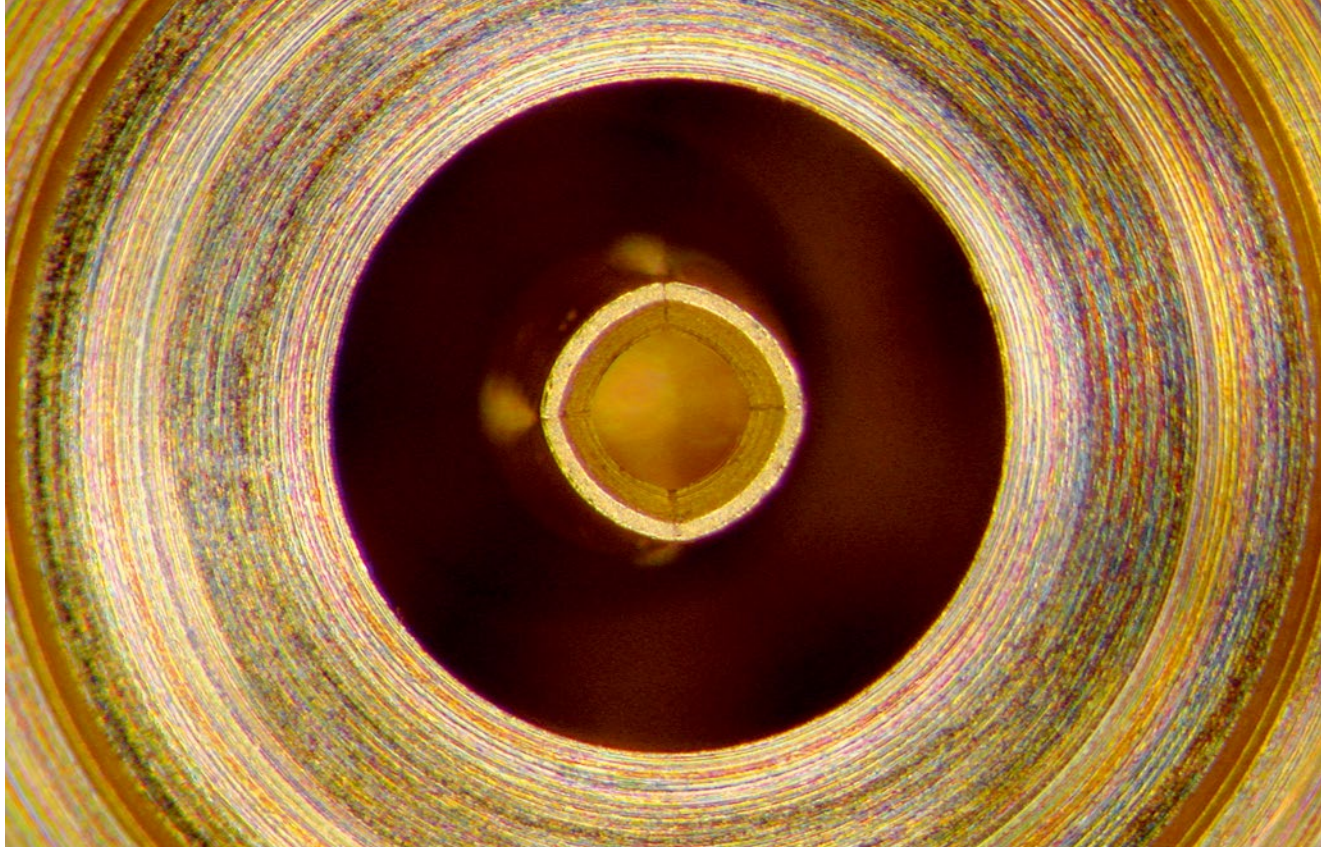




Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Institut fédéral de métrologie METAS



## METAS en 2018

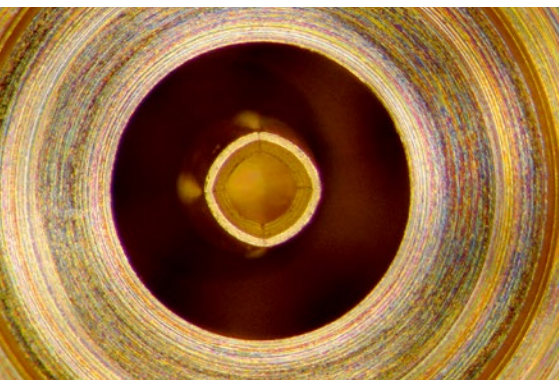


Image de couverture: Un connecteur d'extrême exactitude, comme on en utilise en technique des hautes fréquences (cf. p. 14).

## Impressum

Le présent rapport a pour but de donner de manière compréhensible un aperçu des activités de METAS en 2018. D'autres informations peuvent être obtenues dans le Rapport de gestion de METAS, dans le Rapport annuel sur l'exécution de la loi sur la métrologie (tous deux publiés sur [www.metas.ch](http://www.metas.ch)), dans le Rapport sur le salaire des cadres (publié sur [www.epa.admin.ch](http://www.epa.admin.ch)) et dans le Rapport succinct du Conseil fédéral sur l'atteinte des objectifs stratégiques en 2018 (publié sur [www.efv.admin.ch](http://www.efv.admin.ch)).

## Éditeur

Institut fédéral de métrologie METAS  
Lindenweg 50, 3003 Berne-Wabern, Suisse  
Téléphone +41 58 387 01 11, [www.metas.ch](http://www.metas.ch)

## Droit d'auteur

Reproduction autorisée avec indication de la source, exemplaires souhaités.

## Finances

Les pages 26 et 27 de ce rapport ont été portées à la connaissance de l'organe de révision, en application de la Norme d'audit suisse NAS 720 «Autres informations présentées dans des documents contenant des états financiers audités».

## Langues

Le présent rapport est publié en allemand, français, italien et anglais.

## Édition

Mai 2019

## Crédit photographique

METAS  
Stéphane Schmutz STEMUTZ (p. 16, 17)  
BIPM, Paris (p. 20)

## Mise en page

Casalini Werbeagentur AG, 3000 Bern 13  
[www.casalini.ch](http://www.casalini.ch)



# Sommaire

- 4 Avant-propos
- 6 Diriger METAS :  
Le Conseil de l'Institut et la direction
- 8 Mesurer pour l'économie et la société :  
les tâches de METAS
- 10 Projets métrologiques :  
recherche et développement
- 12 La métrologie au service du développement de produits :  
projets de coopération avec l'industrie
- 14 La métrologie pour le secteur économique :  
incertitude de mesure en un clic
- 16 Des constantes naturelles à la place du kilogramme étalon :  
redéfinition de nos unités de mesure
- 20 Mesurer par-delà les frontières :  
organisations internationales de métrologie
- 21 Réglementation en métrologie :  
législation en vigueur
- 22 Mise sur le marché d'instruments de mesure conformes :  
METAS-Cert
- 24 Les métiers de la métrologie : travailler à METAS
- 26 Finances
- 28 Informer sur la métrologie :  
publications et exposés de METAS

# Changements et constance



Le Conseil de l'Institut a subi des changements l'année dernière. Il a ainsi bénéficié d'un appui non négligeable avec l'élection en février de M<sup>me</sup> Ursula Widmer, une experte chevronnée en informatique, droit et sécurité de l'information. L'ancienne présidente, M<sup>me</sup> Martina Hirayama, a démissionné du Conseil de l'Institut à la fin de l'année après

avoir été nommée directrice du Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation par le Conseil fédéral.

Le 6 novembre 2018, le Conseil fédéral m'a élu président du Conseil de l'Institut jusqu'à la fin du mandat en cours. Je suis membre du Conseil de l'Institut depuis le début et je me réjouis de pouvoir continuer à m'investir dans ma nouvelle fonction, avec mes collègues du Conseil de l'Institut et les membres de la direction, pour l'orientation stratégique et la direction entrepreneuriale de METAS.

Première présidente du Conseil de l'Institut de METAS, M<sup>me</sup> Hirayama s'est beaucoup investie dans les travaux préparatoires en vue de la création de l'Institut et le début des activités. Elle a contribué de manière durable à la définition de son orientation stratégique et de son programme de recherche et de développement. Je tiens à la remercier très cordialement pour son grand engagement en faveur de METAS.

Les tâches du Conseil de l'Institut n'ont quant à elles pas changé. Elles sont essentiellement de nature stratégique. La recherche et le développement sont stratégiquement essentiels pour un institut de métrologie. Le Conseil de l'Institut s'est par conséquent penché sur l'orientation à donner à cette recherche et ce développement à METAS. Nous avons obtenu des résultats réjouissants liés au développement approuvé en 2014 de trois nouveaux domaines d'activité: les mélanges de gaz de référence, les mesures dimensionnelles et l'optique. Par ailleurs, nous avons approuvé un nouveau projet, à savoir le projet Médecine de laboratoire; métrologie des acides nucléiques.

Matthias Kaiserswerth  
Président du Conseil de l'Institut



La recherche et le développement sont stratégiquement essentiels pour un institut de métrologie.



# Étape cruciale dans le développement du Système international d'unités

La métrologie est une activité axée sur le long terme. La révision du Système international d'unités, décidée en novembre 2018 lors de la 26<sup>e</sup> *Conférence générale des poids et mesures* à Versailles (cf. p. 16), en est une parfaite illustration.

Les premières expériences de redéfinition du kilogramme sur la base de constantes physiques et non plus du prototype international du kilogramme ont été effectuées durant la deuxième moitié des années 1970 à l'Institut national de métrologie de Grande-Bretagne. En 1900 déjà, Max Planck avait émis l'idée, au moment de formuler sa loi sur le rayonnement, d'utiliser des constantes comme unités de mesure « naturelles ». Une redéfinition du kilogramme n'a été toutefois possible qu'à partir du moment où les expériences de définition de la constante de Planck ont pu livrer des résultats traçables présentant des incertitudes de mesure suffisantes. Le passage d'un système d'unités existant à un système révisé doit se faire avec précaution. Un système d'unités doit permettre la comparabilité et la stabilité des résultats de mesure, puisque les mesures doivent rester comparables entre elles sur une longue période de temps.

