échelles de temps ;</li> <li>– le traitement exact des mesures de comparaisons de temps et de fréquence ;</li> <li>– le pilotage à l'aide des étalons de fréquence primaires et secondaires.</li> </ul> <p>Les principaux objectifs concernent la détection de sauts, les comparaisons entre liens, le basculement d'un lien à un autre, les comparaisons de temps à l'aide de systèmes GNSS multi-constellations redondants avec un traitement optimal des mesures de phase des signaux GNSS, ainsi que l'optimisation des modèles statistiques concernant les horloges individuelles.</p> <p>L'utilisation de la forge logicielle fondée sur GIT* sera consolidée dans le cadre du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons bidirectionnelles de temps et de fréquences sur satellite afin de développer et valider un logiciel pour la technique de mesure SDR (Software Defined Receiver) en collaboration avec des laboratoires nationaux de métrologie. Un outil similaire sera utilisé pour le programme CBKT.</p> <p>L'expérience acquise concernant les comparaisons de temps fondées sur la fibre optique, leurs étalonnages, ainsi que les comparaisons utilisant d'autres techniques, sera consolidée.</p> <p>La contribution d'un détaché serait fondamentale pour garantir que toutes ces activités progressent comme il convient.</p> <p>L'amélioration continue de l'UTC, de l'UTCr et des produits associés dépend également du développement d'outils logiciels appropriés, garantissant la fiabilité des ressources de calcul disponibles. Les objectifs sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– poursuivre l'automatisation du système de calcul afin d'augmenter les vérifications automatiques des données d'entrée et de sortie afin d'améliorer la fiabilité des résultats ;</li> <li>– utiliser un ensemble sûr et redondant de serveurs fondés sur la technologie de la virtualisation ;</li> <li>– utiliser une structure de base de données pour les données de comparaisons de temps et d'étalonnages afin de rendre les résultats lisibles par machine pour les laboratoires participants.</li> </ul>

		<i>*GIT est un logiciel libre et à code source ouvert de gestion de versions décentralisé.</i>
<b>Caractérisation des retards des équipements de comparaison de temps des laboratoires contribuant à l'UTC</b>		
2.	Time-D1	<p><b>D1.1: Maintenance des récepteurs voyageurs, des références de mesure et des procédures d'étalonnage du BIPM. Réalisation de campagnes de mesure des retards des équipements pour des laboratoires spécifiques (laboratoires G1 pour les récepteurs GNSS, laboratoires effectuant des comparaisons bidirectionnelles, ou autres)</b></p> <p>Un ensemble de récepteurs GNSS de référence étalonnés (de manière absolue) est maintenu afin d'assurer la cohérence générale de l'étalonnage des retards des récepteurs de temps pour les liaisons horaires servant au calcul de l'UTC (GNSS, comparaisons bidirectionnelles, etc.) pour tous les laboratoires participants. Certains de ces récepteurs de référence voyagent en permanence et sont ainsi envoyés à des laboratoires sélectionnés pour des comparaisons sur site des retards des équipement. Cette activité requiert :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. la caractérisation, l'étude et des test expérimentaux des équipements compatibles avec ceux utilisés dans les laboratoires nationaux de métrologie,</li> <li>2. la production de documents d'orientation concernant l'installation des équipements voyageurs et les mesures des retards des équipements des laboratoires contribuant au calcul de l'UTC (laboratoires G1 pour les récepteurs GNSS, laboratoires effectuant des comparaisons bidirectionnelles, etc.),</li> <li>3. l'organisation de campagnes à l'aide d'équipements transportables (nécessitant l'envoi d'un système voyageur du BIPM sans accompagnement de membres du personnel) à la dizaine ou quinzaine de laboratoires sélectionnés, habituellement tous les deux ans,</li> <li>4. l'analyse des données, l'évaluation de l'incertitude, la publication d'un rapport et l'intégration des données au calcul de l'UTC.</li> </ol> <p>La location de l'accès à une « fibre noire » permettra de connecter le BIPM au point le plus proche du réseau d'un laboratoire national de métrologie afin de faciliter et améliorer l'étalonnage des retards des récepteurs, les mesures de haute stabilité des étalons primaires et secondaires de fréquence, ainsi que la comparaison avec d'autres techniques de transfert de temps de haute stabilité. L'établissement de cette liaison engendrera des coûts de fonctionnement qui dépendront des fournisseurs d'infrastructures de télécommunication à Sèvres. Cette activité ne sera mise en œuvre que si un bon équilibre coûts/bénéfices peut être trouvé.</p> <p>Le Département du temps fournit également une référence de fréquence pour d'autres laboratoires du BIPM. La dissémination de ce signal de fréquence et les étalonnages internes associés font partie du Système Qualité du BIPM.</p>
		<p><b>D1.2: Coordination avec les organisations régionales de métrologie des campagnes d'étalonnage des récepteurs GNSS pour les laboratoires G2 et liaison des résultats au réseau de référence du BIPM constitué par les laboratoires G1 ; autres campagnes coordonnées par le BIPM</b></p> <p>Pour les laboratoires contribuant au calcul de l'UTC dont l'étalonnage est réalisé par les laboratoires du groupe G1 mentionnés précédemment, le BIPM a pour rôle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- de fournir des directives,</li> <li>- de valider les rapports d'étalonnage et l'intégration des données au calcul de l'UTC.</li> </ul>
<b>Utilisation d'étalons de fréquence optiques de très grande exactitude - Soutien apporté à la redéfinition de la seconde du SI</b>		
3.	Time-O1	<p><b>O1.1: Utilisation optimale des mesures d'étalons optiques pour le calcul du TAI et de l'UTC, soutien apporté aux laboratoires nationaux et au CCTF concernant le développement d'étalons de fréquence optiques et de techniques avancées de comparaison de temps et de fréquences permettant le calcul du TAI et de l'UTC</b></p> <p>Les nouveaux étalons optiques et les nouvelles comparaisons de temps et de fréquence dans le domaine optique requièrent une mise à jour du traitement des données utilisées pour le calcul du TAI et de l'UTC afin d'optimiser l'utilisation de ces nouvelles mesures. Il est en particulier nécessaire :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. de développer un traitement statistique des mesures qui pourraient présenter des particularités (temps mort, longue période de données manquantes, uniquement des comparaisons de fréquence, etc.) et d'évaluer l'incertitude ;</li> <li>b. d'adapter l'algorithme servant au calcul du TAI pour pouvoir intégrer de façon optimale les mesures d'étalons de fréquence optiques ;</li> </ol>

	<p>c. de collaborer avec les laboratoires nationaux de métrologie et le CCTF pour homogénéiser la procédure de mesure et le format des données, et mettre en place des techniques et directives d'étalonnage.</p> <p>Ces activités additionnelles requerraient un effort supplémentaire que le personnel du BIPM ne pourrait assumer qu'à un niveau très basique. Afin de relever les nouveaux défis en disposant des ressources appropriées et en optimisant leur utilisation pour le calcul du TAI et de l'UTC, le soutien d'un détachement à temps plein sera requis. Si cela n'est pas possible, l'activité ne pourrait être réalisée que de façon limitée.</p> <p>Le département contribuera également aux activités décrites dans la feuille de route du CCTF afin de redéfinir la seconde.</p>
--	---

## MÉTROLOGIE DE LA CHIMIE

### Activités en métrologie de la chimie

Les activités de laboratoire du BIPM dans le domaine de la chimie soutiennent la stratégie du CCQM (2021-2030) par la réalisation de comparaisons pour les laboratoires disposant de programmes métrologiques bien établis, par le transfert de connaissances pour les laboratoires dont le programme est en développement, ainsi que par la mise à disposition de données de référence permettant d'appliquer des méthodes de référence en chimie. Les équipements maintenus par le Département de la chimie du BIPM permettent de mener les activités sur les étalons de référence pour la qualité de l'air et la surveillance de l'atmosphère, et celles sur les calibrateurs primaires pour des applications dans les domaines de la chimie clinique et de la médecine de laboratoire, de l'analyse des aliments, de l'analyse de l'environnement, de la médecine légale et de la pharmacie.

Une priorité du programme de travail pour les années 2024 à 2027 sera de développer et d'offrir des services de comparaison uniques concernant les étalons de référence pour la surveillance de la qualité de l'air et de l'atmosphère, sur demande des laboratoires nationaux de métrologie, ce qui permettra ainsi de répondre à l'évolution des exigences au niveau national. Le programme visera également à mettre en place de nouvelles activités de transfert des connaissances concernant les activités de laboratoire sur les étalons de mesure de matériaux organiques afin de couvrir les résidus de pesticides et de médicaments vétérinaires, ainsi qu'une plus large gamme de mycotoxines, ce qui permettra de répondre à la croissance des exigences, dans les programmes des laboratoires nationaux du monde entier, concernant les mesures permettant d'assurer la sécurité alimentaire. L'accent continuera à être mis sur les comparaisons de calibrateurs de peptides et de protéines pour des applications de diagnostic *in vitro* et sur les programmes de transfert des connaissances pour les laboratoires développant de tels services afin de répondre à l'augmentation mondiale de la demande concernant des tests fiables de diagnostic *in vitro*.

#### Stratégie concernant la métrologie de la chimie

Assurer et coordonner les comparaisons d'étalons de mesure nationaux pour :

- **les gaz à effet de serre**, l'objectif étant de démontrer la cohérence des mesures aux niveaux requis afin de soutenir les priorités nationales en matière d'énergie et d'environnement ;
- **les principaux gaz jouant un rôle sur la qualité de l'air**, l'objectif étant de démontrer la cohérence des mesures aux niveaux requis afin de soutenir les priorités nationales en matière de santé et d'environnement.

Établir le fondement de la traçabilité métrologique des mesures d'analyse organique et biochimique en coordonnant des comparaisons de matériaux de référence primaires pour :

- **les molécules organiques de petite taille**, l'objectif étant de démontrer la cohérence des mesures aux niveaux requis afin de soutenir les systèmes de mesure de référence dans les domaines de la médecine de laboratoire, de la sécurité alimentaire, de la médecine légale, de l'analyse environnementale et de la pharmacie ;
- **les molécules organiques de grande taille et les peptides**, l'objectif étant de démontrer la cohérence des mesures aux niveaux requis afin de soutenir les systèmes de mesure de référence dans les domaines de la médecine de laboratoire et de la santé.

Assurer des activités de transfert des connaissances dans les domaines où le département coordonne des comparaisons, en apportant son soutien aux programmes nationaux de métrologie se concentrant sur les sujets suivants :

- la sécurité alimentaire,
- la médecine de laboratoire,
- la qualité de l'air.

Promouvoir et développer l'utilisation d'étalons et de mesures traçables au SI (disponibles auprès des laboratoires nationaux de métrologie) par les parties prenantes intergouvernementales.

### Équivalence internationale des étalons de référence pour la surveillance de la qualité de l'air et de l'atmosphère

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Comparaisons d'étalons de référence pour l'ozone troposphérique et pour la qualité de l'air</b>		
Coordination de comparaisons afin de déterminer et d'améliorer l'équivalence internationale des étalons de référence pour la surveillance de la qualité de l'air.		
<i>Laboratoires participants : 50</i>		
1.	Chem-G1	<p><b>G1.1:</b> Réalisation de 20 comparaisons bilatérales d'étalons de référence pour l'ozone dans le cadre de la <b>coordination de la comparaison clé BIPM.QM-K1</b> (2020-2023), à l'aide de l'unique triade d'étalons du BIPM, afin d'assurer la cohérence des services d'étalonnage concernant les mesures de l'ozone troposphérique pour les réseaux locaux, nationaux, régionaux et mondiaux de surveillance de la qualité de l'air. <i>Laboratoires participants : 20</i></p> <p><b>G1.2:</b> Installation et validation de nouveaux systèmes électroniques des photomètres étalons de référence pour les <b>étalons nationaux de référence pour l'ozone</b>, à la demande des laboratoires nationaux participant à la comparaison clé BIPM.QM-K1.</p> <p><b>G1.3:</b> Coordination des comparaisons sur les gaz réactifs et les gaz pour la qualité de l'air (développement et mise en place de la comparaison en continu <b>BIPM.QM-K6</b> sur le <b>NO<sub>2</sub></b>), à l'aide des équipements de référence dynamiques de pointe du BIPM, afin de permettre aux laboratoires nationaux de métrologie de démontrer l'équivalence de leurs étalons pour la surveillance de la qualité de l'air et la vérification des émissions des véhicules. <i>Laboratoires participants : 30</i></p>
<b>Équipements de référence internationaux et comparaisons de gaz à effet de serre</b>		
Coordination de comparaisons afin de déterminer et d'améliorer l'équivalence internationale des étalons de gaz à forçage radiatif positif.		
<i>Laboratoires participants : 52</i>		
2.	Chem-G2	<p><b>G2.1:</b> Coordination de la comparaison clé <b>BIPM.QM-K2.a et b</b> sur le dioxyde de carbone dans l'air et l'azote, fondée sur un système manométrique unique maintenu au BIPM, en réalisant des comparaisons à la demande d'étalons de laboratoires nationaux de métrologie préparés par gravimétrie, pour étayer les mesures du CO<sub>2</sub> ambiant et des niveaux d'émission, ainsi que les comparaisons testant les aptitudes fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie développant des mélanges gazeux binaires. <i>Laboratoires participants : 20</i></p> <p><b>G2.2:</b> Mise en place et coordination de la comparaison clé <b>BIPM.QM-K5</b> des échelles de gaz à effet de serre pour le CO<sub>2</sub> dans l'air, en réalisant des comparaisons à la demande pour les laboratoires nationaux qui développent et maintiennent des étalons utilisés pour établir une échelle de gaz à effet de serre afin de déterminer le flux, les émissions et les concentrations de fond de l'air en se fondant sur deux ensembles d'étalons et sur l'équipement maintenus au BIPM, la valeur SI étant assignée à l'aide du système manométrique du BIPM, et mise en place d'une base de données en ligne fournissant les relations entre différentes échelles. <i>Laboratoires participants : 12</i></p>

		<p><b>G2.3:</b> Coordination de comparaisons des gaz à effet de serre CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, y compris achèvement de la comparaison clé <b>CCQM-K84.2023</b> sur le méthane aux niveaux ambiants, en se fondant sur des mesures comparatives effectuées au BIPM et en soutenant le développement par les laboratoires nationaux d'étalons de mesure des gaz à effet de serre et des émissions correspondantes.</p> <p><i>Laboratoires participants : 20</i></p>
<p><b>Équipements de référence internationaux et comparaisons de rapports isotopiques</b></p>		
<p>Coordination de comparaisons afin de soutenir l'infrastructure internationale d'étalons de mesure des rapports isotopiques, notamment les mesures de gaz à forçage radiatif.</p> <p><i>Laboratoires participants : 52</i></p>		
3.	Chem-G3	<p><b>G3.1:</b> Mise en place et coordination de la comparaison clé <b>BIPM.QM-K3</b> des rapports isotopiques du CO<sub>2</sub> dans des étalons de transfert de CO<sub>2</sub> pur produits sur place à cet effet, mesurés par spectrométrie de masse de rapports isotopiques (IRMS), en assurant la traçabilité à des matériaux carbonés de référence internationaux, afin de soutenir les laboratoires nationaux qui fournissent des étalons des rapports isotopiques du carbone, ainsi que ceux qui fournissent des matériaux de référence pour la fraction molaire de CO<sub>2</sub> dans l'air de la plus haute exactitude, grâce à un service de comparaison et d'étalonnage sur demande.</p> <p><i>Laboratoires participants : 40</i></p>
		<p><b>G3.2:</b> Mise en place et coordination de la comparaison clé <b>BIPM.QM-K4</b> des rapports isotopiques du CO<sub>2</sub> dans des étalons d'air, utilisant des équipements de référence maintenus au BIPM basés sur la séparation cryogénique du CO<sub>2</sub> et la mesure des rapports isotopiques par spectrométrie de masse, en assurant la traçabilité à des matériaux carbonés de référence internationaux, afin de soutenir les laboratoires nationaux qui fournissent des étalons de la fraction molaire et de la composition isotopique de CO<sub>2</sub> dans l'air, grâce à un service de comparaison sur demande.</p> <p><i>Laboratoires participants : 12</i></p>
		<p><b>G3.3:</b> Développement de méthodes pour réduire les incertitudes des mesures de rapports isotopiques du CO<sub>2</sub>, en se fondant sur la préparation de mélanges étalons de CO<sub>2</sub> de différentes compositions isotopiques bien établies, caractérisés avant et après mélange dans une matrice d'air sans CO<sub>2</sub> par spectrométrie de masse de rapports isotopiques et par spectroscopie infrarouge ; et développement de modèles visant à gérer les distributions non-stœchiométriques des isotopes dans les mélanges produits. Méthodes à appliquer aux comparaisons en cours de mesure des rapports isotopiques et des fractions molaires du CO<sub>2</sub> et soutien à apporter aux activités des laboratoires nationaux visant à réduire les incertitudes des valeurs traçables au SI.</p>

**Équivalence internationale des calibrateurs primaires organiques pour des applications dans les domaines de la chimie clinique et de la médecine de laboratoire, de l'analyse des aliments, de l'analyse de l'environnement, de la médecine légale et de la pharmacie**

<p><b>Comparaisons de référence de calibrateurs primaires organiques de molécules de petite taille (matériaux purs)</b></p>		
<p>Coordination de comparaisons afin d'assurer et d'améliorer l'équivalence internationale des calibrateurs organiques purs pour des applications dans les domaines de la chimie clinique et de la médecine de laboratoire, de l'analyse des aliments, de l'analyse de l'environnement, de la médecine légale et de la pharmacie.</p> <p><i>Laboratoires participants : 40</i></p>		
4.	Chem-O1	<p><b>O1.1:</b> Achèvement de la comparaison clé <b>CCQM-K148.c</b> d'analyse de pureté (poids moléculaire de 500 à 1000 Da) et rédaction des projets de rapport A et B, ainsi que du rapport final, afin de mettre en place une comparaison testant les compétences fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie et leur permettant de démontrer leurs aptitudes et leurs progrès continus pour établir la traçabilité au SI des mesures de molécules organiques de petite taille.</p> <p><i>Laboratoires participants : 20</i></p>
		<p><b>O1.2:</b> Coordination de la comparaison clé <b>CCQM-K148.a.1</b> d'analyse de pureté (matériaux non polaires organiques de poids moléculaire de 75 à 500 Da) avec assignation de valeur par bilan massique et par résonance magnétique nucléaire quantitative au BIPM, ainsi qu'analyse d'homogénéité et de stabilité, afin de mettre en place une comparaison testant les compétences fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie et leur permettant de démontrer leurs aptitudes et leurs progrès continus pour établir la traçabilité au SI des mesures de molécules organiques de petite taille sans polarité.</p> <p><i>Laboratoires participants : 20</i></p>
		<p><b>O1.3:</b> Rédaction de lignes directrices concernant l'évaluation de la pureté pour des échantillons de pesticides, médicaments et mycotoxines, afin de contribuer au transfert de connaissances et d'étayer la plateforme d'apprentissage en ligne du BIPM, ses modules, ainsi que les comparaisons pour les laboratoires nationaux développant un programme métrologique sur l'analyse organique pour assurer la sécurité alimentaire.</p>

### Comparaisons de référence de calibrateurs primaires organiques de molécules de petite taille (solutions d'étalonnage)

Coordination de comparaisons (matériaux de référence et méthodes) pour les calibrateurs organiques.

*Laboratoires participants : 60*

5.	Chem-02	<p><b>02.1:</b> Coordination de la comparaison clé de solutions d'étalonnage <b>CCQM-K78.a.1</b> (solution aqueuse à plusieurs composants), fondée sur des échantillons du BIPM préparés par gravimétrie avec des matériaux polaires à plusieurs composants, les fractions massiques de matériaux de référence primaires étant quantifiées à l'aide des équipements du BIPM de mesure de pureté, afin de mettre en place une comparaison testant les compétences fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie concernant les solutions d'étalonnage de matériaux organiques polaires. <i>Laboratoires participants : 20</i></p>
		<p><b>02.2:</b> Coordination de la comparaison de solutions d'étalonnage <b>CCQM-K78.b.1</b> (solution non polaire à plusieurs composants), fondée sur des solutions d'étalonnage du BIPM préparées par gravimétrie avec des matériaux non polaires à plusieurs composants, les fractions massiques de matériaux de référence primaires étant quantifiées à l'aide des équipements du BIPM de mesure de pureté, afin de mettre en place une comparaison testant les compétences fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie concernant les solutions d'étalonnage de matériaux organiques non polaires. <i>Laboratoires participants : 20</i></p>
		<p><b>02.3:</b> Coordination de la comparaison clé <b>CCQM-K154.e</b> (ochratoxine A), rédaction de lignes directrices concernant l'évaluation des calibrateurs et rédaction de documents de référence internes « Internal Standard Reference Data » (ISRDR) pour la résonance magnétique nucléaire, afin de soutenir les laboratoires nationaux qui développent et fournissent des étalons de mesure permettant d'assurer la sécurité alimentaire et qui étendent le champ d'application de la résonance magnétique nucléaire aux mesures traçables au SI de matériaux organiques, et afin de soutenir les services de mesure et comparaisons des laboratoires nationaux de métrologie. <i>Laboratoires participants : 20</i></p>

### Mise au point de méthodes de référence pour les calibrateurs primaires organiques de molécules de grande taille et leur comparaison

Coordination de comparaisons afin d'assurer et d'améliorer l'équivalence internationale des calibrateurs primaires organiques pour des applications dans les domaines de la chimie clinique et de la médecine de laboratoire, de la médecine légale et de la pharmacie.

*Laboratoires participants : 45*

6.	Chem-03	<p><b>03.1:</b> Achèvement de la comparaison clé <b>CCQM-K155.d</b> de calibrateurs primaires de peptides (poids moléculaire de 5 kDa à 10 kDa), fondée sur une caractérisation réalisée au BIPM par bilan massique et par analyse corrigée des acides aminés par rapport aux impuretés des protéines, afin de mettre en place une comparaison testant les compétences fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie concernant l'assignation de valeur à des matériaux de référence primaires de peptides à chaîne droite de poids moléculaires entre 5 kDa et 10 kDa, et afin d'étayer les systèmes de mesure de référence pour l'hormone parathyroïde (HPT) et leur développement pour le diagnostic et le contrôle des patients. <i>Laboratoires participants : 15</i></p>
		<p><b>03.2:</b> Coordination de la comparaison clé <b>CCQM-K115.e</b> sur la pureté de peptides/protéines (protéines intactes de poids moléculaire supérieur à 10 kDa), fondée sur des méthodologies développées lors de l'étude pilote en cours CCQM-P216 sur la quantification des anticorps monoclonaux du SARS-CoV-2, afin de mettre en place une comparaison testant les compétences fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie concernant l'assignation de valeur par des méthodes primaires de référence à des protéines de poids moléculaire supérieur à 10 kDa, et afin d'étayer les systèmes de mesure de référence pour le diagnostic et la thérapie. <i>Laboratoires participants : 15</i></p>
		<p><b>03.3:</b> Coordination de la comparaison clé <b>CCQM-K115.a.2</b> sur la pureté de peptides/protéines (peptides de poids moléculaire entre 1 kDa et 5 kDa), fondée sur une caractérisation réalisée au BIPM par bilan massique et par analyse des acides aminés corrigée par rapport aux impuretés des protéines, afin de mettre en place une comparaison testant les compétences fondamentales des laboratoires nationaux de métrologie concernant l'assignation de valeur à des matériaux de référence primaires de peptides de poids moléculaire de 1 kDa à 5 kDa, et afin d'étayer les systèmes de mesure de référence pour le diagnostic protéinique. <i>Laboratoires participants : 15</i></p>

## MÉTROLOGIE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

### Activités en métrologie des rayonnements ionisants

L'objectif du Département des rayonnements ionisants est de réduire la charge liée au pilotage de comparaisons, de renforcer les schémas de traçabilité bien établis et efficaces, d'être le point de référence pour réduire le besoin de comparaisons menées à grande échelle, et de travailler en étroite coopération avec des partenaires stratégiques afin d'augmenter la portée régionale du travail accompli. La priorité de ce programme de travail est de passer à la prochaine génération de techniques de comparaison d'étalons et de réalisation d'étalons primaires, de travailler avec les parties prenantes pour optimiser l'utilisation d'équipements onéreux, d'adopter de nouvelles technologies afin de pérenniser les méthodes utilisées par le département, et de fournir un service efficace aux laboratoires nationaux de métrologie, et laboratoires désignés, au niveau du CCRI et des organisations régionales de métrologie.

Les éléments moteurs externes concernant la métrologie des rayonnements ionisants ne cessent d'évoluer et de croître. L'évolution de la médecine nucléaire est portée par le besoin d'un diagnostic précoce et par la demande de meilleures thérapies contre le cancer ; le marché mondial de la médecine nucléaire devrait croître en passant de 7,4 milliards de dollars en 2021 à 14 milliards en 2026. Le démantèlement des réacteurs nucléaires de première génération (199 réacteurs ont déjà été mis hors service et 200 à 400 autres devraient être démantelés dans les vingt prochaines années) et le développement de la criminalistique nucléaire ont conduit à une demande accrue vis-à-vis de la métrologie des radionucléides, pour des questions à la fois de protection de l'environnement et de sûreté nucléaire.