Les principes de mesure doivent être axés sur le long terme, mais la technologie évolue constamment. METAS fournit des services à l'économie suisse et met son savoir-faire à sa disposition. Par conséquent, il doit, comme d'autres instituts de métrologie nationaux, prendre soin des principes de mesure tout en restant à la pointe de la technologie.

Philippe Richard  
Directeur



« La métrologie est une activité axée sur le long terme. » »

# Diriger METAS : le Conseil de l'Institut et la direction

*Le Conseil de l'Institut est l'organe suprême de METAS.  
Il répond de la direction entrepreneuriale.  
La gestion opérationnelle est assurée par la direction.*

Comme le stipulent les prescriptions légales, le Conseil de l'Institut se compose de cinq à sept spécialistes. Durant l'année sous revue, il était composé de six membres, après la nomination par le Conseil fédéral en date du 12 février 2018 de Madame Ursula Widmer au Conseil de l'Institut pour la période administrative en cours, soit jusqu'en 2019. Les membres du Conseil de l'Institut disposent d'une grande expérience en matière de direction, aussi bien sur le plan académique qu'entrepreneurial, ainsi que d'une expérience longue et variée de la recherche et du développement dans les sciences naturelles et la technique. L'ancienne présidente, Martina Hirayama, a démissionné du Conseil à la fin de l'année 2018 après avoir été nommée directrice du Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) par le Conseil fédéral. Le 6 novembre 2018, le Conseil fédéral a nommé Matthias Kaiserswerth président du Conseil de l'Institut de METAS jusqu'à la fin du mandat en cours.

## **Définir l'orientation stratégique**

Les tâches du Conseil de l'Institut sont définies par la loi sur l'Institut fédéral de métrologie (LIFM). Le Conseil de l'Institut adresse au Conseil fédéral les demandes d'indemnisation pour les prestations qui doivent être fournies par la Confédération et approuve le programme de recherche et de développement. Il surveille la direction et édicte l'ordonnance sur le personnel.

L'une des plus importantes tâches du Conseil de l'Institut est de définir, en accord avec la direction, l'orientation stratégique de METAS. Il se base à cette fin sur les prescriptions du Conseil fédéral, qui figurent dans les objectifs stratégiques à suivre par METAS. Le Conseil fédéral attend de METAS qu'il mette à la disposition du secteur économique, de la science et de l'administration une infrastructure métrologique performante, les bases de mesure requises et des services métrologiques.



## **Direction**

Elle représente l'Institut auprès des tiers et était composée, durant l'année sous revue, du directeur, Philippe Richard, du directeur suppléant, Gregor Dudle et du vice-directeur, Bobjoseph Mathew.



Les membres du Conseil de l'Institut de gauche à droite: Tony Kaiser, membre; Matthias Kaiserswerth, président; Ursula Widmer, membre; professeur Thierry J.-L. Courvoisier, membre; professeur Ulrich W. Suter, vice-président.

**Matthias Kaiserswerth** est docteur en informatique. De 2006 à 2015, il a occupé les fonctions de directeur du laboratoire de recherche IBM à Zurich-Rüschlikon et de vice-président de Global Systems Management and Compliance Area Strategy d'IBM Research. Il dirige la fondation Hasler depuis 2015. Il est membre du Conseil de l'Institut de METAS depuis ses débuts (2012). Début 2019, il a revêtu la fonction de président du Conseil de l'Institut.

**Ursula Widmer** est avocate. Elle est spécialisée en droit de l'informatique, d'Internet et des télécommunications et a fondé un cabinet d'avocats spécialisé en économie. Elle est chargée d'enseignement en droit de la sécurité informatique à l'EPFZ. Elle a siégé dans diverses commissions spécialisées et commissions d'experts et a été présidente de l'ISSS et de ITechlaw.

# Mesurer pour l'économie et la société : les tâches de METAS

*La Suisse mesure le plus exactement à Wabern. L'Institut fédéral de métrologie (METAS), en d'autres termes le centre de référence métrologique de la Suisse, y a son siège.*

METAS est l'Institut national de métrologie de la Suisse. Ce centre de compétences de la Confédération répond à toute question relative aux mesures ainsi qu'aux instruments et procédures de mesure. Ses activités en matière de recherche et de développement, ainsi que ses prestations lui permettent de créer les conditions nécessaires à des mesures exactes en Suisse, ce qui est indispensable pour répondre aux attentes du secteur économique, de la recherche, de l'administration et de la société.

## Mesures de référence faisant foi

METAS réalise les mesures de référence en Suisse, veille à leur reconnaissance à l'échelon international et les transmet avec l'exactitude requise. L'institut met ainsi à la disposition du secteur économique et de la société l'infrastructure de base en matière de métrologie. Cette infrastructure est nécessaire lorsqu'il s'agit d'effectuer des mesures.

METAS surveille la mise sur le marché, l'utilisation et le contrôle des instruments de mesure utilisés dans le commerce, le trafic, la sécurité publique, la santé et la protection de l'environnement. L'institut veille à ce que les mesures requises pour la protection et la sécurité des êtres humains et de l'environnement soient effectuées correctement et selon les dispositions en vigueur.

## Métrologie

*La métrologie est la science et la technique des mesures (du grec *metron* – mesure). Il est fréquent de confondre métrologie et météorologie. Sur le fond, ces deux termes n'ont toutefois rien en commun. La météorologie est la branche se chargeant des questions relatives au temps qu'il a fait, qu'il fait ou qu'il fera (du grec *meteoros* – flotter en l'air).*



## Le progrès requiert de la précision

Il n'est possible de fabriquer et de surveiller avec fiabilité que ce qui peut être mesuré avec exactitude. La science et la technique imposent un développement permanent de bases et de procédures métrologiques. Les procédures de mesure et de réglementation utilisées par des secteurs importants de l'économie suisse, tels que la microtechnique ou la technique médicale ont par exemple besoin de méthodes de mesure dont la précision peut atteindre un millionième de millimètre.





METAS suit les derniers développements scientifiques et techniques pour rester à jour. L'Institut se consacre à la recherche et au développement afin d'améliorer ses installations de mesure et ses prestations dans le domaine de la métrologie. Il examine à intervalle régulier son offre de prestation et s'adapte en fonction des besoins du marché.



L'endroit où l'on mesure le plus exactement en Suisse: METAS à Wabern.

# Projets métrologiques : recherche et développement

*METAS exécute ses travaux de recherche et de développement en grande partie sous l'égide du programme européen de recherche et développement en métrologie (EMPIR).*

En 2018, METAS a participé à 24 projets EMPIR. Le cinquième appel a eu lieu parallèlement cette même année. METAS y a participé en formulant des propositions de projets traitant des thèmes « Health », « SI Broader Scope », « Pre-normative » et « Networks ». Il a atteint un taux de réussite supérieur à la moyenne.

## **Bases de mesure pour améliorer la qualité de l'air**

Après le dioxyde de carbone, le noir de carbone est l'un des facteurs déterminants les plus importants en matière de changement climatique. Le noir de carbone (black carbon) désigne des particules d'aérosol constituées de carbone pur, émanant d'une combustion incomplète de combustibles fossiles ou de biocarburants, qui sont émises sous forme de suies. Les aérosols ont non seulement des répercussions sur le climat, mais ont aussi un effet considérable sur la santé humaine. En 2011, quelque 430 000 décès prématurés ont été attribués à ces poussières fines.

Il est très important de pouvoir mesurer les particules de noir de carbone dans l'air, aussi bien à cause de leur rôle au niveau du changement climatique que pour évaluer les effets des produits de combustion sur la santé. De nombreuses mesures sont effectuées de nos jours et on dispose à cet effet d'instruments en temps réel compacts, exacts et relativement bon marché. La métrique utilisée se base sur les caractéristiques d'absorption de la lumière des particules en suspension. Elle est par conséquent relativement simple sur le plan conceptuel, mais la traçabilité au SI n'est pas encore entièrement garantie, ce qui a des répercussions négatives sur la comparabilité et l'interprétation des données. L'objectif d'un projet européen de recherche auquel participe METAS est de trouver une solution réalisable à ce problème.

## **Particules de référence**

La contribution de METAS consiste à fabriquer des particules de référence qui, par leur forme chimique, la distribution des grosseurs et leurs caractéristiques optiques, représentent au mieux les parti-

cules de noir de carbone présentes dans l'atmosphère. Cette procédure permet d'étalonner les instruments de mesure utilisés sur le terrain. Un générateur de noir de carbone doté des caractéristiques nécessaires a été mis au point et caractérisé en collaboration avec la société Jing SA. Il permet d'enrichir au préalable le gaz de combustion avec de l'air, afin de générer des particules contenant un taux plus élevé de carbone élémentaire. Les caractéristiques chimiques et optiques des particules peuvent être paramétrées indépendamment de la taille des particules. Une méthode a par ailleurs été développée en collaboration avec la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse afin de





mélanger les particules de suies produites à un matériau organique et les vieillir artificiellement par l'action de rayons ultraviolets (revêtement). Ce processus de vieillissement accéléré permet de reproduire des particules ayant vieilli naturellement dans l'atmosphère.

Cette méthodologie de mesure développée dans le cadre du projet contribue à définir les polluants atmosphériques de manière uniformisée et fiable. Ces indicateurs améliorés permettent de perfectionner les modèles climatiques et de favoriser la régulation en matière de protection de l'air.



Production de particules de référence.

# La métrologie au service du développement de produits : projets de coopération avec l'industrie

*METAS est soutenu par Innosuisse en tant que partenaire de recherche. Ainsi, les entreprises peuvent utiliser ses compétences en recherche et développement pour leurs innovations et développements. De même, elles peuvent réaliser, en collaboration avec METAS, des projets de recherche et de développement appliqués.*

Le savoir-faire technico-scientifique élaboré à METAS est utilisable pour l'industrie, non seulement sous forme de prestations d'étalonnage et de mesure, mais aussi directement pour le développement de produits et de processus. METAS peut être un partenaire de coopération intéressant dans différents domaines. La collaboration avec l'industrie sous forme de projets d'innovation continue à se développer. Depuis 2013, douze projets ont été approuvés par Innosuisse (auparavant CTI).

## **Nouveaux domaines dans la mesure de l'impédance**

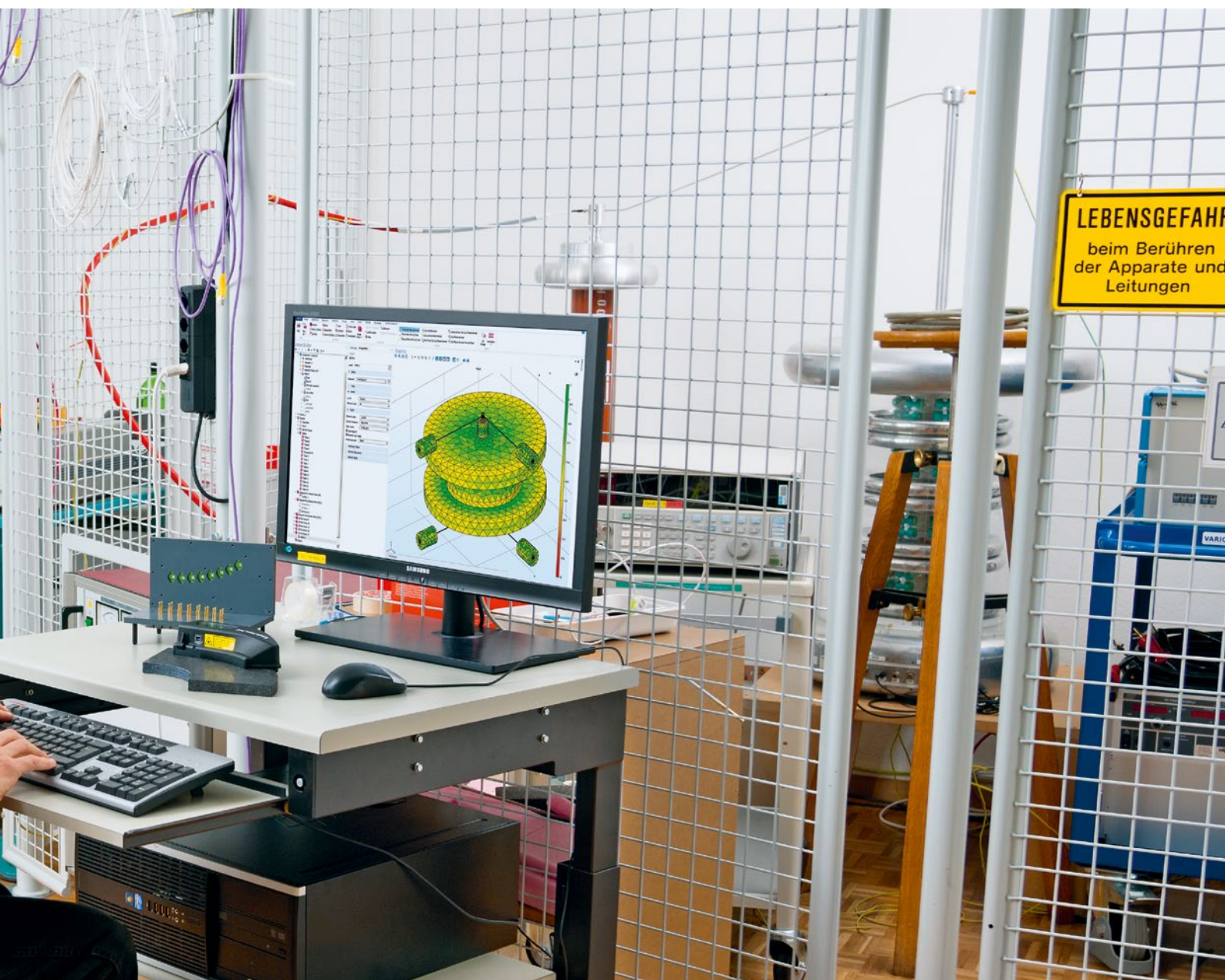
La résistance en courant alternatif, également nommée impédance, est l'une des principales valeurs électriques. Lorsque l'impédance est définie pour plusieurs fréquences sur une bande de fréquence donnée, on parle aussi de spectroscopie d'impédance. Son spectre d'application est large, de l'analyse de matériaux à l'examen de tissus et de suspensions cellulaires dans les applications médicales, en passant par la caractérisation de batteries, de piles à combustible et de processus de corrosion, ou encore de composants électriques ou électroniques. Les nouveaux développements requièrent l'élargissement de la bande de fréquence jusqu'aux plages les plus élevées de mégahertz.

## **Étalons de résistance et de capacité**

La société suisse Zurich Instruments AG est l'un des leaders de la fabrication d'amplificateurs à détection synchrone utilisés dans des applications scientifiques ou dans le domaine des technologies de pointe. Sur la base de cette compétence clé, la société développe des dispositifs de mesure d'impédance travaillant avec une exactitude inégalée jusqu'à des fréquences de plusieurs centaines de mégahertz. Dans le cadre d'un projet de collaboration soutenu par Innosuisse, METAS met au point

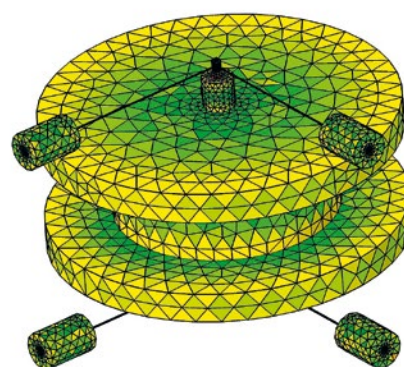
les étalons de résistance et de capacité nécessaires pour l'étalonnage de ces nouveaux instruments de mesure, le défi étant de couvrir la gamme de fréquence entre environ 30 kHz et plusieurs centaines de MHz. Dans ce domaine, les propriétés des ondes émises par le signal électrique ne peuvent plus être ignorées, mais la longueur d'onde reste élevée par rapport aux dimensions des composants électriques. La transition entre deux approches fondamentalement opposées de la technique de mesure a lieu dans cette zone, ce qui s'exprime aussi par une dégradation des incertitudes de mesure. Ce problème, nommé également frequency gap, a été résolu par la mise au point d'étalons pou-





vant être utilisés de manière fiable sur toute la gamme de fréquences, par des mesures hautement exactes dans les gammes inférieures à 30 kHz et supérieures à 100 MHz, ainsi que par la modélisation avec des instruments logiciels modernes sur toute la gamme de fréquences.

Le projet aide le partenaire industriel susmentionné à développer un produit innovant et à le commercialiser sur un marché concurrentiel. Parallèlement, il permet à METAS d'élargir et d'améliorer nettement ses possibilités de mesure dans un domaine jusque-là faiblement couvert, établissant ainsi une nouvelle référence technologique.



Développement des étalons de résistance et de capacité.

# La métrologie pour le secteur économique : incertitude de mesure en un clic

*Les prestations de METAS permettent à de nombreuses entreprises issues de divers secteurs économiques d'effectuer des mesures correctes et fiables. Ces entreprises peuvent donc proposer des produits qui satisfont aux exigences qualitatives.*

METAS fournit au secteur économique de nombreuses prestations d'étalonnage, de mesure et d'essai. En 2018, quelque 5000 certificats et rapports ont de nouveau été émis. La clientèle provient en majorité de l'industrie des machines ainsi que de l'industrie électrique et métallurgique, de même que d'entreprises de technique médicale et de communication.

## Métrologie hautes fréquences

Des analyseurs de réseau vectoriel (VNA) sont utilisés pour mesurer le comportement de réflexion et de transmission des composants électriques en matière de signaux à haute fréquence. Il s'agit là de valeurs de référence dans la technique de mesure des hautes fréquences. Ainsi, dans les technologies de la communication, la qualité de transmission des signaux est définie au moyen de mesures VNA.

Le critère décisif pour la fiabilité des résultats est une évaluation correcte de l'incertitude de mesure. Cette évaluation est toutefois compliquée pour les mesures VNA pour plusieurs raisons : le mesurande est complexe (l'amplitude et la phase sont mesurées simultanément), le processus de mesure est à plusieurs niveaux et de grande quantités de données sont générées. Par conséquent, le travail de calcul ne peut plus se faire à la main ou à l'aide d'un tableur.