L'incidence croissante du cancer (l'Organisation mondiale de la santé estime que le nombre de nouveaux cancers détectés chaque année augmentera de 70 % au cours des vingt prochaines années) entraîne également une augmentation de l'utilisation de la radiothérapie par faisceau externe, qui repose sur des technologies de plus en plus complexes, et de la curiethérapie, avec une pénurie de plusieurs milliers d'appareils de radiothérapie dans les pays en développement. L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a également constaté que les progrès réalisés en technologie de l'imagerie changent profondément la radiothérapie. On s'attend à une expansion de la protonthérapie, dont le marché mondial devrait atteindre les 3,6 milliards de dollars d'ici 2026, et à l'émergence de nouvelles approches comme la radiothérapie FLASH, utilisant des faisceaux d'électrons de hautes énergies.

Ces défis sociétaux soumettent les laboratoires nationaux et désignés à des demandes accrues concernant des étalons primaires de haute exactitude et leur dissémination à des étalons secondaires utilisés par les laboratoires de référence, les hôpitaux, l'industrie nucléaire et les services de sécurité. Ces demandes sont internationales : des essais cliniques de nouveaux produits radiopharmaceutiques, comme la théranostique et l'alpha-thérapie ciblée, sont conduits dans plusieurs pays et l'élimination en toute sécurité des déchets radioactifs est un sujet de préoccupation mondiale (les déchets radioactifs ne connaissant pas les frontières). La nécessité de démontrer l'équivalence des étalons primaires n'a jamais été aussi cruciale mais les laboratoires nationaux et désignés prêts à piloter des comparaisons sont confrontés à un problème unique : le poids réglementaire, logistique et pratique de l'expédition de matières dangereuses ou d'étalons de référence fragiles. C'est l'un des éléments moteurs du développement de systèmes contrôlés à distance et d'instruments transportables robustes, avec une électronique numérique, tels que le SIRTI.

Le BIPM continuera à trouver des solutions innovantes en explorant les possibilités de mettre en place de nouveaux services de dosimétrie à partir d'installations hors site. Le développement d'étalons qui permettront au BIPM de fournir des comparaisons et étalonnages répondant à l'évolution de la demande en matière de nouvelles technologies de radiothérapie et méthodes de traitement sera ainsi à l'étude. Dans le domaine des radionucléides, le nombre d'isotopes présentant un intérêt pour les laboratoires nationaux et désignés augmente et devient de plus en plus un défi car ces laboratoires mettent en place et proposent de plus en plus de services concernant des éléments à courte durée de vie et des émetteurs de rayonnement alpha et beta de basses énergies.

### **Stratégie concernant la métrologie des rayonnements ionisants**

Fournir des services de haute exactitude / précision permettant aux laboratoires de métrologie de comparer ou étalonner des étalons nationaux qui étayent la métrologie mondiale dans le domaine de la dosimétrie pour la radioprotection ou la santé, en mettant en particulier l'accent sur le soutien à apporter aux laboratoires de métrologie émergents et sur la dosimétrie nécessaire à de nouvelles formes de traitement comme la thérapie par radionucléides.

- *Accroître l'utilisation des services de comparaison et étalonnage en dosimétrie pour les photons de basses, moyennes et hautes énergies et pour la curiethérapie, en particulier au sein des laboratoires de métrologie émergents.*
- *Coordonner des services de comparaison pour les laboratoires nationaux dans le champ émergent de la thérapie par radionucléides.*

Travailler avec le CCRI et les organisations régionales de métrologie pour développer de nouveaux services afin de démontrer l'équivalence des étalons concernant de nouveaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire, ainsi que des radionucléides difficiles à mesurer. Pour les services existants, la priorité sera d'améliorer leur efficacité opérationnelle.

- *Développer de nouveaux services de comparaison de haute précision afin de couvrir les radionucléides difficiles à mesurer, comme les radionucléides à capture d'électrons et les radionucléides dans des chaînes de désintégration complexes, en concevant de nouveaux instruments lorsque ceux en place s'avèrent inadaptés.*
- *Travailler avec les organisations régionales de métrologie pour œuvrer à l'utilisation au niveau régional du SIRTI et exploiter les récentes avancées de systèmes portables utilisant la méthode TDCR, afin de mettre en place un réseau régional d'instruments permettant d'assurer la comparabilité des étalons de mesure de la radioactivité.*

Coopérer avec les parties prenantes, y compris d'autres organisations internationales ainsi que les organisations régionales de métrologie, pour proposer des activités de renforcement des capacités et de transfert des connaissances, en particulier pour les pays et entités économiques dont le système de métrologie est émergent.

- *Augmenter le service de coordination / co-pilotage des exercices de comparaison, en particulier pour les laboratoires émergents et ceux ayant besoin d'avoir accès à des équipements externes majeurs (comme pour la protonthérapie, la spectrométrie de masse ou l'imagerie quantitative).*
- *Coopérer avec les parties prenantes (telles que l'AIEA et les organisations régionales de métrologie) pour développer un programme complet de renforcement des capacités et de transfert des connaissances pour les métrologistes des rayonnements ionisants.*
- *Poursuivre le programme de détachements, dont des détachements en distanciel à temps partiel.*

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Dosimétrie des rayonnements</b>		
1.	IR-D1	<p><b>Système international de référence pour la dosimétrie des rayons x</b> Soutien à l'équivalence internationale des étalons nationaux pour la radiothérapie, le diagnostic par rayons x, la mammographie et la radioprotection, par des services de comparaisons et d'étalonnages. <i>Participation : 25 laboratoires nationaux de métrologie</i></p> <p><b>D1.1:</b> Validation des étalons primaires nationaux au moyen de comparaisons bilatérales et établissement de la traçabilité des étalons secondaires nationaux par des étalonnages : kerma dans l'air de basses énergies (BIPM.RI(I)-K2), de moyennes énergies (-K3) et mammographie (-K7) ; dose absorbée dans l'eau de moyennes énergies (-K9).</p> <p><b>D1.2:</b> Assurance qualité pour démontrer la haute exactitude et la stabilité à long terme des étalons primaires du BIPM et des faisceaux de référence des rayons x pour le kerma dans l'air et la dose absorbée dans l'eau. Amélioration continue des étalons du BIPM et des équipements de rayons x afin d'assurer leur fiabilité à long terme et leur conformité aux réglementations et normes en constante évolution.</p> <p><b>D1.3:</b> Développement d'une nouvelle installation pour les rayons x de basses énergies de référence afin d'améliorer l'efficacité et de pérenniser le service existant.</p>
2.	IR-D2	<p><b>Système international de référence pour la dosimétrie des rayons gamma</b> Soutien à l'équivalence internationale des étalons nationaux pour la radiothérapie, la curiethérapie, la radioprotection et la stérilisation par irradiation, au moyen de services de comparaisons et d'étalonnages. <i>Participation : 40 laboratoires nationaux de métrologie</i></p> <p><b>D2.1:</b> Validation des étalons primaires nationaux par des comparaisons bilatérales et établissement de la traçabilité des étalons secondaires nationaux par des étalonnages :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- faisceau de <math>^{60}\text{Co}</math> du BIPM : kerma dans l'air (BIPM.RI(I)-K1), dose absorbée dans l'eau (-K4) ;</li> <li>- faisceau de <math>^{137}\text{Cs}</math> hors site (AIEA) : kerma dans l'air (-K5) ;</li> <li>- source de <math>^{192}\text{Ir}</math> à niveau de dose élevé hors site : instrument voyageant pour des comparaisons d'étalons de référence du débit de kerma dans l'air (-K8).</li> </ul> <p><b>D2.2:</b> Assurance qualité pour démontrer la haute exactitude et la stabilité à long terme des étalons primaires du BIPM et des faisceaux de référence de rayonnement gamma pour le kerma dans l'air et la dose absorbée dans l'eau. Amélioration continue des étalons du BIPM et des équipements de rayonnement gamma afin d'assurer leur fiabilité à long terme et leur conformité aux réglementations et normes en constante évolution.</p>
3.	IR-D3	<p><b>Système international de référence pour la dosimétrie des rayonnements de hautes énergies</b> Soutien à l'équivalence internationale des étalons nationaux pour les faisceaux de rayonnement de hautes énergies afin de répondre aux besoins croissants et émergents en matière de dosimétrie pour la radiothérapie, en fournissant des services de comparaisons et d'étalonnages. <i>Participation : 15 laboratoires nationaux de métrologie</i></p> <p><b>D3.1:</b> Validation des étalons primaires nationaux par des comparaisons bilatérales et établissement de la traçabilité des étalons secondaires nationaux par des étalonnages réalisés sur l'installation hors site DOSEO : dose absorbée dans l'eau pour les faisceaux de photons de hautes énergies (BIPM.RI(I)-K6).</p> <p><b>D3.2:</b> Assurance qualité pour démontrer la haute exactitude et la stabilité à long terme des étalons primaires du BIPM (calorimètre en graphite) et des instruments de transfert pour la dose absorbée dans l'eau. Amélioration continue des étalons et équipements du BIPM afin d'assurer la fiabilité à long terme des mesures.</p> <p><b>D3.3:</b> Développement d'un nouveau calorimètre étalon pour les photons de hautes énergies avec une volume de détection de plus petite taille afin de réduire les incertitudes.</p> <p><b>D3.4:</b> Extension des services de comparaison et d'étalonnage aux électrons de hautes énergies en utilisant l'installation hors site DOSEO, à l'aide du nouveau calorimètre.</p>

Métrologie des radionucléides	
4.	<p><b>IR-R1</b></p> <p><b>Système international de référence pour les mesures d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma (SIR)</b></p> <p>Soutien à l'équivalence internationale des étalons nationaux pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma pour des applications dans les domaines de la médecine nucléaire, l'industrie nucléaire, la physique nucléaire, la protection de l'environnement, la radioprotection et la criminalistique nucléaire, en fournissant des services de comparaisons et d'étalonnages.</p> <p><i>Participation : 40</i></p> <p><b>R1.1:</b> Réalisation des comparaisons clés du BIPM (BIPM.RI(II)-K1) d'étalons nationaux de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma à l'aide des chambres d'ionisation de haute précision et de haute stabilité du SIR.</p> <p><b>R1.2:</b> Assurance qualité et amélioration continue afin de démontrer la haute précision et la stabilité sur le long terme des services du SIR et afin de garantir leur conformité aux réglementations et normes en constante évolution.</p> <p><b>R1.3:</b> Transfert des services du SIR vers des méthodes de mesure et équipement du SIR mis à jour, en utilisant des instruments de mesure de courant faible à la pointe de la technologie, afin d'assurer la continuité sur le long terme de l'équivalence internationale des étalons nationaux.</p>
5.	<p><b>IR-R2</b></p> <p><b>Système international de référence pour les mesures d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma à courte durée de vie (SIRTI)</b></p> <p>Soutien à l'équivalence internationale des étalons nationaux pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma à courte durée de vie pour des applications spécifiques, notamment dans le domaine de la médecine nucléaire, en fournissant des services de comparaisons et d'étalonnages.</p> <p><i>Participation : 10</i></p> <p><b>R2.1:</b> Réalisation des comparaisons clés du BIPM (BIPM.RI(II)-K4) d'étalons nationaux des radionucléides émetteurs de rayonnement gamma à courte durée de vie à l'aide du compteur à scintillation de haute précision et de haute stabilité du SIRTI, à distance ou sur site.</p> <p><b>R2.2:</b> Assurance qualité et amélioration continue afin de démontrer la haute précision et la stabilité sur le long terme des services du SIRTI et afin de garantir leur conformité aux réglementations et normes en constante évolution.</p> <p><b>R2.3:</b> Duplication du SIRTI en un second appareil équipé d'une électronique numérique dédiée, afin d'assurer la continuité sur le long terme des services du SIRTI, et transfert de la méthode SIRTI à plusieurs organisations régionales de métrologie.</p> <p><b>R2.4:</b> Extension des services du SIRTI à trois nouveaux radionucléides requérant des études métrologiques et des étalonnages croisés avec le SIR.</p>
6.	<p><b>IR-R3</b></p> <p><b>Système international de référence pour les mesures d'activité de radionucléides émetteurs de particules alpha et beta (ESIR)</b></p> <p>Soutien à l'équivalence internationale des étalons nationaux pour les radionucléides émetteurs de particules alpha et beta pour des applications dans les domaines de la médecine nucléaire, de la protection de l'environnement, de la radioprotection et de la criminalistique nucléaire, en fournissant des services de comparaisons et d'étalonnages.</p> <p><i>Laboratoires participants : 25</i></p> <p><b>R3.1:</b> Réalisation des comparaisons clés du BIPM (BIPM.RI(II)-K5) d'étalons nationaux des radionucléides émetteurs de particules beta de moyennes et hautes énergies à l'aide du système de comptage par scintillation de haute précision et de haute stabilité de l'ESIR, fondé sur la méthode TDCR.</p> <p><b>R3.2:</b> Assurance qualité et amélioration continue afin de démontrer la haute précision et la stabilité sur le long terme des services de l'ESIR et afin de garantir leur conformité aux réglementations et normes en constante évolution.</p> <p><b>R3.3:</b> Extension des services afin de couvrir d'autres radionucléides émetteurs de rayonnement alpha et beta de basses énergies, grâce à des systèmes numériques de traitement d'impulsions.</p>

## COORDINATION ET RELATIONS INSTITUTIONNELLES

Le **travail de coordination** vise à garantir que le système mondial de mesure permette d'obtenir des résultats de mesure comparables, adaptés et reconnus au niveau international. Les activités de coordination dans le cadre du CIPM MRA se poursuivront en mettant l'accent sur la mise en œuvre des principes FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable* - données trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables) en rendant les données de la KCDB compatibles avec le cadre numérique plus large développé par le CIPM.