## Outils efficaces de calcul de l'incertitude de mesure

C'est pourquoi le laboratoire *Haute fréquence* a mis au point le logiciel de métrologie *VNA Tools*. Ce logiciel fonctionne sur un PC et traite les données de mesure brutes du VNA à l'externe. *VNA Tools* est constamment perfectionné et ses fonctionnalités dépassent désormais celles de nombreux firmwares VNA commerciaux. Ce logiciel se distingue en particu-

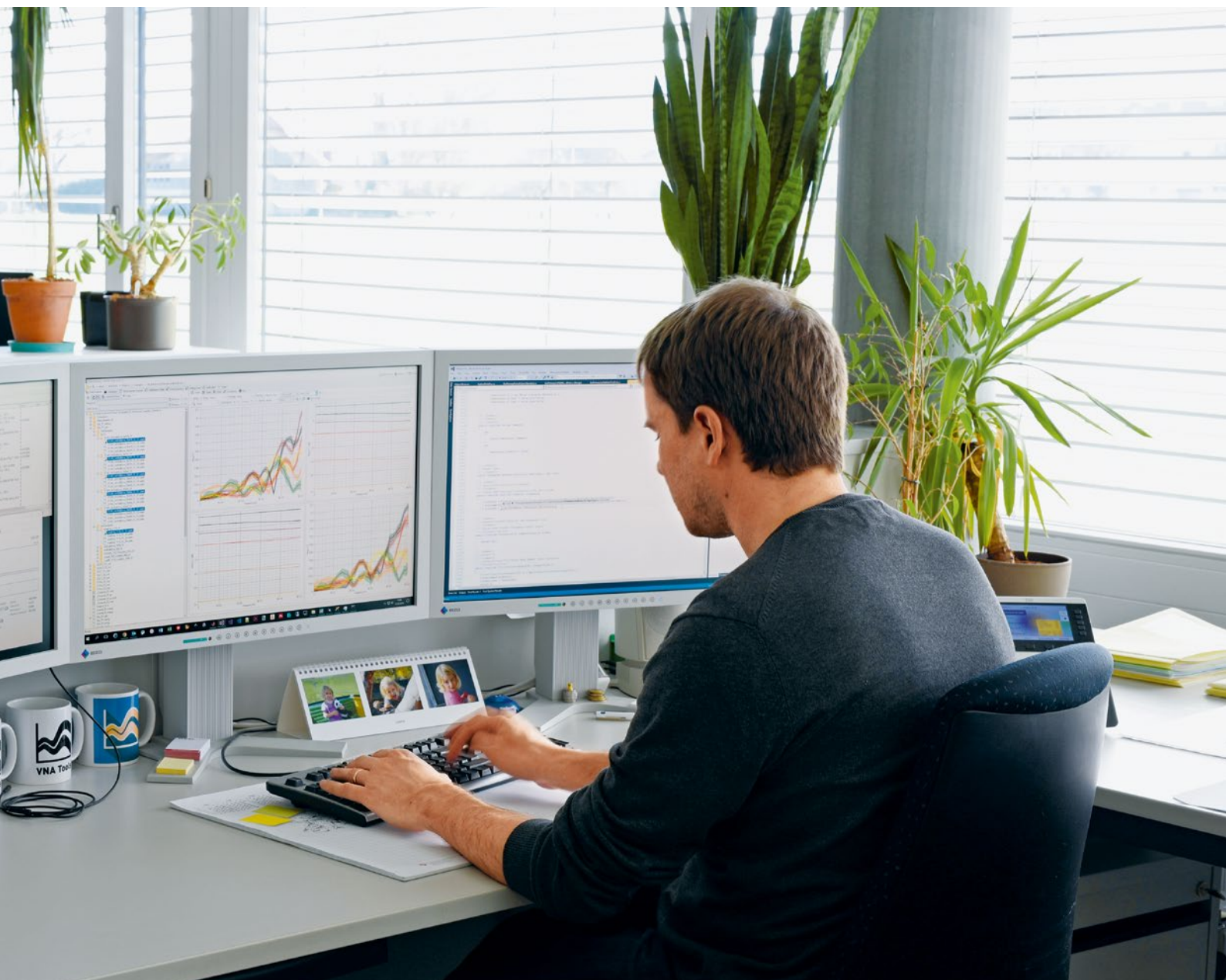
lier par la définition correcte des incertitudes de mesure conformément aux directives internationales. À cet effet, *VNA Tools* se base sur *UncLib*, une bibliothèque logicielle sur la propagation des incertitudes également mise au point par le laboratoire. *UncLib* est un pack logiciel autonome qui peut aussi s'utiliser dans d'autres domaines.

À l'origine, *VNA Tools* a été conçu surtout pour les utilisateurs des instituts nationaux de métrologie. Il compte, à présent, également des universités et des laboratoires d'étalonnage et industriels parmi ses presque 800 titulaires de licence. Pour pouvoir exploiter entièrement le potentiel du logiciel, il est



### Logiciel de métrologie VNA Tools

Le logiciel de métrologie *VNA Tools* peut être téléchargé sur [www.metas.ch/vnatools](http://www.metas.ch/vnatools). Pour le pack logiciel *UncLib*, une bibliothèque logicielle de la propagation des incertitudes de mesures, consulter [www.metas.ch/unclib](http://www.metas.ch/unclib).



recommandé de suivre un cours de trois jours proposé par le laboratoire *Haute fréquence*. Près de 200 utilisateurs ont déjà profité de cette offre.

La *Real Time Interface (RTI)* présente aussi un intérêt pour les utilisateurs industriels. Il s'agit d'une interface définie pour accéder de manière simple aux fonctions de *VNA Tools*. La RTI permet d'intégrer *VNA Tools* à d'autres systèmes. Cette interface requiert une licence séparée. METAS met *VNA Tools* et *UncLib* gratuitement à disposition, contribuant ainsi largement à une évaluation fiable des mesures.



Définition de mesurandes dans la métrologie hautes fréquences.

# Des constantes naturelles à la place du kilogramme étalon : redéfinition de nos unités de mesure

*Les unités avec lesquelles nous mesurons, telles que le kilogramme et l'ampère, ont été redéfinies. Désormais, elles seront toutes définies à l'aide de constantes naturelles, y compris le kilogramme. Jusqu'à présent, il était défini par une unité de référence matérialisée, à savoir le kilogramme étalon conservé à Paris. Cette redéfinition offre des possibilités pour de nouvelles applications techniques.*

Un kilogramme pèse partout un kilogramme, ce qui est évident de nos jours. Cela n'a pourtant pas toujours été le cas. Durant des milliers d'années, d'innombrables unités de mesure et systèmes d'unités étaient utilisés en même temps. Le pied, l'unité de longueur, était par exemple très répandu, mais sa valeur n'était pas la même partout. On mesurait donc avec des mesures et des poids différents, ce qui était un défi au niveau commercial. Cette diversité de mesures et de poids a aussi posé problème plus tard au niveau de la production industrielle.

L'introduction du système métrique en France vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle a été une étape importante dans la classification de la multitude d'unités de mesure. Le pas décisif a été l'introduction d'unités de mesure reconnues sur le plan international, grâce à la Convention du Mètre, traité signé en 1875. Il constitue la base du *Système international d'unités* (SI), introduit en 1960, qui repose sur des unités telles que le mètre, le kilogramme, la seconde, l'ampère, le kelvin, la mole et la candela. Le Système international d'unités (SI) est aujourd'hui la base métrologique faisant foi dans le monde entier.

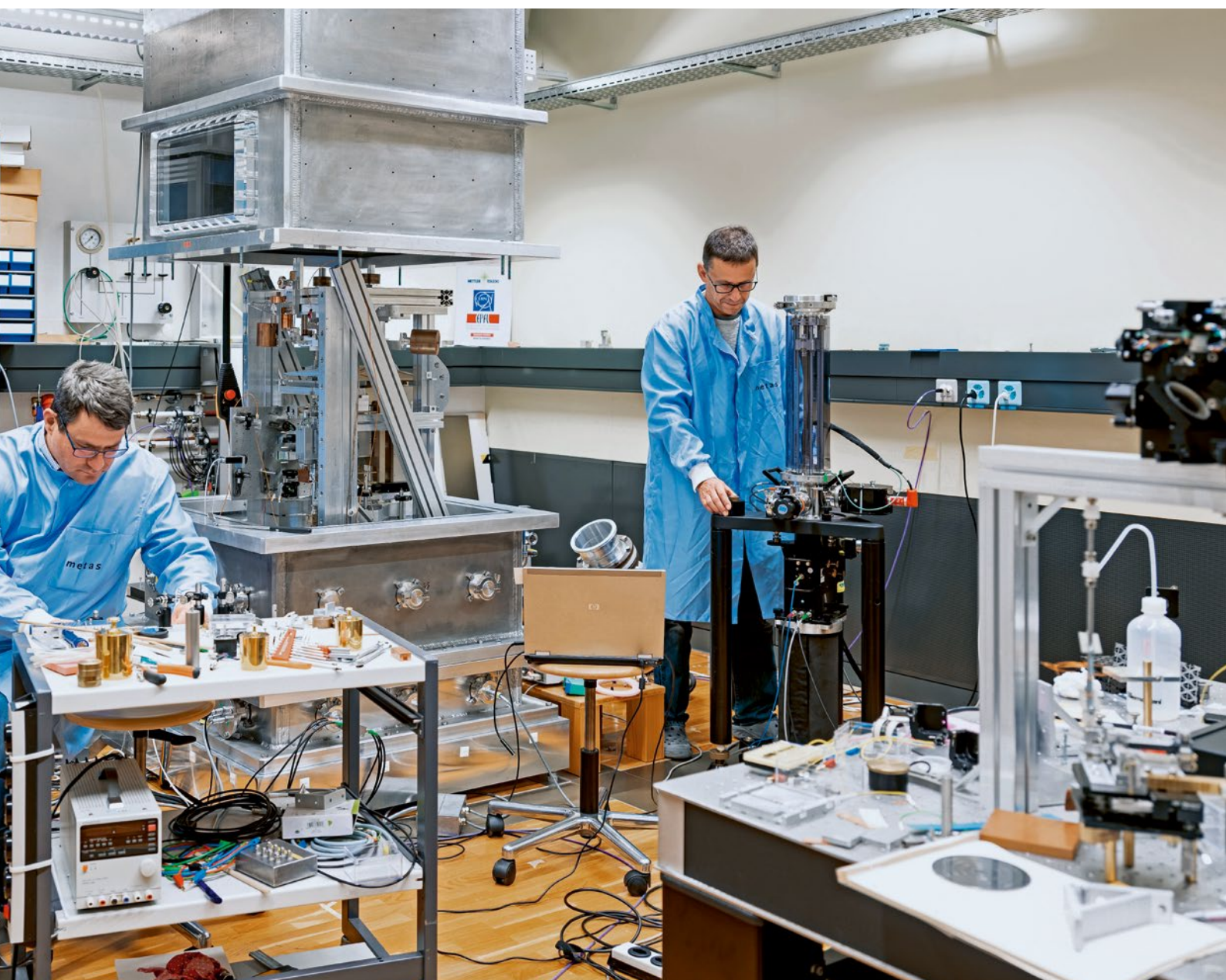
## **Infrastructure métrologique harmonisée sur le plan international**

La Convention du Mètre a non seulement permis de créer les fondements du Système international d'unités (SI), mais aussi une infrastructure métrologique harmonisée sur le plan international. La *Conférence générale des poids et mesures* et le *Bureau international des poids et mesures* à Paris, siège et

institution de recherche de la Convention du Mètre, font notamment partie de cette organisation. De plus, il existe des instituts nationaux de métrologie dans les États, à la pointe de l'exactitude des mesures dans leur pays. En Suisse, il s'agit de METAS. La collaboration entre METAS, d'autres instituts nationaux de métrologie et les organes de la Convention internationale du Mètre permet de garantir que les unités de référence de la Suisse soient reconnues sur le plan international et soient disponibles avec l'exactitude requise.