Le **travail de relations internationales** a pour objectif de favoriser la coopération avec des organisations intergouvernementales qui, pour réaliser leur mission, ont besoin de mesures fiables ou font partie de l'infrastructure de la qualité, et vise à promouvoir la comparabilité mondiale des mesures. Ces activités seront conduites de façon à répondre de manière efficace et en temps opportun aux possibilités (et menaces) qui pourraient survenir au sein de la communauté des parties prenantes concernant la métrologie. Parmi les activités majeures dans le domaine des relations internationales figurent le fait d'accroître les interactions avec les organisations régionales de métrologie et d'autres organismes internationaux pertinents, afin de promouvoir les avantages qu'offre l'infrastructure métrologique mondiale par l'intermédiaire de l'infrastructure internationale de la qualité. Les activités en matière de relations internationales, menées en collaboration avec le CIPM, se concentreront sur l'exploration de modèles qui permettent de faciliter la participation des États qui ne prennent pas encore part aux activités du BIPM. La tendance à coopérer de façon encore plus étroite dans le cadre de l'infrastructure de la qualité se poursuivra.

### **Stratégie en matière de coordination et de relations institutionnelles**

Collaborer avec le CIPM afin d'améliorer et promouvoir la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les laboratoires nationaux de métrologie (CIPM MRA), en assurant la mise en œuvre de la KCDB et en soutenant le JCRB.

- *Fournir la base nécessaire pour mettre en place des données et métadonnées FAIR, en se concentrant en particulier sur le soutien que peut apporter la KCDB concernant les certificats d'étalonnage numériques, notamment en ce qui concerne l'évolution de la base de données et ses interfaces lisibles par machine.*

Collaborer avec les laboratoires nationaux de métrologie des États Membres et Associés et avec les organisations régionales de métrologie.

- *Collaborer avec le CIPM et les représentants des États Membres, en se concentrant en particulier sur les relations avec les États Membres existants et les organisations régionales de métrologie dans le cadre de l'exploration et potentiellement de la mise en œuvre de modèles permettant de faciliter la participation d'États qui ne prennent pas encore part aux activités du BIPM.*

Coopérer avec le CIPM afin de promouvoir l'importance de la comparabilité mondiale des mesures en collaboration avec des organisations internationales qui revêtent une importance stratégique pour la mission du BIPM (notamment l'OIML, l'ILAC, l'ISO et l'OMC-OTC) et travailler avec ces organisations, ainsi qu'avec d'autres, par le biais des Comités communs.

- *Œuvrer à une meilleure coordination de l'infrastructure de la qualité et à la reconnaissance par les organisations internationales et leurs parties prenantes de l'infrastructure de la qualité et du rôle central qu'y joue la métrologie.*
- *Mettre en place avec des organisations partenaires une stratégie de représentation partagée.*

## Activités de coordination

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Soutien aux Comités consultatifs (dont la mise à disposition de leur secrétaire exécutif)</b>		
1.	<b>PMD-C1</b>	Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCEM (électricité et magnétisme) afin de soutenir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. deux réunions du CCEM,</li> <li>2. les réunions annuelles des groupes de travail,</li> <li>3. une interaction proactive en matière de stratégie et communication, la coordination des processus du CCEM.</li> </ol>
2.	<b>PMD-C2</b>	Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCM (masses et grandeurs apparentées) afin de soutenir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. deux réunions du CCM,</li> <li>2. les réunions annuelles des groupes de travail,</li> <li>3. une interaction proactive en matière de stratégie et communication, la coordination des processus du CCM.</li> </ol>
3.	<b>PMD-C3</b>	Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCT (thermométrie) afin de soutenir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. deux réunions du CCT,</li> <li>2. les réunions annuelles des groupes de travail,</li> <li>3. une interaction proactive en matière de stratégie et communication, la coordination des processus du CCT.</li> </ol>
4.	<b>PMD-C4</b>	Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCU (thermométrie) afin de soutenir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. deux réunions du CCU,</li> <li>2. les réunions annuelles des groupes de travail,</li> <li>3. une interaction proactive en matière de stratégie et communication, la coordination des processus du CCU.</li> </ol>
5.	<b>Time-C1</b>	Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCTF (temps et fréquences) afin de soutenir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. l'organisation des réunions du CCTF (une réunion tous les 2 ou 3 ans) et les réunions plus fréquentes du Groupe de travail du CCTF sur la stratégie,</li> <li>2. le secrétariat du CCTF et des groupes de travail,</li> <li>3. une interaction proactive en matière de stratégie et communication,</li> <li>4. les comparaisons clés dans les domaines du temps et des fréquences et d'autres activités du CIPM MRA, la contribution à l'estimation des fréquences recommandées pour les représentations secondaires de la seconde.</li> </ol>
6.	<b>Time-C2</b>	Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCL (longueurs) afin de soutenir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. les réunions du CCL,</li> <li>2. la participation aux groupes de travail,</li> <li>3. une interaction proactive en matière de stratégie et communication,</li> <li>4. la coordination des activités dans le domaine des longueurs entre les laboratoires nationaux de métrologie ; les comparaisons clés dans le domaine des longueurs et le soutien aux comparaisons de lasers stabilisés pilotées par des laboratoires nationaux de métrologie, la recommandation de fréquences étalons et de longueurs d'onde pour la réalisation du mètre.</li> </ol>
7.	<b>Time-C3</b>	Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCAUV (acoustique, ultrasons et vibrations) afin de soutenir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. les réunions bisannuelles du CCAUV et les réunions de ses trois groupes de travail,</li> <li>2. une interaction proactive en matière de stratégie et communication,</li> <li>3. l'élaboration de plans stratégiques,</li> <li>4. la coordination de l'examen des rapports de comparaison du comité consultatif et des organisations régionales de métrologie avant leur publication, le travail de collaboration avec les organisations régionales de métrologie et avec l'OTICE.</li> </ol>

8.	Chem-C1	<p>Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCQM (chimie et biologie) afin de soutenir :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. les réunions annuelles du CCQM (quatre réunions plénières) et les réunions des onze groupes de travail (en présentiel et en ligne),</li> <li>2. une interaction proactive en matière de stratégie et communication,</li> <li>3. la coordination de l'examen des rapports de comparaison du comité consultatif et des organisations régionales de métrologie avant leur publication,</li> <li>4. le développement et l'examen de documents et directives du CCQM, l'organisation et la coordination d'ateliers du CCQM.</li> </ol>
9.	Chem-C2	<p>Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCPR (photométrie et radiométrie) afin de soutenir :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. deux réunions plénières du CCPR et les réunions des groupes de travail,</li> <li>2. une interaction proactive en matière de stratégie et communication,</li> <li>3. la coordination de l'examen des rapports de comparaison du comité consultatif et des organisations régionales de métrologie avant leur publication, le développement et l'examen de documents et directives du CCPR.</li> </ol>
10.	IR-C1	<p>Mise à disposition du secrétaire exécutif du CCRI (rayonnements ionisants) afin de soutenir :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. la réunion bisannuelle du CCRI et les réunions des Sections I, II et III,</li> <li>2. les réunions régulières des sept groupes de travail du CCRI,</li> <li>3. l'élaboration de plans stratégiques, la coordination de la collaboration avec les organisations régionales de métrologie.</li> </ol>
<b>Coordination du CIPM MRA et mise à disposition de la KCDB</b>		
11.	ILC-C1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coordination des mécanismes du CIPM MRA par l'intermédiaire du JCRB.</li> <li>2. Mise à disposition de la base de données de la KCDB et de son API (ainsi que du secrétariat exécutif du JCRB).</li> <li>3. Maintenance et mises à jour mineures de la KCDB.</li> <li>4. Publication des données de comparaisons et gestion des CMCs. Conseils fournis aux signataires du CIPM MRA et exploitation des données pour les parties prenantes.</li> </ol>
12.	ILC-C2	<p>Mise à disposition du secrétaire exécutif du JCRB (poste en détachement) afin de soutenir :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. l'organisation et la participation aux deux réunions annuelles du JCRB,</li> <li>2. la surveillance proactive de la procédure du JCRB concernant l'examen des CMCs,</li> <li>3. l'analyse et la production de rapport sur l'efficacité et l'efficacé de la procédure du JCRB concernant l'examen des CMCs,</li> <li>4. la maintenance des documents du CIPM MRA, de la base de données du JCRB, du répertoire des laboratoires désignés, etc.</li> <li>5. la coordination avec le bureau de la KCDB, l'aide à apporter aux signataires du CIPM MRA et aux organisations régionales de métrologie.</li> </ol>
<b>JCGM</b>		
13.	ILC-C3	<p>Mise à disposition du secrétaire exécutif et du rapporteur du JCGM (une réunion annuelle) et du Groupe de travail 2 du JCGM sur le VIM (deux réunions annuelles), soutien général au JCGM et représentation au sein du Groupe de travail 2.</p>
14.	IR-C2	<p>Mise à disposition du secrétaire scientifique du Groupe de travail 1 du JCGM sur le GUM (deux réunions annuelles) et soutien concernant le rapporteur.</p>
<b>JCTLM</b>		
15.	Chem-C3	<p>Soutien concernant :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. les réunions du Comité exécutif et des groupes de travail du JCTLM (en présentiel et en ligne),</li> <li>2. la procédure de sélection et d'examen des données à intégrer à la base de données du JCTLM,</li> <li>3. la maintenance et l'amélioration continue de la base de données du JCTLM,</li> <li>4. les réunions des parties prenantes du JCTLM, le développement de programmes en ligne sur les procédures de sélection et d'examen des données à intégrer à la base de données du JCTLM.</li> </ol>