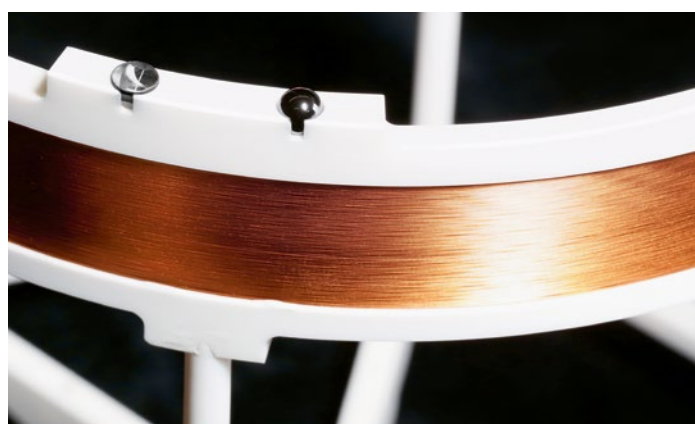






### La constante naturelle est la mesure de toute chose

Avec le temps, les développements technico-scientifiques peuvent donner lieu à de nouvelles exigences et un système d'unités doit y être adapté en conséquence. Ce principe est valable pour la définition de certaines unités, comme pour le Système d'unités. Ainsi, le prototype du mètre de 1889 a pu être remplacé en 1960 par une définition reposant sur une longueur d'onde, donc sur un phénomène physique, ce qui a permis de réaliser l'unité mètre avec une très grande précision. Une nouvelle définition du mètre, entrée en vigueur en 1983 et basée sur une constante naturelle, à savoir la vitesse de la lumière, a permis d'augmenter encore l'exactitude.



Expériences visant à réaliser des unités de mesure.

En novembre 2018, une redéfinition du Système international d'unités (SI) a été décidée à la 26<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures à Versailles. Cette redéfinition offre de nouvelles définitions à certaines unités de mesure. À l'avenir, nos unités seront basées sur des constantes physiques. Cette révision s'applique également au kilogramme, qui n'est plus défini par le prototype international du kilogramme (kilogramme étalon conservé à Paris) mais sur la base de constantes physiques. Ainsi, le kilogramme, comme d'autres unités, n'est plus dépendant d'un artefact, mais il est défini de manière universelle.

La référence aux constantes naturelles rend les unités indépendantes des artefacts matérialisés et des instructions de réalisation très détaillées. De nouvelles propriétés physiques ou de nouvelles techniques garantiront à l'avenir une réalisation plus exacte des unités, sans devoir changer les définitions. De meilleures unités permettent des mesures plus exactes et sont ainsi une condition essentielle au progrès scientifique et technologique dans divers domaines. La révision actuellement décidée représente en ce sens une modification fondamentale du SI. On a bien sûr veillé à ce que rien ne change dans la vie de tous les jours, lors du passage de l'ancien système au système révisé : un kilogramme restera, au quotidien, un kilogramme. La redéfinition du kilogramme repoussera toutefois les limites du possible, car l'unité sera beaucoup plus stable. De plus, l'exactitude de la détermination de la masse s'améliorera parallèlement au progrès technique.

#### **Impact important des progrès effectués en métrologie**

Inversement, les progrès technologiques réclament également des mesures toujours plus exactes et fiables. Il est impossible de bien comprendre ce que nous ne pouvons pas mesurer. C'est pourquoi les progrès métrologiques ont une incidence notable sur notre capacité à comprendre notre environnement et à le façonner. Ces progrès permettent de mieux relever les défis sociaux actuels et à venir, ainsi que de répondre aux besoins de l'industrie.

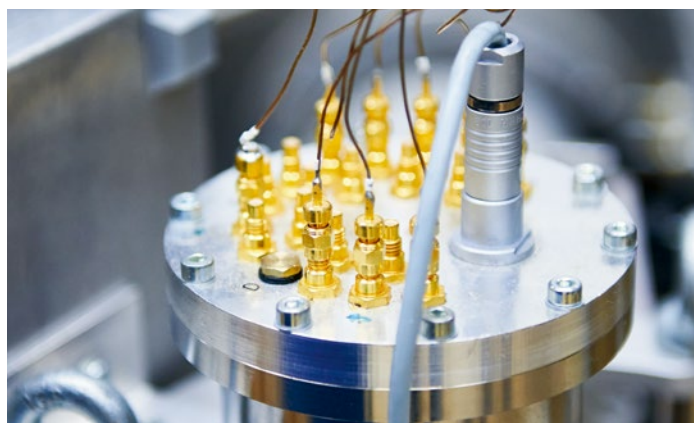
Dans le domaine de la santé, la métrologie peut, au moyen de matériaux de référence reconnus et de nouvelles méthodes de mesure, contribuer à améliorer la qualité et la comparabilité de résultats diagnostiques et thérapeutiques. Le contrôle de la qualité des denrées alimentaires et de l'eau potable dépend de mesures traçables. Il est essentiel pour la politique climatique que les mesures politiques de réduction des effets anthropiques sur le climat

reposent sur des connaissances scientifiques solides et sur des modèles climatiques fiables. Il est donc indispensable d'avoir une approche holistique fondée sur des données comparables. La métrologie peut aussi contribuer de façon importante au stockage et au transport de l'énergie : l'alimentation en énergie décentralisée, qui fluctue en fonction du temps et qui résulte de l'utilisation d'installations photovoltaïques ou éoliennes, requiert une meilleure surveillance des réseaux électriques. La métrologie est nécessaire pour gérer et comptabiliser les flux d'énergie. En effet, la qualité des carburants doit être vérifiée afin d'assurer la protection des utilisateurs.





Il incombe à METAS et à tous les autres instituts nationaux de métrologie de créer les bases permettant de définir correctement les grandeurs de mesure et les grandeurs de référence, et d'effectuer les mesures avec l'exactitude requise au sein de domaines aussi variés que la recherche fondamentale en physique et la sécurité des denrées alimentaires.



Expériences visant à réaliser des unités de mesure.

# Mesurer par-delà les frontières : organisations internationales de métrologie

*METAS (et de ce fait la Suisse) est particulièrement bien représenté dans les organisations internationales de métrologie. Ses collaborateurs jouent un rôle actif et déterminant au sein de ces organisations.*

Dans le domaine de la métrologie, la collaboration internationale est indispensable. Elle a permis le remplacement de la multitude d'unités de mesure et de systèmes d'unités valables sur le plan régional, qui coexistaient grâce au Système international d'unités (SI) valable dans le monde entier. La base légale du SI est la Convention du Mètre, un traité international datant de 1875. La 26<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures, durant laquelle la révision du SI, de portée historique, a été décidée, représente l'apogée de la collaboration internationale en métrologie (cf. p. 16). Elle s'est déroulée du 13 au 16 novembre 2018 à Versailles. Le directeur de METAS était le chef de la délégation suisse.

## Grand engagement au niveau international

L'engagement international des collaborateurs de METAS est important. METAS joue un rôle actif et essentiel au sein d'EURAMET, l'Association européenne des instituts nationaux de métrologie. Entre juin 2015 et juin 2018, le chef de la recherche de METAS a présidé EURAMET. Un collaborateur de METAS est également le président du comité technique *Metrology in Chemistry*. Le chef du laboratoire Optique a été élu président de la *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), l'organisme international de normalisation et de standardisation dans les domaines de la lumière et de l'éclairage. Il assumera cette fonction dès juin 2019. Depuis 2017, le directeur suppléant de METAS est président de WELMEC, l'organisation qui assure la coopération européenne en métrologie légale. Le directeur de METAS est membre du *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM).

Cet engagement, et bien d'autres, dans des organisations spécialisées en métrologie témoignent notamment du fait que METAS et ses collaborateurs sont appréciés comme partenaires compétents et fiables sur le plan international.



26<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures à Versailles, le 16 novembre 2018.

# Réglementation en métrologie : législation en vigueur

*La participation à la préparation de textes législatifs du domaine de la métrologie fait partie des tâches légales de METAS. En 2018, celui-ci a proposé plusieurs modifications d'ordonnances qui sont en partie entrées en vigueur cette année. De plus, il a publié des directives à l'intention des organes d'exécution de la loi sur la métrologie qui ont pour but d'assurer une mise en œuvre uniforme des prescriptions.*

En 2018, diverses modifications d'ordonnances sont entrées en vigueur dans le domaine de la métrologie:

- Le 1<sup>er</sup> octobre: modification de l'ordonnance sur les émoluments de vérification. Les émoluments pour les instruments de mesure de l'énergie et de la puissance électriques ont été en particulier revus afin de tenir compte de la diffusion toujours plus étendue des *smart meters*.
- Le 1<sup>er</sup> décembre: modification de l'ordonnance du DFJP sur les instruments mesureurs des gaz d'échappement des moteurs à combustion. Les exigences envers ces instruments de mesure ont été adaptées sur plusieurs points.