## Relations institutionnelles

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Collaboration avec les États Membres, les Associés, le CIPM et les organisations régionales de métrologie</b>		
16.	ILC-L1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soutien apporté aux États Membres et aux Associés, au CIPM et au directeur du BIPM.</li> <li>2. Promotion de la Convention du Mètre et soutien aux potentiels États Membres et Associés.</li> <li>3. Soutien apporté au CIPM concernant ses activités pour parvenir à une adhésion universelle à la Convention du Mètre.</li> </ol> <p>Soutien apporté aux organisations régionales de métrologie (AFRIMETS, APMP, COOMET, EURAMET, GULFMET et SIM) et représentation du BIPM auprès de ces organisations.</p>
17.	PMD-L1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Représentation du BIPM au sein du CODATA Task Group on Fundamental Constants (4 réunions).</li> <li>2. Représentation du BIPM au sein du Comité exécutif de la CPEM (Conférence on Precision Electromagnetic Measurements) (4 réunions).</li> </ol> <p>Représentation du BIPM lors des réunions des comités techniques des organisations régionales de métrologie sur la masse, l'électricité et la thermométrie (8 réunions).</p>
18.	Time-L1	<p>Coordination et promotion des activités du temps afin de faire progresser la compréhension et le développement des échelles de temps, ainsi que leurs applications.</p> <p>Promotion de l'importance d'une unique échelle de temps de référence au niveau international et de sa mise en œuvre correcte dans toutes les applications, y compris les projets scientifiques et les systèmes industriels comme les réseaux numériques et les systèmes satellites.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Collaboration avec des organisations scientifiques telles que l'IGS, l'ICG concernant les systèmes GNSS, l'UAI, l'UIGG, l'IERS, l'URSI.</li> </ol> <p>Collaboration avec des organisations d'application industrielle comme l'UIT.</p>
19.	Chem-L1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Maintien des relations de travail avec l'IFCC, l'ICSH, l'ISO TC 212, l'OMS, l'IUPAC, l'AIEA, l'OMM, l'ISO TC 207, l'ISO TC 146, l'AMA, et le Codex, en soutien aux activités du CCQM et du JCTLM.</li> <li>2. Soutien concernant les activités de relations internationales requises pour le Sous-groupe de travail du CCQM sur les sections d'absorption de l'ozone afin de faciliter la mise en œuvre au niveau international des valeurs recommandées par le CCQM pour les sections efficaces d'absorption de l'ozone troposphérique et en assurer la surveillance mondiale.</li> <li>3. Soutien concernant les activités de relations internationales requises pour le Sous-groupe de travail sur les comparaisons des échelles de gaz à effet de serre du CCQM afin de faciliter l'expansion de l'infrastructure mondiale de mesure des gaz à effet de serre et contribuer à la vérification des inventaires et des sources d'émissions.</li> <li>4. Soutien concernant les activités de relations internationales requises afin d'étayer les initiatives des groupes spécifiques du CIPM dans les domaines de la santé, de la sécurité alimentaire et de l'environnement et du climat.</li> </ol>
20.	IR-L1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. International Commission on Radiation Units (ICRU) (membre de la Commission principale et membre de certains comités de rédaction « Report Committees »).</li> <li>2. Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (Comité scientifique des laboratoires secondaires de dosimétrie).</li> <li>3. International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM).</li> <li>4. ISO (réunions de l'ISO/TC 85/SC 2 et de groupes de travail).</li> </ol>
<b>Soutien concernant la réunion des directeurs des laboratoires nationaux et celles des présidents/secrétaires des organisations régionales de métrologie</b>		
21.	ILC-L2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coopération avec le panel de directeurs de laboratoires nationaux de métrologie afin d'organiser une réunion annuelle au BIPM.</li> <li>2. Développement d'une perspective globale sur des sujets clés.</li> <li>3. Soutien ciblé à apporter aux États dont le système métrologique est émergent.</li> </ol> <p>Organisation des réunions annuelles rassemblant le BIPM et les présidents des organisations régionales de métrologie.</p>
<b>Collaboration avec des partenaires stratégiques</b>		
22.	ILC-L3	<p>Collaboration institutionnelle avec des organisations intergouvernementales et organismes internationaux, ainsi que des organisations faisant partie de l'infrastructure de la qualité :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– INetQI, OIML, ONUDI, UNESCO, ILAC, ISO, OCDE, OMC, Banque mondiale.</li> </ul> <p>Relations institutionnelles avec d'autres organisations internationales selon les besoins.</p>

<b>Analyse prospective en coopération avec de jeunes métrologistes</b>		
<b>23.</b>	<b>ILC-L4</b>	<p>Faciliter l'échange d'idées visionnaires au sujet des défis et opportunités à venir par le biais d'ateliers, débats et entretiens avec de jeunes métrologistes afin de stimuler la réflexion stratégique sur les questions et défis s'inscrivant dans le long terme.</p> <p>Cet exercice, qui sera conduit selon une approche « de bas en haut » en collaboration avec les organisations régionales de métrologie, permettra de définir une perspective commune qui sera présentée lors du 150<sup>e</sup> anniversaire de la signature de la Convention du mètre, le 20 mai 2025.</p>

## COMMUNICATION ET PROMOTION

### Stratégie concernant la communication et la promotion

#### **Communiquer de façon efficace (avec les États Membres, de potentiels États Membres et d'autres parties prenantes clés) sur la Convention du Mètre et le SI.**

- Appliquer la politique du CIPM concernant l'accès libre aux documents du BIPM et des Comités consultatifs.
- Renforcer le succès de la Journée mondiale de la métrologie, en doublant la participation, à l'aide de tous les supports possibles.
- Promouvoir les succès et réalisations du BIPM lors de ses 150 années d'existence et lancer la stratégie du CIPM à compter de 2030 lors d'un événement majeur à l'occasion du 150<sup>e</sup> anniversaire (le 20 mai 2025) de la signature de la Convention du Mètre.

#### **Informers la communauté scientifique, le grand public et les décideurs des questions liées à la métrologie et à ses avantages, par le biais des publications, des réunions et du site internet du BIPM.**

- Identifier (avec le CIPM) les sujets d'importance pour la communauté de la métrologie qui feront l'objet d'un atelier du BIPM et/ou d'un numéro spécial de *Metrologia*.
- S'adapter de façon efficace à l'évolution rapide des médias électroniques et garantir que le BIPM continue à fournir des services efficaces et évolue avec les nouvelles technologies (notamment en ce qui concerne l'organisation des réunions en ligne, le fait de garantir l'authenticité des documents et signatures, ainsi que la mise en place le vote en ligne).
- Assurer le succès de *Metrologia*, qui constitue la publication scientifique clé dans le domaine de la métrologie de haut niveau, renforcer sa portée en parvenant à publier des articles métrologiques de disciplines qui, de façon historique, n'avaient pas cherché à paraître dans *Metrologia*, surveiller et adapter la transition vers l'accès libre des articles.

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Promotion, production de rapports, publications et site internet du BIPM</b>		
1.	ILC-CP1	Gestion du site internet du BIPM : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Continuer à s'adapter de façon efficace à l'évolution rapide des médias électroniques et garantir que le site internet continue à fournir des services efficaces et donne une image moderne du BIPM.</li> <li>2. Développer de nouveaux services web afin de répondre aux besoins du BIPM, du CIPM et des Comités consultatifs. Adapter le site pour intégrer des pages de destination pour les documents publiés par le BIPM et disposant d'un identifiant numérique (DOI) (voir ILC-DT1. 2).</li> </ol>
2.	ILC-CP2	Promotion et mise en valeur : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Créer des newsletters, posters et vidéos afin de soutenir les activités du BIPM.</li> <li>2. Mettre en place un répertoire d'images du BIPM.</li> <li>3. Collaborer avec les équipes de communication des organisations régionales de métrologie afin de mettre des ressources en commun et d'optimiser l'impact régional et mondial des campagnes de communication. Développer la présence du BIPM sur les réseaux sociaux, notamment YouTube, LinkedIn et Twitter.</li> </ol>
3.	ILC-CP3	Publications : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Publier les rapports de réunion (incluant leur rédaction/teneur des procès-verbaux, édition, traduction vers le français, mise en page et impression si nécessaire) pour le BIPM, le CIPM, la CGPM et les Comités communs.</li> </ol>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Éditer, traduire vers le français si nécessaire, mettre en page et publier d'autres rapports et documents clés.</li> <li>3. Éditer des articles rédigés par les membres du personnel du BIPM pour publication dans la littérature scientifique. Enregistrer les publications du BIPM dans un système externe afin de pouvoir les retrouver et y accéder facilement (voir ILC-DT7).</li> </ol>
4.	ILC-CP4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Éditer et publier <i>Metrologia</i>.</li> <li>2. Assurer le succès de <i>Metrologia</i>, qui constitue la publication scientifique clé dans le domaine de la métrologie de haut niveau, en s'appuyant sur une équipe éditoriale solide et des partenaires d'édition adéquats.</li> <li>3. Collaborer avec le CIPM et les Comités consultatifs pour identifier des thématiques d'intérêt et des publications qui pourraient être incluses à la section <i>Guides, Standards and Conventions</i> de <i>Metrologia</i>.</li> <li>4. Publier des numéros spéciaux sur des sujets d'intérêt clés.</li> <li>5. Maintenir la viabilité du magazine en tenant compte de l'évolution des tendances, comme la transition vers des publications à accès libre.</li> <li>6. Encourager la publication dans <i>Metrologia</i> par des scientifiques expérimentés d'articles de synthèse en libre accès, par le financement du processus de prise en charge des articles pour certains articles sélectionnés.</li> <li>7. Célébrer le 60<sup>e</sup> anniversaire de <i>Metrologia</i> en 2025, parallèlement aux festivités de l'anniversaire de la signature de la Convention du Mètre. Mettre à disposition un rédacteur adjoint externe.</li> </ol>
5.	ILC-CP5	Abonnements à des revues (version en ligne ou imprimée), achat ou location d'articles scientifiques individuels, achat de livres de référence pour les membres du personnel du BIPM.
<b>Journée mondiale de la métrologie</b>		
6.	ILC-CP6	<p>Renforcer le succès de la Journée mondiale de la métrologie, en doublant la participation, à l'aide de tous les supports possibles (projet mené conjointement avec l'OIML) :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mise à disposition du contenu du site internet de la Journée mondiale de la métrologie : <ul style="list-style-type: none"> <li>– poster (créé en consultation avec les organisations régionales de métrologie et le laboratoire national de métrologie sélectionné),</li> <li>– messages des directeurs et communiqué de presse,</li> <li>– posters et liste des événements organisés par l'ensemble des pays participants,</li> </ul> </li> <li>2. Participation à 4 événements nationaux minimum et organisations d'événements au BIPM pour les représentants des ambassades, Promotion de la Journée mondiale de la métrologie avec les parties prenantes nationales, régionales et internationales via les réseaux sociaux.</li> </ol>
<b>Ateliers sur des sujets clés</b>		
7.	ILC-CP7	Identifier (en consultation avec le CIPM et les laboratoires nationaux de métrologie) les sujets d'importance pour la communauté de la métrologie qui doivent faire l'objet d'un atelier du BIPM.

## TRANSFORMATION NUMÉRIQUE ET NOUVEAUX SERVICES NUMÉRIQUES

L'objectif est de développer des compétences afin de devenir un pilier de la confiance en matière de transformation numérique de la métrologie, en faisant évoluer les services du BIPM et en soutenant le travail du CIPM et celui de la communauté de la métrologie.

### **Stratégie en matière de transformation numérique**

#### **Développer un ensemble de nouveaux services web de haute qualité qui donnent accès aux données et outils en ligne fournis par le BIPM.**

- Répondre aux besoins concernant des services de données interopérables, réutilisables et exploitables par machine.
- Développer et publier une annexe de la Brochure sur le SI portant sur les sujets liés aux données fondamentales du SI.
- Mettre en place un groupe de travail, composé de membres du personnel du BIPM et, lorsque possible, de spécialistes détachés de laboratoires nationaux et d'organisations avec lesquelles le BIPM collabore, afin de faire progresser la transformation numérique des services du BIPM.

#### **Contribuer au développement continu d'un cadre numérique du SI respectant les principes FAIR et à d'autres initiatives du CIPM sur la transformation numérique des mesures mondiales.**

- Développer un portail web fondé sur le Registre international de ressources métrologiques (*International Metrology Resource Registry* - IMRR) afin de pouvoir répondre aux besoins de la communauté mondiale de la métrologie d'accéder à des données métrologiques qui respectent les données FAIR, à des certificats d'étalonnage numériques et à d'autres informations numériques clés pour la communauté de la métrologie. Soutenir le CIPM afin de parvenir à un consensus sur des lignes directrices concernant l'application des principes FAIR aux données et métadonnées de la métrologie. Développer des services appropriés qui bénéficient à la communauté de la métrologie et à ses parties prenantes afin de devenir un pilier de la confiance.

#### **Soutenir le développement de la communauté des laboratoires nationaux de la métrologie en renforçant la capacité mondiale en matière de transformation numérique.**

- Organiser et mettre en place des activités de renforcement des capacités sur la transformation numérique.
- Promouvoir le travail du CIPM sur l'utilisation des principes FAIR auprès des laboratoires nationaux de métrologie.
- Tenir régulièrement des webinaires sur des sujets en lien avec la transformation numérique.
- Travailler avec les organisations régionales de métrologie afin de faciliter le partage des meilleures pratiques (notamment des études de cas) entre les laboratoires nationaux de métrologie.

### **Note sur les projets de transformation numérique proposés**

*Les besoins en matière de transformation numérique ont rapidement évolué alors que le présent programme de travail était en cours de rédaction. Nombre des nouvelles exigences ont été établies sous la supervision du Groupe spécifique du CIPM sur le SI numérique et de son groupe d'experts. Le fait de définir les nouvelles fonctionnalités numériques qui seront nécessaires a fait ressortir les possibilités d'étendre certains services du BIPM ou d'en créer de nouveaux. Les projets suivants ont été préparés pour décrire au mieux ces exigences et possibilités, selon les éléments à disposition au moment de la rédaction du programme de travail.*

*Deux des activités ci-dessous portent la référence "XXX" et n'ont pas été attribuées à un département spécifique du BIPM car les ressources en personnel et les compétences requises ne peuvent pas encore être déterminées.*

Ces deux activités seront programmées et approuvées par le CIPM après la mise en œuvre du programme de travail, lorsque les exigences auront été définies.

### Développement de références numériques pour le SI

N	Code du projet	Services fournis et activités
<p>La base du cadre numérique du SI proposé par le CIPM sera de fournir, dans un format numérique, des données de référence qui donnent la définition essentielle du SI. Ces données constitueront une représentation numérique des données actuellement fournies dans la Brochure sur le SI qui contient l'ensemble des décisions prises par la CGPM et le CIPM au sujet du SI. En outre, des bases de données et API associées seront développées en collaboration avec des groupes de travail au sein de chacun des Comités consultatifs pour faciliter la lisibilité par machine des mises en pratique des unités de base du SI.</p>		
1.	DT1	<p><b>ILC-DT1.1:</b> Développement d'un Point de référence unique du SI qui constituera la ressource numérique (lisible par machine) à partir de laquelle toutes les informations sur les unités de base, les unités dérivées, les préfixes et les unités dont l'usage est accepté avec le SI seront numériquement accessibles.</p>
		<p><b>ILC-DT1.2:</b> Développement et gestion d'identifiants numériques pour les documents de référence étayant le Point de référence unique du SI (tels que les définitions, résolutions, CMCs, etc.)</p>
2.	DT2	<p><b>Time-DT2:</b> Collaboration avec des représentants du CCL et du CCTF afin d'assurer la lisibilité par machine des fréquences étalons qui étayent la mise en pratique du mètre et les représentations secondaires de la seconde. Ce travail requerra le développement d'une base de données et d'une API propres à chaque communauté.</p>
		<p><b>PMD-DT2:</b> Collaboration avec des représentants du CCT afin d'assurer la lisibilité par machine des données approuvées pour les points fixes de l'EIT-90 précisés dans la mise en pratique du kelvin. Ce travail requerra le développement d'une base de données et d'une API spécifiques.</p>
		<p><b>XXX-DT2:</b> La lisibilité par machine de la mise en pratique des autres unités de base sera mise en œuvre au cours du programme de travail. Cette activité sera menée en collaboration avec des groupes de travail au sein de chacun des Comités consultatifs concernés afin de garantir l'adéquation des solutions développées aux besoins de chaque communauté.</p>

### Développement de nouveaux services numériques

N	Code du projet	Services fournis et activités
<p>Les références numériques développées dans le cadre des activités précédemment mentionnées constitueront la base de nouveaux services métrologiques au BIPM, dans les laboratoires nationaux de métrologie et dans les secteurs de la société qui utilisent le SI. Ces services permettront de disposer de données qui pourront être analysées ; ils amélioreront la qualité des données et augmenteront la fiabilité de leur utilisation. Les projets suivants décrivent les actions prévues afin de développer certains de ces nouveaux services numériques au BIPM.</p>		
3.	DT3	<p><b>ILC-DT3:</b> Prendre les mesures nécessaires pour s'assurer que l'environnement de la KCDB permet de fournir des données lisibles par machine.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Mise à niveau de la base de données de la KCDB et création d'un back office pour fournir des CMCs numériques et étayer les certificats d'étalonnage numériques.</li> <li>2) Développement et maintenance d'une API pour les CMCs numériques.</li> </ol>
4.	DT4	<p><b>Time-DT4:</b> Prendre les mesures nécessaires pour s'assurer que les données de l'UTC et de l'UTC rapide, ainsi que d'autres services actuellement disponibles à partir de la base de données du Département du temps du BIPM, sont disponibles dans un format lisible par machine.</p>
5.	DT5	<p><b>Chem-DT5:</b> Maintenir la lisibilité par machine de la base de données du JCTLM. Continuer à assurer la lisibilité par machine de la base de données par de futures mises à jour opérationnelles.</p>
6.	DT6	<p><b>ILC-DT6:</b> Développer de nouveaux services numériques, tel que requis par le CIPM et les Comités consultatifs, notamment en étendant la lisibilité par machine de la KCDB aux résultats des comparaisons clés et supplémentaires (Annexe B).</p>

## Développement d'un nouveau portail de données et contribution à la mise en place des fonctions « interopérabilité » et « réutilisation »

N	Code du projet	Services fournis et activités
<p>Afin de fournir un accès efficace aux nouveaux services numériques décrits dans les projets précédents, ces derniers seront accessibles soit directement, soit via le Registre international de ressources métrologiques (IMRR) qui est déjà hébergé sur le site internet du BIPM suite à une collaboration avec le NIST. L'objectif est d'étendre considérablement la fonctionnalité de l'IMRR pour donner directement accès (via des API) aux données contenues dans les ressources du registre.</p> <p>En outre, cela contribuera au développement de la couche ressources du cadre numérique du SI concernant l'interopérabilité et le caractère réutilisable des données. Cette couche comprend les services de mapping, traduction et ontologie nécessaires pour développer les fonctions d'interopérabilité et de réutilisation des principes FAIR.</p>		
7.	DT7	<p><b>ILC-DT7:</b> Consolider l'IMRR en collaborant avec les Comités consultatifs afin d'identifier les données clés qu'il serait utile de partager au sein de la communauté de la métrologie ; encourager l'intégration des données étayant les certificats d'étalonnage numériques ; continuer à développer l'IMRR pour qu'il réponde aux principes FAIR afin de pouvoir exploiter directement les ressources par les API.</p>
8.	DT8	<p><b>XXX-DT8:</b> Assurer l'interopérabilité des représentations des unités de mesure par le développement d'un service de mapping entre les systèmes de représentation des unités de mesure largement adoptés et alignés avec les unités SI ; permettre la représentation sémantique des concepts fondamentaux de la métrologie par le développement des ontologies appropriées ; développer des métadonnées ainsi qu'un schéma de métadonnées ('m-layer') étayant la traduction numérique des unités et grandeurs ; soutenir le Groupe de travail 2 du JCGM dans sa révision du VIM annoté afin de répondre aux besoins de lisibilité et d'exploitation par machine, si possible / au besoin.</p>

## Autres activités de transformation numérique, notamment le soutien apporté au CIPM

N	Code du projet	Services fournis et activités
9.	DT9	<p><b>PMD-DT9:</b> Développer et étayer des certificats d'étalonnage numériques pour les étalonnages effectués par les département scientifique du BIPM (projet dirigé par le Département de la métrologie en physique).</p> <p><b>ILC-DT9:</b> Coordonner un groupe de discussion sur le numérique composé de membres du personnel du BIPM travaillant sur des projets de transformation numérique afin d'assurer une collaboration efficace sur ces sujets.</p>
10.	DT10	<p><b>ILC-DT10:</b> Soutenir le travail du Groupe spécifique du CIPM sur le SI numérique et de son groupe d'experts et contribuer à leurs réunions. Faire appel à des consultants externes pour soutenir les activités de transformation numérique précédemment décrites.</p>

## SERVICES INFORMATIQUES

### Activités en matière de technologies de l'information

Les activités du BIPM reposent sur une infrastructure et des services informatiques pleinement opérationnels.

En raison de l'obsolescence et de l'expiration de garantie de certains équipements, des composantes de l'infrastructure informatique interne, comme l'infrastructure réseau et le système de téléphonie, devront être remplacées au cours du programme de travail. Il sera alors nécessaire de prendre en considération les nouvelles technologies, comme l'intégration de la téléphonie aux outils collaboratifs, le stockage des données dans le Cloud, l'évolution des technologies réseaux et les mesures de sécurité associées.

Les services web hébergés par le BIPM, comme les bases de données des applications web, devront être accessibles à l'extérieur du BIPM de façon permanente et en toute sécurité, ce qui requerra une architecture web et de base de données interne fiable.

Les logiciels collaboratifs fondés sur des services Cloud, qui augmentent considérablement les possibilités offertes aux membres des groupes de travail telles que le partage d'informations et de documents, seront de plus en plus utilisés. L'utilisation de services Cloud pour l'archivage à long terme des données sera également étudiée.

Par ailleurs, l'équipe informatique du BIPM continuera à assurer la gestion du parc matériel et logiciel, ainsi que les services de maintenance et de dépannage d'applications scientifiques, financières et administratives, afin d'assurer le bon fonctionnement des systèmes informatisés et des communications électroniques.

#### **Stratégie concernant les services informatiques**

1. Fournir l'infrastructure informatique essentielle en assurant sa sécurité, sa fiabilité et sa rentabilité dans le cadre de l'utilisation accrue de services Cloud et du travail collaboratif.
2. Aider les départements scientifiques à effectuer leur transformation numérique et à proposer des services numériques en mettant en place l'infrastructure adaptée, notamment des plateformes logicielles sûres et efficaces.
3. Contribuer à répondre aux besoins en matière d'étalonnage à distance et d'expériences ayant recours à des ordinateurs à distance, en utilisant des normes de communication, des protocoles sûrs, des outils collaboratifs et des outils audio-vidéo à distance, ainsi que des processus automatisés.
4. Fournir une infrastructure fiable pour un ensemble de services web destinés à la communauté de la métrologie : ces services donneront accès à des données à partir de critères de recherche et pourront être traités par toute application informatique dans un environnement sécurisé.
5. Continuer à offrir au personnel du BIPM un haut niveau de qualité en matière d'assistance, de maintenance d'application et de dépannage.

## Infrastructures informatiques : réseau, stockage et sécurité

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Infrastructure réseau</b> En raison de la durée de vie et de l'expiration de la garantie de certains équipements, certaines composantes de l'infrastructure du datacenter du BIPM devront être renouvelées entre 2024 et 2027. Les équipements centraux et d'extrémité du réseau, installés en 2013, arrivent en fin de contrat de maintenance et devront être remplacés en 2024.		
1.	INF-NNA	NNA.1: Infrastructure centrale du réseau.
		NNA.2: Infrastructure d'extrémité du réseau.
		NNA.3: Licences et services.
<b>Infrastructure de stockage</b> Du fait de l'utilisation accrue du stockage dans le cloud comme solution principale pour l'hébergement de données externes, le système de stockage de données en réseau, qui héberge les services informatiques et les données des utilisateurs internes, devra être mis à jour en 2027.		
2.	INF-NSA	NSA.1/NSA.2: Infrastructure de stockage.
		NSA.3: Infrastructure de sauvegarde.
		NSA.4: Licences et services.
<b>Infrastructure de sécurité</b> L'infrastructure de sécurité du réseau – qui comprend le contrôle d'accès, la sécurité des applications, les pare-feu, les réseaux privés virtuels (VPN), l'analyse des comportements, les systèmes de prévention des intrusions et la sécurité sans fil – sera réévaluée et certaines composantes renouvelées. Un audit sécurité est programmé en 2026.		
3.	INF-SEC	SEC.1: Groupe de pare-feux et systèmes de prévention des intrusions.
		SEC.2: Service cloud anti-virus.
		SEC.3: Services et équipements d'authentification multifacteurs.
		SEC.4: Licences et services.
		SEC.5: Audit externe de la sécurité informatique.

## Services informatiques : internet, bases de données, services scientifiques et cloud

N	Code du projet	Services fournis et activités
<b>Serveurs et plateforme de virtualisation pour les services d'hébergement</b> Les services web du BIPM et tous les services intranet reposent sur une plateforme de virtualisation qui fonctionne à partir de serveurs matériels dédiés dans un schéma de récupération des données en cas de sinistre. Cela permet une redondance des services et une répartition de charge des services Web entre les différents serveurs virtuels. La durée de vie normale des serveurs matériels étant de cinq ans, ils devront être remplacés en 2026.		
4.	SRV-SER	SER.1/2: Plateforme de virtualisation et hébergement de matériel.
		SER.3: Serveurs d'équilibrage de charge.
		SER.3: Licences et services.

<b>Services liés au système téléphonique</b>		
<p>Dans le cadre du changement du service téléphonique en 2024, l'équipe informatique du BIPM donnera la priorité à une interaction solide entre le service téléphonique traditionnel et les services Office365 afin de disposer d'une solution téléphonique complète fondée sur le cloud et offrant de nouveaux services.</p>		
5.	SRV-PH	PH.1: Infrastructure centrale.
		PH.2: Liaison de données dédiée à la téléphonie
		PH.3: Équipements téléphoniques.
		PH.4: Licences et services.
<b>Bases de données, services scientifiques et cloud</b>		
<p>Parmi les autres services web, les bases de données jouent un rôle majeur pour répondre aux besoins de la communauté mondiale de la métrologie. L'objectif est de consolider l'ensemble des bases de données en un unique registre à partir duquel la communauté de la métrologie pourra effectuer des recherches et trouver des données.</p> <p>Les services cloud d'Office365 ont un rôle clé à jouer dans le partage d'informations entre les parties prenantes du BIPM, comme les groupes de travail. Ces services ont amélioré la communication et offrent un gain de productivité. D'autres services cloud seront mis en place, comme l'archivage à long terme des données et un pare-feu web en ligne.</p>		
6.	SRV-DB	DB.1: Infrastructure centrale de bases de données.
		DB.2: Intégration de l'infrastructure de bases de données.
		DB.3: Licences et support.
7.	SRV-NI	Licence site des logiciels de National Instruments et autres licences de logiciels scientifiques
8.	SRV-0365	O365.1: Développement d'Office 365.
		O365.2: Licences et support.
9.	SRV-WEB	WEB.1: Système d'archivage Cloud Infinite.
		WEB.2: Pare-feu et sécurité des services web.