Par ailleurs, de nouvelles modifications d'ordonnances ont été préparées. À titre d'exemple, les cercles intéressés par une modification de l'ordonnance sur les déclarations de quantité dans la vente en vrac et sur les préemballages ont été consultés.

## **Les directives comme instrument de surveillance**

Il n'est pas toujours évident de savoir quelles règles s'appliquent pour les diverses lois et ordonnances. Dans de tels cas, les directives des autorités compétentes peuvent assurer une application uniforme des prescriptions. METAS surveille l'exécution des prescriptions métrologiques et peut, en tant que tel, édicter des directives à l'intention des organes d'exécution de la loi sur la métrologie.

Des nouvelles directives de METAS relatives à l'ordonnance du DFJP sur les instruments de mesure de l'énergie et de la puissance électriques sont entrées en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2018. Elles contiennent notamment des améliorations techniques des procédures de maintien de la stabilité de mesure.



Mesure des émissions de particules pour les machines de chantier.

# Mise sur le marché d'instruments de mesure conformes : METAS-Cert

*METAS-Cert permet à METAS de disposer d'un organisme d'évaluation de la conformité reconnu pour les instruments de mesure. METAS-Cert est au service de ses clients sur plusieurs continents.*

Quiconque veut commercialiser un instrument de mesure doit attester que ce dernier remplit bien les conditions prescrites. Les fabricants ont besoin à cet effet des services d'un organisme indépendant d'évaluation de la conformité spécialisé en métrologie tel que METAS-Cert.

L'organisme d'évaluation de la conformité METAS-Cert, créé en 2006, est le service désigné par la Suisse et reconnu par l'Union européenne (UE) pour l'évaluation de la conformité des instruments de mesure selon les directives de l'UE. METAS-Cert accompagne les fabricants le long du processus d'évaluation de la conformité pour la mise sur le marché de leurs instruments de mesure et propose à cet effet toutes les possibilités de contrôle. METAS-Cert figure dans la base de données NANDO des organismes d'évaluation de la conformité de l'UE et peut à ce titre proposer ses services dans toute l'UE. Grâce à cette reconnaissance, un fabricant suisse d'instruments de mesure peut commercialiser directement ses produits dans tous les pays de l'UE dès lors qu'il possède une certification de METAS-Cert. Pour l'entreprise, cela signifie des coûts réduits et un gain de temps.

Il existe différentes procédures pour les instruments de mesure régis par la loi. METAS-Cert ne propose pas seulement des évaluations de conformité UE, mais aussi pour la Suisse, et il est également un organisme d'audit VCAP pour le marché américain.

*L'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) s'appuie sur le système de certification OIML-CS dont fait également partie METAS-Cert pour plusieurs catégories d'instruments de mesure.*

Après toute évaluation de conformité, un certificat électronique est établi pour le type, l'appareil ou l'organisation.



## **Le défi des smart meters**

METAS-Cert s'adapte régulièrement aux nouvelles évolutions techniques et à leurs effets. Il est actuellement nécessaire que les smart meters, contrairement aux compteurs traditionnels, répondent à un certain nombre d'exigences en matière de sécurité des données. Le risque existe en effet que les données de consommation électrique enregistrées et transmises par des smart meters soient utilisées de manière abusive. METAS-Cert met actuellement en place une procédure pour vérifier si les différents éléments de ces systèmes de mesure intelligents remplissent les exigences en matière de sécurité des données.



### L'heure et le temps sont aussi certifiés

METAS-Cert inspecte aussi depuis 2013 des stations météorologiques automatiques de MétéoSuisse et de ses fournisseurs de données. Concrètement, il analyse les facteurs d'influence de l'environnement sur ces stations. Ces données permettent à MétéoSuisse de définir l'incertitude de mesure de chaque station et de procéder à d'éventuelles corrections sur place.

Depuis 2015, METAS-Cert certifie des montres mécaniques. Les montres sont soumises p. ex. à d'importants champs magnétiques. Les montres ayant passé les tests reçoivent un certificat et peuvent porter l'appellation « Master Chronometer ».



Station météorologique contrôlée par METAS-Cert.

# Les métiers de la métrologie : travailler à METAS

*METAS est l'interface métrologique de la science, de l'économie et de la société. Il a besoin de personnel hautement qualifié issu des disciplines scientifiques les plus diverses. METAS se distingue en tant qu'employeur en tenant compte des besoins individuels.*

Le 1<sup>er</sup> janvier 2013, l'Office fédéral de métrologie est devenu l'Institut fédéral de métrologie (METAS), avec sa propre comptabilité et sa propre personnalité juridique. METAS est un employeur autonome au sens de la loi fédérale sur le personnel de la Confédération. Il est actuellement constitué de trois divisions: les employés de la plus grande division en termes d'effectifs, *Physique et chimie*, se consacrent à la réalisation technique des unités ainsi qu'à la recherche et au développement. Ceux de la division *Métrologie légale* sont responsables quant à eux de l'application de la législation sur les instruments de mesure. La division *Ressources* regroupe les services internes tels que les finances et l'informatique.

## **Travailler à l'endroit où l'on mesure le plus exactement en Suisse**

En tant que lieu de travail, METAS se caractérise par un environnement technologique de pointe et une infrastructure de laboratoires de haut niveau. Ces équipements sophistiqués sont nécessaires à l'accomplissement des tâches de METAS en tant qu'institut national de métrologie de la Suisse. METAS regroupe des professionnels de tout horizon technique qui travaillent souvent dans un environnement hautement spécialisé. Un grand nombre de disciplines de la technologie et des sciences naturelles sont représentées à METAS, ce qui crée un environnement de travail à la fois exigeant et stimulant. En outre, METAS se distingue par le fait que les collaborateurs peuvent participer à la mise au point de nouvelles possibilités de mesure dans le cadre de travaux de recherche ou de développement, et collaborer avec des partenaires en Suisse et à l'étranger. Il faut également mentionner les contacts intensifs avec l'industrie et la collaboration avec les autorités. METAS favorise par ailleurs les programmes d'échange. Cette année par exemple, une scientifique chinoise était invitée au laboratoire *Masse, force et pression*.



## **Horaires de travail flexibles**

METAS s'efforce de répondre aux différents besoins individuels de tous ses collaborateurs. Des modèles de travail différents sont ainsi proposés afin qu'ils puissent concilier au mieux vie professionnelle et famille, mais aussi consacrer du temps aux activités qui les intéressent. Outre la possibilité de travailler à domicile ou à temps partiel, une partie du salaire peut être perçue sous forme de vacances.





En tant que lieu de travail, METAS se caractérise par un environnement technologique de pointe.

Répondre autant que possible aux besoins individuels, une excellente ambiance de travail, un faible taux de rotation du personnel et une excellente renommée sont quelques-unes des valeurs qui distinguent METAS en tant qu'employeur et lieu de travail, et montrent que la philosophie de l'entreprise, «METAS, c'est nous tous», est réellement vécue.

#### **METAS en tant que site de formation**

METAS s'engage à former de futurs professionnels. L'Institut propose diverses formations professionnelles dans les domaines technico-scientifiques (laborantin/e en physique, laborantin/e en chimie, polymécanicien/ne, électronicien/ne, informaticien/ne, médiamaticien/ne), des stages MP pour employés de commerce ainsi que de nombreux stages destinés aux diplômés de hautes écoles.

# Finances

*METAS boucle son exercice 2018 avec un bénéfice de 4,3 millions de francs. Les charges se sont élevées à 47,1 millions de francs et les revenus (y compris les indemnités) ont atteint 51,4 millions de francs.*

Les comptes de METAS sont établis conformément aux normes comptables internationales pour le secteur public (International Public Sector Accounting Standards, IPSAS).

## Bilan

(en milliers de CHF)	31.12.2018	31.12.2017
<b>Actifs</b>		
Liquidités	20 202	19 976
Créances résultant de prestations	3 000	3 007
Créances résultant de projets de recherche	2 778	3 599
Autres créances	110	52
Comptes de régularisation d'actifs	811	731
<b>Actif circulant</b>	<b>26 901</b>	<b>27 366</b>
Immobilisations corporelles	20 923	20 446
Immobilisations incorporelles	2 336	1 931
<b>Actif immobilisé</b>	<b>23 259</b>	<b>22 377</b>
<b>Total de l'actif</b>	<b>50 160</b>	<b>49 743</b>
<b>Passifs</b>		
Engagements résultant de livraisons et de prestations	1 322	1 280
Engagements résultant de projets de recherche	3 930	4 387
Autres engagements	1 466	1 051
Comptes de régularisation de passifs	155	244
Provisions à court terme	1 098	878
<b>Capitaux de tiers à court terme</b>	<b>7 971</b>	<b>7 840</b>
Provisions pour engagements de prévoyance	49 580	44 032
Provisions pour primes de fidélité	1 467	1 466
<b>Capitaux de tiers à long terme</b>	<b>51 047</b>	<b>45 498</b>
Perte résultant du bilan	-17 235	-19 152
Pertes / bénéfices actuariel(le)s cumulé(e)s	663	10 227
Réserves pour actif immobilisé	3 413	3 413
Bénéfice	4 301	1 917
<b>Capitaux propres</b>	<b>-8 858</b>	<b>-3 595</b>
<b>Total du passif</b>	<b>50 160</b>	<b>49 743</b>

**Compte de résultat**

(en milliers de CHF)	2018 1.1.2018–31.12.2018	2017 1.1.2017–31.12.2017
<b>Produits nets</b>	<b>51 295</b>	<b>48 048</b>
<b>Bénéfices provenant de la vente de l'actif immobilisé</b>	<b>13</b>	<b>6</b>
<b>Charges de biens et services et de prestations de tiers</b>	<b>-685</b>	<b>-805</b>
Charges de personnel	-31 699	-30 684
Autres charges d'exploitation	-10 993	-11 298
Amortissements	-3 575	-3 357
<b>Charges d'exploitation</b>	<b>-46 267</b>	<b>-45 339</b>
Revenus financiers	61	107
Charges financières	-106	-70
<b>Résultat financier</b>	<b>-45</b>	<b>37</b>
Charges d'impôts différés	-10	-30
<b>Bénéfice</b>	<b>4 301</b>	<b>1 917</b>

Durant l'année sous revue, METAS a pu autofinancer ses activités à hauteur de 58,0 % (50,9 % l'année précédente). Ce taux d'autofinancement est dû aux émoluments, aux indemnités pour la prise en charge d'autres tâches et aux fonds de tiers.