### Autres activités : Dépannage utilisateur et soutien applicatif - administration de l'infrastructure et assistance

N	Code du projet	Services fournis et activités
<p>L'équipe informatique du BIPM assure un service de dépannage exigeant un haut niveau de compétences concernant l'utilisation quotidienne par le personnel du BIPM de matériel informatique : elle gère ainsi plus de 250 ordinateurs et périphériques. L'équipe informatique, par un soutien applicatif, offre la qualité de service attendue concernant l'ensemble des applications informatiques internes et externes.</p>		
10.	IT-HELP	Dépannage utilisateur et soutien applicatif.
<p>La gestion et la maintenance de l'infrastructure informatique concernent l'ensemble du réseau, du stockage et des services informatiques : il s'agit de gérer toutes les plateformes requises, de préparer des plans de maintenance, de planifier les mises à niveau, d'identifier et de résoudre des problèmes techniques pour plus de 40 services hébergés par 60 serveurs virtuels.</p>		
11.	IT-ADM	Administration et maintenance de l'infrastructure.

## RENFORCEMENT DES CAPACITÉS ET TRANSFERT DES CONNAISSANCES

Le programme du BIPM de renforcement des capacités et de transfert des connaissances (CBKT) a pour objectif d'accroître l'efficacité avec laquelle les États Membres et les Associés participent au système métrologique mondial. Le programme comprend des activités fondamentales, où le renforcement des capacités d'un participant apporte clairement des avantages à la communauté plus large des laboratoires nationaux de métrologie, et des activités plus spécifiques, souvent sur un thème particulier, où ce sont principalement les participants qui bénéficient des avantages. Le programme CBKT comprend une grande variété d'options telles que : des ateliers/séminaires organisés au BIPM et dans les laboratoires nationaux, généralement en collaboration avec les organisations régionales de métrologie ; des activités en ligne d'apprentissage à distance (formations de courte durée, échanges techniques et plateforme d'apprentissage en ligne) ; et des détachements dans les laboratoires du BIPM et dans des laboratoires nationaux partenaires.

Les activités sont considérées comme du renforcement des capacités lorsque les participants individuels (et par conséquent leur laboratoire) sont les principaux bénéficiaires. Lorsque ceux impliqués ont un plus grand savoir-faire, le partage de connaissances se fait dans les deux sens : c'est le cas par exemple des détachés travaillant à l'exécution du programme de travail du BIPM ; ces activités sont considérées comme du transfert de connaissances. Les frontières entre renforcement des capacités et transfert des connaissances ne sont pas strictement définies.

### **Stratégie concernant le renforcement des capacités et le transfert des connaissances**

**Renforcer le système métrologique mondial, équilibrer la charge de travail entre les laboratoires nationaux de métrologie, et contribuer à un engagement efficace de la communauté internationale de la métrologie dans les pays en développement. Soutenir le fonctionnement efficace du système métrologique mondial.**

- Approuver et mettre en place un modèle de financement équilibré et durable qui facilite le partage efficace de la charge de travail, en se fondant sur le financement du programme CBKT et le partenariat financier de certaines activités CBKT qui permettent de répondre à différents niveaux de besoins concernant à la fois le système métrologique (CIPM MRA, JCTLM, UTC, etc.) et les compétences techniques spécifiques dont disposent les laboratoires du BIPM.
- Adapter le modèle de financement en réponse à l'initiative proposée par le CIPM qui vise à encourager la participation des quelque 80 nations qui ne prennent actuellement pas part aux activités du BIPM, en étroite collaboration avec les organisations régionales de métrologie.

**Aider les laboratoires nationaux de métrologie de pays et entités économiques dont le système métrologique est émergent (CEEMS) à participer de façon adéquate et efficace au système métrologique mondial.**

- Répondre à l'initiative que devrait prendre la CGPM afin d'augmenter la participation mondiale aux activités du BIPM.
- Étudier avec les organisations régionales de métrologie le concept d'outil de mentorat intégré.

**Soutenir un programme de scientifiques invités/détachés au (et du) BIPM.**

- Promouvoir un calendrier de propositions pour des scientifiques invités de prendre part au travail de tous les laboratoires du BIPM. Développer des activités de transfert de connaissances concernant le travail de laboratoire qui seraient organisées au sein des laboratoires du BIPM.

N	Code du projet	Services fournis et activités
<p align="center"><b>Stratégie, développement et mise en œuvre du programme CBKT du BIPM, notamment en ce qui concerne les plateformes web et d'apprentissage en ligne, et coordination avec les parties prenantes</b>  <i>Plus de 80 % de participation d'États Membres et Associés (en tant que participants ou conférenciers)</i></p>		
1.	<p><b>ILC-CBKT1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 4 activités fondées sur un atelier (BIPM et organisations régionales)</li> <li>– 4 cycles de détachements en laboratoire au sein de laboratoires nationaux partenaires</li> <li>– 30 activités d'apprentissage en ligne</li> <li>– 100 participants aux ateliers (BIPM et organisations régionales)</li> <li>– 40 métrologistes en détachement au sein de laboratoires nationaux partenaires</li> <li>– 400 participants à des activités en ligne</li> <li>– 500 participants à la plateforme d'apprentissage en ligne</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Poursuite de la stratégie du programme CBKT consistant à accroître l'efficacité avec laquelle les États Membres et Associés participent au système métrologique mondial : en évaluant les besoins des parties prenantes, en identifiant les instruments CBKT appropriés, en mettant en œuvre des activités et en les évaluant, en adaptant ces activités aux besoins des parties prenantes.</li> <li>2. Prise en considération des aspects techniques liés à la gestion, la mise en œuvre et la maintenance des activités d'apprentissage à distance (incluant les licences et les relations avec des prestataires) : <ul style="list-style-type: none"> <li>– plateforme CBKT de formation en ligne sur la KCDB 2.0,</li> <li>– formations en ligne de courte durée,</li> <li>– échanges techniques en ligne,</li> <li>– pages internet CBKT sur le site internet du BIPM,</li> <li>– plateforme d'apprentissage en ligne (incluant les sections d'apprentissage en ligne des organisations régionales de métrologie).</li> </ul> </li> <li>3. Développement et gestion de l'infrastructure CBKT commune au BIPM et aux organisations régionales (notamment les activités d'apprentissage à distance et en ligne intéressant les différentes organisations régionales de métrologie) ; collaboration avec les organisations régionales de métrologie pour garantir l'exécution coordonnée du programme CBKT. <ul style="list-style-type: none"> <li>– mise en place et gestion d'un groupe consultatif BIPM/organisations régionales concernant le programme CBKT (notamment en coopérant avec le groupe consultatif de l'OIML sur les questions concernant les pays et les économies dotés de systèmes de métrologie émergents).</li> </ul> </li> <li>4. Analyse sur la façon d'obtenir le soutien d'organisations internationales partageant un intérêt concernant la mise en œuvre d'activités pertinentes de renforcement des capacités et de transfert des connaissances, et collaboration avec ces organisations.</li> </ol>
<p align="center"><b>Planification, coordination, assistance, logistique et exécution des activités fondamentales du programme CBKT (CIPM MRA, JCTLM et UTC)</b></p>		
2.	<p><b>ILC-CBKT2</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planification, coordination, assistance, logistique et exécution des activités fondamentales du programme CBKT (CIPM MRA, JCTLM et UTC) : programmation, conception des formations, appels à candidature et processus de sélection (en coopération avec les parties prenantes pour fixer les critères de priorité concernant les candidats), identification des intervenants, prise en charge des frais des participants le cas échéant, mise à disposition de conférenciers du BIPM et externalisation de conférences au sein d'organisations régionales de métrologie et de laboratoires nationaux de métrologie avec toute la logistique associée.</li> <li>2. Réalisation des formations sur le CIPM MRA (lorsque nécessaire) concernant les points suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>– « Future leaders » (formation destinée à former les nouveaux et potentiels présidents de groupes de travail et comités techniques des organisations régionales de métrologie),</li> <li>– « Sound beginning » (formation destinée aux nouveaux participants au CIPM MRA),</li> <li>– conseils donnés aux nouveaux présidents de groupes de travail ou comités techniques d'organisations régionales de métrologie,</li> <li>– participation aux activités de la Convention du Mètre (y compris orientations pour les « nouveaux arrivants »).</li> </ul> </li> <li>3. Soutien aux activités CBKT sur le JCTLM et l'UTC par : <ul style="list-style-type: none"> <li>– des activités de renforcement des capacités fondées sur un atelier,</li> <li>– des détachements en laboratoire de renforcement des capacités,</li> <li>– des activités de transfert des connaissances,</li> <li>– des activités en ligne d'apprentissage à distance (formations de courte durée, échanges techniques et plateforme d'apprentissage en ligne).</li> </ul> </li> </ol>

<b>Planification, coordination, assistance, logistique et exécution des activités CBKT thématiques</b>		
3.	<b>ILC-CBKT3</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Planification, coordination, assistance, logistique et exécution des activités thématiques du programme CBKT : recherche de partenaires financiers, programmation, conception des formations, appels à candidature et processus de sélection (en coopération avec les parties prenantes pour fixer les critères de priorité concernant les candidats), identification des intervenants, mise à disposition de conférenciers du BIPM et externalisation de conférences.</li> <li>Exécution, assistance et conférences pour les activités CBKT thématiques en s'appuyant sur : <ul style="list-style-type: none"> <li>des activités de renforcement des capacités fondées sur un atelier,</li> <li>des détachements en laboratoire de renforcement des capacités,</li> <li>des activités de transfert des connaissances,</li> <li>des activités en ligne d'apprentissage à distance (formations de courte durée, échanges techniques et plateforme d'apprentissage en ligne).</li> </ul> </li> <li>Organisation commune de l'école de métrologie de Varenne pour de jeunes scientifiques et métrologistes du monde entier, en collaboration avec la Société italienne de physique.</li> </ol>
<b>Activités de laboratoire de renforcement des capacités et de transfert des connaissances</b>		
4.	<b>PMD-CBKT1</b>	Planification, coordination et exécution des activités de renforcement des capacités et de transfert des connaissances dans le domaine de l'électricité.
5.	<b>PMD-CBKT2</b>	Planification et exécution des activités de transfert des connaissances, en utilisant le prototype compact de la balance de Kibble pour les laboratoires nationaux souhaitant que leurs scientifiques puissent expérimenter de façon concrète la technologie de la balance de Kibble.
6.	<b>Time-CBKT</b>	<p>Planification, coordination et exécution des activités de renforcement des capacités et de transfert des connaissances dans le domaine de la métrologie du temps en lien avec les projets du CCTF, en développant des outils d'apprentissage en ligne et un dépôt GIT et en soutenant quotidiennement les laboratoires participant au calcul de l'UTC.</p> <p>Cette activité repose sur la participation d'un détaché qui aura pour objectif de promouvoir la coordination et l'utilisation efficace du matériel du programme CBKT. Sans détaché, cette activité sera limitée.</p>
7.	<b>Chem-CBKT</b>	Planification, coordination et exécution des activités de renforcement des capacités et de transfert des connaissances (notamment celles en ligne) dans le domaine de la métrologie de la chimie.
8.	<b>Chem-CBKT1</b> Metrology for Safe Food and Feed	<p>Mise en place de matériel en ligne et formations de transfert des connaissances étayées par des ateliers de courte durée au BIPM dans les domaines suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>étalons de mesure pour les mycotoxines,</li> <li>étalons de mesure pour les pesticides,</li> <li>étalons de mesure pour les résidus de médicaments.</li> </ol>
9.	<b>Chem-CBKT2</b> Metrology for Clean Air	<p>Mise en place de matériel en ligne et formations de transfert des connaissances étayées par des ateliers de courte durée au BIPM dans les domaines suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour la métrologie des gaz et ses étalons,</li> <li>méthode dynamique pour les étalons de gaz réactifs,</li> <li>mesures traçables des rapports isotopiques du CO<sub>2</sub>.</li> </ol> <p>Assistance en ligne concernant un programme de mentorat pour le nouveau laboratoire de coordination de la comparaison clé répétée CCQM-K137 d'étalons du monoxyde d'azote.</p>
10.	<b>Chem-CBKT3</b> Metrology for Accurate Patient Care	<p>Mise en place de matériel en ligne et formations de transfert des connaissances étayées par des ateliers de courte durée au BIPM dans les domaines suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>méthodes d'assignation de valeur à des matériaux primaires de référence pour les peptides de poids moléculaire inférieur à 5 kDa,</li> <li>méthodes d'assignation de valeur à des matériaux primaires de référence pour les peptides de poids moléculaire entre 5 et 10 kDa.</li> </ol>
11.	<b>IR-CBKT</b>	Planification, coordination et exécution des activités de renforcement des capacités et de transfert des connaissances dans le domaine des rayonnements ionisants.