L'organe de révision a confirmé sans réserve la régularité de la tenue des comptes.

Les comptes annuels détaillés, conformes aux normes IPSAS, peuvent être consultés sur le site Internet de METAS ou commandés auprès de METAS.

# Informer sur la métrologie : publications et exposés de METAS

*L'activité de recherche et développement se reflète à travers des publications et des exposés rédigés ou donnés par les chercheurs de METAS.*

En 2018, les collaborateurs de METAS ont présenté les résultats de leurs travaux de recherche et développement au cours de colloques, de conférences et dans des publications scientifiques. Ils ont œuvré au sein d'organisations ou d'organes spécialisés sur le plan national et international, où ils ont apporté leur savoir-faire et leur expérience. Ils ont contribué à la renommée de la métrologie auprès du grand public, au-delà du cercle restreint des initiés et ont participé à des cours dispensés aux étudiants des hautes écoles.

## La métrologie en tant que thème

Un aperçu des principales publications rédigées par des collaborateurs de METAS et des exposés qu'ils ont tenus se trouve à la fin de ce chapitre.

En 2018, plusieurs exposés et six colloques spécialisés ont eu lieu à METAS. L'Institut propose en outre tous les modules de la formation des vérificateurs.

En 2018, deux numéros de la revue spécialisée en métrologie «METinfo» sont parus, dont METAS est l'éditeur et dont les articles sont en règle générale rédigés par des collaborateurs de METAS. Plusieurs articles de «METinfo» ont été repris par des revues spécialisées dans divers domaines.

## Aperçu des laboratoires

Comme les années précédentes, METAS a participé au programme « Filles et métiers de la technique » durant la journée nationale « Futur en tous genres », qui a eu lieu le 8 novembre 2018. METAS a proposé à un groupe de jeunes filles un aperçu de ses tâches et de ses activités au sein de ses laboratoires.

Durant l'année sous revue, des visites de groupe ont été organisées pour les personnes intéressées. Environ 30 groupes comptant au total plus de 700 participants ont profité de l'occasion pour avoir un aperçu concret des laboratoires et du développement des installations de mesure. Ces visites permettent aux visiteurs de voir et d'approcher les tâches et les activités de METAS.

## Publications et exposés

La liste ci-après est un aperçu des principales publications rédigées par des collaborateurs de METAS ainsi que des exposés qu'ils ont tenus. Les noms des collaborateurs de METAS sont écrits en caractères gras dans la liste des auteurs.

### Publications

**B. Bircher, F. Meli, A. Küng, R. Thalmann:** *Characterising the Positioning System of a Dimensional Computed Tomograph (CT)*. PTB open access repository (2018) (8 pp.).

**H. Bissig, M. Tschannen, M. de Huu:** *Improving Process Quality by Means of Accurate and Traceable Calibration of Flow Devices with Process-oriented Liquids*. *Chimia*, 72 (2018), pp. 124-129.

**A. Buchter, J. Hoffmann, A. Delvallée, E. Hapiuk, C. Lictra, K. Louarn, A. Arnoult, G. Almuneau, F. Piquemal, M. Zeier, F. Kienberger:** *Scanning microwave microscopy applied to semiconducting GaAs structures*. *Review of Scientific Instruments*, 89, 023704 (2018), pp. 1-6.

**N. Castagna, J. Morel et al.:** *Traceable instruments for Encircled Angular Flux measurements*. *Proc. SPIE*, 10683 (2018) (6 pp.).

**N. Castagna, J. Morel et al.:** *Modelling of standard and specialty fibre-based systems using finite element methods*. *Proc. SPIE*, 10683 (2018) (6 pp.).

**S. Dash, F. Pythoud et al.:** *Method for traceable measurement of LTE signals*. *Metrologia*, 55 (2) (2018), pp. 284-293.

**M. Ess, K. Vasilatou:** *Characterization of a new miniCAST with diffusion flame and premixed flame options: Generation of particles with high EC content in the size range 30 nm to 200 nm*. *Aerosol Science and Technology* (2018), pp. 1-16.

**M. Guillevic, M.K. Vollmer, S.A. Wyss, D. Leuenberger, A. Ackermann, C. Pascale, B. Niederhauser et al.:** *Dynamic-gravimetric preparation of metrologically traceable primary calibration standards for halogenated greenhouse gases*. *Atmos. Meas. Tech.*, 11 (2018), pp. 3351-3372.

**M. K. Vollmer, D. Young, C. M. Trudinger, J. Mühle, S. Henne, M. Rigby, S. Park, S. Li, M. Guillevic et al.:** *Atmospheric histories and emissions of chlorofluorocarbons CFC-13 (CClF<sub>3</sub>), ΣCFC-114 (C<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>F<sub>4</sub>), and CFC-115 (C<sub>2</sub>ClF<sub>5</sub>)*. *ACP Atmospheric Chemistry and Physics*, 18 (2018), pp. 979-1002.

**A. Jallageas, L. Devenoges, M. Petersen, J. Morel, L. G. Bernier et al.:** *First uncertainty evaluation of the FoCS-2 primary frequency standard*. *Metrologia*, 55 (2018), pp. 366-385.

**B. Jeckelmann:** *A milestone in the further development of the International System of Units*. *Swiss physical society SPS*, 56 (2018), pp. 26-29.

**T. S. Carzaniga, N. P. van der Meulen, R. Hasler, C. Kottler, P. Peier et al.:** *Measurement of the <sup>43</sup>Sc production cross-section with a deuteron beam*. *Elsevier* (2018), pp. 205-208.

**O. Vaittinen, M. Metsälä, L. Halonen, S. Persijn, D. Leuenberger, B. Niederhauser:** *Effect of moisture on the adsorption of ammonia*. *Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature* (2018), pp. 1-8.

**C. Mester, J.-P. Braun, C. Ané:** *Einführung in die rückführbare Messung von Power Quality*. *Technisches Messen*, Volume 85 (12) (2018), pp. 738-745.

**A. Nicolet, F. Meli:** *Traceable measurements of rounded cutting tool edges*. *PTB open access repository* (2018) (8 pp.).

**P. J. Brewer, B. Gieseking, V. F. Ferracci, M. Ward, J. van Wijk, A. M. H. van der Veen, A. A. Lima, C. R. Augusto, S. H. Oh, B. M. Kim, S. Lee, L. A. Konopelko, Y. Kustikov, T. Shimosaka, B. Niederhauser, M. Guillevic et al.:** *International Comparison CCQM-K116*. *IOPscience Metrologia*, 55 (2018), pp. 1-47.

**A. Demichelis, C. Pascale, M. Lecuna, B. Niederhauser et al.:** *Compact devices for generation of reference trace VOC mixtures: a new concept in assuring quality at chemical and biochemical laboratories*. *PubMed* (2018), pp. 2619-2628.

**N. D. C. Allen, D. R. Worton, P. J. Brewer, C. Pascale, B. Niederhauser:** *The importance of cylinder passivation for preparation and long-term stability of multi-component monoterpene primary reference materials*. *Atmos. Meas. Tech.*, 11 (2018), pp. 6429-6438.

**F. Pythoud:** *Proficiency Testing in EMC Radiated Immunity*. *IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility*, Volume PP/Issue 99 (2018), pp. 1-5.

**M. J. van Camp, P. Richard, O. de Viron:** *Universal units reflect their earthly origins*. *EOS Earth & Space Science News*, 99 (2018) (9 pp.).

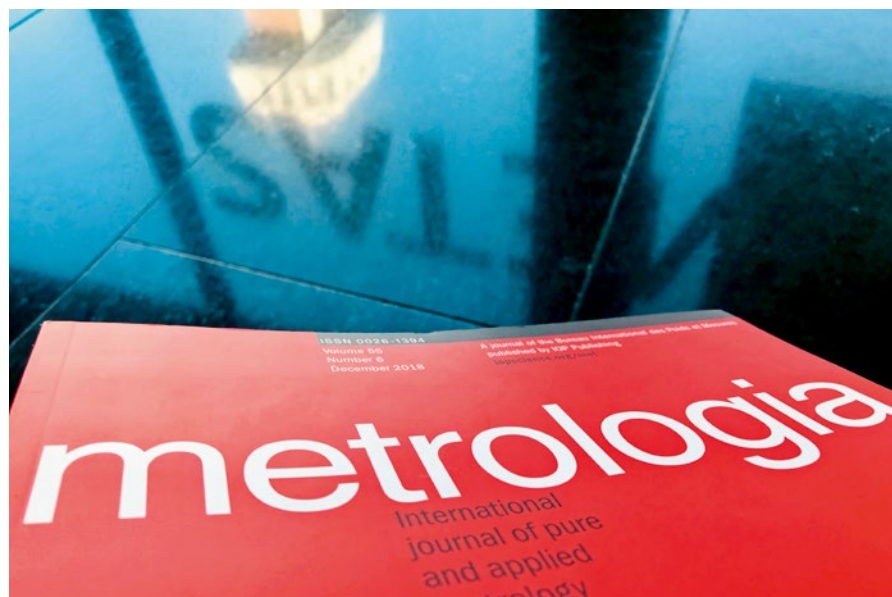
**Z. Jiang, V. Zhang, Y.-J. Huang, J. Achkar, D. Piester, S.-Y. Lin, W. Wu, A. Naumov, S.-h. Yang, J. Nawrocki, I. Sesia, C. Schlunegger et al.:** *Use of software-defined radio receivers in two-way satellite time and frequency transfers for UTC computation*. *Metrologia*, 55 (2018), pp. 685-698.