– **Synthèse des activités fondamentales financées du programme CBKT**

Les possibilités pour les membres du personnel de laboratoires nationaux de métrologie et laboratoires désignés de bénéficier des formations et ateliers du programme CBKT organisés au BIPM, au sein des organisations régionales de métrologie ou en formation à distance (ces activités du programme CBKT sont financées dans le cadre du programme de travail 2024-2027) sont estimées comme suit :

Activités fondamentales du programme CBKT	Bénéficiaires du programme CBKT (Nombre de participants)		Formations d'apprentissage à distance	
	Activités menées au BIPM	Activités menées dans les régions dans le cadre de la structure intégrée avec les organisations régionales et laboratoires nationaux	Activités en ligne (nombre de bénéficiaires)	Activités proposées sur la plateforme d'apprentissage en ligne (nombre d'inscriptions)
Activités fondamentales du programme CBKT	80	360	400	500

– **Synthèse des activités du programme CBKT soutenues par des partenaires**

Les possibilités pour les membres du personnel de laboratoires nationaux de métrologie et laboratoires désignés de bénéficier des activités du programme CBKT menées dans les laboratoires du BIPM (le succès de ces projets dépend des partenariats qui pourront être établis) sont estimées comme suit :

Département du BIPM	Personnel en détachement (au BIPM)			Formations apprentissage en ligne
	Durée typique du détachement (mois)	Nombre de bénéficiaires visitant le BIPM	Total	Nombre d'inscriptions
			(mois-personne)	
Métrologie en physique	6	2	12	En discussion
Temps	-	-	-	En discussion
Chimie	0,25	64	16	250
Rayonnements ionisants	6	1	6	En discussion
<b>Total</b>	-	<b>67</b>	<b>34</b>	<b>250</b>

**Remarque :** Pour mettre à profit de façon optimale les possibilités qui se présentent et s'assurer de leur impact maximal, un certain degré de flexibilité est nécessaire concernant les activités CBKT soutenues par des partenaires.

### Activités de transfert des connaissances pour des scientifiques/spécialistes invités en détachement au BIPM

Comme indiqué dans le programme de travail de laboratoire du BIPM, la réussite d'un nombre significatif de projets dépend du travail de personnel en détachement. Les scientifiques et spécialistes invités en détachement au BIPM contribuent à l'exécution des projets du programme de travail, tirent parti du travail effectué dans les laboratoires du BIPM et participent également au transfert des connaissances auprès des bénéficiaires du programme CBKT.

Le nombre total de scientifiques et spécialistes invités requis pour contribuer à l'exécution du programme de travail est estimé comme suit :

Département du BIPM	Détachés de laboratoires nationaux de métrologie et de laboratoires désignés contribuant à l'exécution du programme (mois-personne)	
	2020-2023	2024-2027
	Métrologie en physique	44
Temps	108	128
Chimie	132	120
Rayonnements ionisants	42	60
Relations internationales et communication	76	108
<b>Total</b>	<b>402</b>	<b>446</b>

**Remarque :**

*Pour mettre à profit de façon optimale les possibilités qui se présentent et s'assurer de leur impact maximal, un certain degré de flexibilité est nécessaire concernant les détachements de scientifiques invités.*

## SOUTIEN ADMINISTRATIF

### **Stratégie concernant le soutien administratif**

- Fournir le plus haut niveau de soutien administratif et de gouvernance.
- Suivre les meilleures pratiques en matière de formation et de perfectionnement du personnel.
- Augmenter la diversité des compétences et l'expérience dont dispose le BIPM.
- Élaborer et mettre en œuvre les meilleures pratiques afin de soutenir les Comités consultatifs et les Comités communs en assurant leur secrétariat exécutif.

### **Bureau du directeur : Finances, Juridique et Ressources humaines**

Le Service Finances est en charge de l'établissement du rapport annuel et des états financiers du BIPM, des plans à moyen terme et à long terme, ainsi que du budget annuel. Le service a lancé un programme de mise en ligne de l'ensemble des services financiers et a conduit un ensemble d'activités de gestion financière permettant de répondre aux besoins de l'organisation ainsi qu'à ceux des départements scientifiques, telles que la gestion de la trésorerie, des achats et de la paye, ainsi que du transport des artefacts depuis et à destination du BIPM en coopération avec des agents de transport international. Les états financiers annuels sont préparés par une société externe de comptabilité et font l'objet d'un audit externe.

Le Service Juridique du BIPM assure la gestion de toutes les questions juridiques, y compris celles concernant les Statut, Règlement et Instructions applicables aux membres du personnel (SRI) et les Statut et Règlement de la Caisse de retraite et de prévoyance du BIPM, les accords tels que les protocoles d'accord et les contrats d'achat complexes, le droit des organisations internationales et le droit international.

Le Service des Ressources humaines exécute les tâches nécessaires pour permettre au personnel de bénéficier des avantages décrits dans les SRI. Le Service des Ressources humaines :

- gère l'évaluation du personnel et les congés,
- gère la communication avec les bénéficiaires de la Caisse de retraite du BIPM,
- a lancé un programme de mise en ligne de l'ensemble des services RH,
- collabore avec les autorités françaises sur toutes les questions de recrutement du personnel et de visas pour les visiteurs et détachés,
- apporte également son soutien au recrutement et à l'installation des membres du personnel et des détachés.

Le temps de travail du directeur et celui du Service Exécutif sont intégrés au bureau du directeur.

### **Service Réunions**

Le Service Réunions est responsable de la gestion de toutes les réunions organisées sur le site du BIPM (notamment pour le CIPM, les Comités consultatifs, les Comités communs et les nombreux ateliers du BIPM). Il est en charge d'un nombre croissant de réunions en ligne et webinaires et organise la réunion de la CGPM tous les quatre ans. Le Service Réunions apporte son soutien aux secrétaires exécutifs et aux délégués venant au BIPM.

## SERVICES TECHNIQUES

### **Stratégie concernant les services techniques**

- Développer l’environnement de laboratoire adéquat pour soutenir le programme de travail.
- S’assurer que les salles de réunion du BIPM utilisées pour les Comités consultatifs et leurs groupes de travail offrent les meilleures prestations possibles.
- Maintenir les bâtiments historiques et le site à un niveau adéquat par rapport à la mission du BIPM.

Afin d’optimiser le rapport coût-efficacité des services techniques, le BIPM met en œuvre une politique de révision des besoins lors du départ à la retraite de membres du personnel concernés et procède à un examen du coût-bénéfices concernant leur remplacement par des prestataires externes.

### **Site et sécurité**

Le Système de management de la qualité et celui de la santé et de la sécurité au travail sont administrés par un chargé de prévention pleinement qualifié. Le système de santé et sécurité au travail fait l’objet d’audits internes et de divers contrôles techniques externes (conformément à la législation française) concernant les principales sources de risques en matière de sécurité, notamment en ce qui concerne l’électricité, la pression, les rayonnements ionisants, la foudre et les incendies.

Le BIPM est situé dans le domaine national de Saint-Cloud, sur un site historique concédé par le gouvernement français. Le Pavillon de Breteuil et les six autres bâtiments construits depuis la création du BIPM datent aussi bien du dix-septième siècle que de nos jours. Leur entretien fait appel à un large éventail de métiers et techniques, c’est pourquoi ces activités sont principalement confiées à des prestataires externes. Le BIPM emploie du personnel avec de l’expérience dans l’entretien des bâtiments, les équipements électriques et les jardins. Ils sont secondés par le personnel de l’atelier de mécanique (voir ci-après).

Le BIPM dispose d’un gardien du site dont le travail est complété par des prestataires externes qui assure la sécurité le week-end et en dehors des heures de travail. La gestion de l’accueil du BIPM est sous-traitée à un prestataire indépendant.

Les services d’entretien des locaux (bureaux et laboratoires) sont assurés par du personnel du BIPM et par du personnel sous contrat qui apportent également leur aide lors des réunions sur site (notamment concernant le service de restauration).

### **Atelier**

Un service d’atelier de mécanique est maintenu au niveau nécessaire pour étayer le programme de travail de laboratoire prévu. Le service conçoit et fabrique des pièces pour les instruments de recherche et sous-traite le travail qui ne peut être réalisé en interne. L’atelier de mécanique fabrique aussi les copies en platine iridié du prototype du kilogramme, contre remboursement des frais. C’est un service unique dont seuls les États Membres peuvent bénéficier.

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

AFRIMETS	Système interafricain de métrologie
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AMA	Agence mondiale antidopage
API	<i>Application Programming Interface</i> / Interface de programmation d'applications
APMP	<i>Asia/Pacific Metrology Programme</i>
BIPM	Bureau international des poids et mesures
CBKT	<i>Capacity Building and Knowledge Transfer</i> / Renforcement des capacités et transfert des connaissances
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCEM	Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCL	Comité consultatif des longueurs
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière : métrologie en chimie et biologie
CCRI	Comité consultatif des rayonnements ionisants
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCTF	Comité consultatif du temps et des fréquences
CCU	Comité consultatif des unités
CEEMS	<i>Countries and Economies with Emerging Metrology Systems</i> / Pays et économies au système de métrologie émergent
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIPM MRA	<i>CIPM Mutual Recognition Arrangement</i> / Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM
CMC	<i>Calibration and Measurement Capability</i> / Aptitude en matière de mesures et d'étalonnages
CODATA	<i>Committee on Data of the International Science Council</i>
Codex Alimentarius	Commission du Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires
COOMET	Coopération métrologique entre les États d'Europe centrale
CPEM	<i>Conference on Precision Electromagnetic Measurements</i>
DOI	<i>Digital object identifier</i>
DOSEO	Plateforme technologique DOSEO du CEA, Saclay
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990
ESIR	<i>Extended SIR</i> / SIR étendu
EURAMET	<i>European Association of National Metrology Institutes</i>
FAIR	<i>Findable, Accessible, Interoperable and Re-usable</i> / Données trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables
FTIR	<i>Fourier-transform infrared spectroscopy</i> / Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GULFMET	<i>Gulf Association for Metrology</i>
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure
HPT	Hormone parathyroïde
ICG	<i>International Committee on Global Navigation Satellite Systems</i>
ICRM	<i>International Committee for Radionuclide Metrology</i>
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>

ICSH	<i>International Council for Standardization in Haematology</i>
IERS	Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence
IFCC	Fédération internationale de chimie clinique et médecine de laboratoire
IGS	<i>International GPS Service</i>
ILAC	<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>
IMRR	<i>International Metrology Resource Registry</i>
INetQI	<i>International Network on Quality Infrastructure</i> / Réseau international pour l'infrastructure de la qualité
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISRD	<i>Internal Standard Reference Data</i>
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
JCGM	<i>Joint Committee for Guides in Metrology</i> / Comité commun pour les guides en métrologie
JCRB	<i>Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM</i> / Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM
JCTLM	<i>Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine</i> / Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire
KCDB	<i>BIPM key comparison database</i> / Base de données du BIPM sur les comparaisons clés
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMC	Organisation mondiale du commerce
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONUDI	Organisation des Nations Unies pour le développement
OTC	Obstacle technique au commerce
OTICE	Organisation du traité d'interdiction complète des essais nucléaires
SI	Système international d'unités
SIM	<i>Inter-American Metrology System</i>
SIR	Système international de référence pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma
SIRTI	Instrument de transfert du SIR
SRI	Statut, Règlement et Instructions applicables aux membres du personnel du BIPM
TAI	Temps atomique international
TDCR	<i>Triple-to-double coincidence ratio</i> / Rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles
TT	Temps terrestre
UAI	Union astronomique internationale
UGGI	Union géodésique et géophysique internationale
UIT	Union internationale des télécommunications
UMRS	<i>Unit of Measurement Representation Service</i> / Service de représentation des unités de mesure
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
URSI	Union radioscopique internationale
UTC	Temps universel coordonné
UTC <sub>r</sub>	UTC rapide
VIM	Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie
VPN	<i>Virtual private network</i>
XRCD	<i>X-ray crystal density</i> / Méthode de mesures de masse volumique de cristaux par rayons x