**R. Thalmann et al.:** *Angle comparison using an autocollimator – bilateral follow-up.* Metrologia, 55 (2018), pp. 1-11.

**R. Geckeler, A. Just, V. Vasilev, E. Prieto, F. Dvoracek, S. Zelenika, J. Przybylska, A. Duta, I. Victorov, M. Pisani, F. Saraiva, J.-A. Salgado, S. Gao, T. Anusorn, S. L. Tan, P. Cox, T. Watanabe, A. Lewis, K P Chaudhary, R. Thalmann et al.: *Angle comparison using an autocollimator.* Metrologia, 55 (2018), pp. 1-57.**

**R. Thalmann, A. Küng, A. Nicolet, F. Meli et al.:** *Versatile calibration artefact for optical micro-CMMs based on micro-spheres with engineered surface texture.* PTB open access repository (2018), pp. 1-6.

**M. Zeier et al.:** *Establishing traceability for the measurement of scattering parameters in coaxial line systems.* Metrologia, 55 (2018), pp. 23-36.



#### Contributions à des conférences et des exposés

**M.-O. André:** *Challenges in metrology – From standard metre to immaterial references.* Digital Trust Conference / PriceWaterhouseCooper, Genève, 20.3.2018.

**H. Andres:** *Messunsicherheit & Konformitätsbewertung Atemalkoholmessmittel.* ZHAW Wädenswil, 4.12.2018.

**C. Ané, J.-P. Braun, C. Mester:** *Establishing traceability for Flickermeters.* First International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet), 2018, Split, 27.4.2018.

**K. Auderset:** *Calibration of optical particle counters.* Clean Zone Frankfurt, 23.10.2018.

**K. Auderset, D. Schwaller:** *Staubtrockene Fakten.* SVG-Tagung, 30.10.2018.

**F. Assi:** *Verifications and Simulation for Speed enforcement devices.* Chinese Institutes and Supplier Seminar of speed enforcement devices – NIM China, 13.12.2018.

**L.-G. Bernier:** *Operation of a time laboratory.* BIPM Capacity Building & Knowledge Transfer, 12–15.2.2018.

**L.-G. Bernier:** *Action to improve laboratory uncertainty.* BIPM Capacity Building & Knowledge Transfer, 12–15.2.2018.

**L.-G. Bernier:** *GNNS Time Transfer.* BIPM Capacity Building & Knowledge Transfer, 13–18.5.2018.

**H. Bissig, M. Tschannen, M. de Huu:** *Traceable response time characterization in fast changing flow rates.* 10th ISSFM, 21–23.3.2018, Queretaro, Mexico.

**H. Bissig, M. Tschannen, M. de Huu:** *High accuracy testing of drug delivery devices.* Workshop on Nano-Bio Surfaces and Interfaces, 8–9.5.2018, Lausanne.

**H. Bissig:** *Lowest traceable flow rates in micro fluidics and new measurement possibilities.* PTB Seminar: Metrology in Fluss, 8–9.11.2018, Braunschweig.

**P. Blattner:** *New CIE Color Fidelity Index.* International Scientific and Technical Conference “Light in Museum”, 18.–20.4.2018, St. Petersburg.

**P. Blattner:** *Quantifying non-visual effects of lighting.* Integrative Lighting: SSLNet Conference 2018, Toronto, 2.6.2018.

**P. Blattner:** *CIE Research Strategy (in solid-state lighting).* NSVV national conference on LED solid-state lighting, Eindhoven, 12.6.2018.

**P. Blattner:** *Quantifying Light and Optical Radiation.* Joint CIE – IAU Discussion and Workshop on Light pollution, Wien, 24.8.2018.

**P. Blattner:** *On the revision of the SI- and its impact in photometry and radiometry.* Coomet-Workshop, Varadero, 4.9.2018.

**P. Blattner:** *International Standardization of Light and Lighting.* CIE Tutorial and Practical Workshop on LED Lamp and Luminaire Testing, Moscow, 5.11.2018.

**P. Blattner:** *Practical Example of Measurement Uncertainty Analysis.* CIE Tutorial and Practical Workshop on LED Lamp and Luminaire Testing, Moscow, 6.11.2018.

**P. Blattner:** *European regulations and standardization work in the field of light and lighting.* LED Forum, Moskau, 7.11.2018.

**C. Blaser:** *Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten – Eine Zusammenarbeit mit dem Kernkraftwerk Mühleberg.* METAS Seminar, 23.5.2018.

**J.-P. Braun:** *Measure of the absolute phase angle of a power frequency sinewave with respect to UTC.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris, 8.7.2018.

**J.-P. Braun, C. Mester:** *Metrology for Smart Grids.* First International Colloquium on Smart Grid Metrology SmaGriMet, 2018, Split, 27.4.2018.

**A. Buchter:** *Electrical Nanometrology at High Frequencies.* METAS Seminar, 17.10.2018.

**N. Castagna, J. Morel et al.:** *Modelling of standard ans specialty fibre-based systems using finite element methods.* SPIE Photonics Europe, 23.4.2018.

**N. Castagna, J. Morel et al.:** *Traceable instruments for encircled angular flux measurements.* SPIE Photonics Europe, 24.4.2018.

**D. Corminboeuf:** *Calibration of the absolute linearity of lock-in amplifiers.* Conference on Precision electromagnetic Measurements (2018).

**M. Ess et al.:** *Characterization of a New MiniCAST Generator (5201 Type BC) Including Diffusion and Premixed Flame Options.* Hyttialä Summer School, 14.5.2018.

**M. Ess et al.:** *Characterization of a New MiniCAST Generator (5201 Type BC) Including Diffusion and Premixed Flame Options.* 22nd ETH Conference on combustion nanoparticles, 20.6.2018.

**M. Ess et al.:** *Characterization of a New MiniCAST Generator (5201 Type BC) Including Diffusion and Premixed Flame Options.* 10th International Aerosol Conference, 6.9.2018.

**M. Guillevic et al.:** *Metrologically traceable reference gas mixtures at trace levels from  $\mu\text{mol/mol}$  ( $10^{-6}$ ) to  $\text{pmol/mol}$  ( $10^{-12}$ ).* Exhalomics Workshop, Zürich, 27.2.2018.

**M. Guillevic et al.:** *A new method to produce SI-traceable, primary calibration standards for halogenated greenhouse gases.* EGU, Wien, 12.4.2018.

**M. Guillevic et al.:** *AGAGE58 – 13f. Report on APRECON-GC-quadMS at METAS.* AGAGE 58. Meeting, 12.10.2018.

**M. Enge, C. Hof:** *Emerging alternative to the well-known L52P microphones.* IMEKO XXII world congress, 3.-6.9.2018, Belfast, 3.9.2018.

**C. Hof:** *Metrologie im Bereich Vibration am METAS.* SPEKTRA-Kalibrierseminar, Dresden, 25.10.2018.

**C. Hof:** *Implementierung der Druckkalibrierung von Laborstandard-Mikrofonen durch die Reziprozitätsmethode am METAS.* SPEKTRA-Kalibrierseminar, Dresden, 26.10.2018.

**C. Hof:** *Zuverlässige Messungen dank Kalibrierung – auch mit dem Pendelfall-Hammer.* SGA-Herbsttagung, Sursee, 8.11.2018.

**J. Hoffmann:** *Open Innovation.* EMMT member meeting, Brussels, 11.6.2018.

**J. Hoffmann:** *Towards High Frequency Power Measurement Using the Electro-Optical Effect.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 8.-13.7.2018, Paris, 9.7.2018.

**S. Horender:** *Investigation of the flow characteristics in an aerosol mixing facility.* Comsol Conference 2018, 23.10.2018.

- S. Horender:** *PM Sensor Kalibrierung mittels realitätsnaher Referenzaerosole – Stand und Ausblick.* Grimm Anwenderseminar, 29.10.2018.
- M. de Huu et al.:** *The European Research Project on Metrology for Hydrogen Vehicles – MetroHyVe.* 10th ISSFM, 21–23.3.2018, Queretaro, Mexico.
- M. de Huu, M. Aeschbacher:** *Performance testing of hydrometric current meters in a wind tunnel – feasibility tests.* 10th ISSFM, 21–23.3.2018, Queretaro, Mexico.
- M. de Huu et al.:** *The European Research Project on Metrology for Hydrogen Vehicles – MetroHyVe.* IMEKO XXII world congress, 3–6.9.2018, Belfast.
- A. Jallageas, J. Morel et al.:** *Wavelength calibration of high-performance spectrometers with a stabilized optical comb from an ultrafast semiconductor disk laser.* CLEO 2018, 15–17.5.2018.
- B. Jeckelmann:** *The revised International System of Units: A new foundation for all measures.* Plenary talk an der Jahrestagung der Schw. Physikalischen Gesellschaft, 28.–31.8.2018, Lausanne, 31.8.2018.
- B. Jeckelmann:** *Das revidierte SI: Hintergründe und wichtigste Änderungen.* METAS Seminar, 6.12.2018.
- B. Jeckelmann:** *Eine koordinierte metrologische Infrastruktur in Europa zum Nutzen von Industrie und Gesellschaft.* Technische Universität, Ilmenau, 12.12.2018.
- K. Draxler, R. Styblíková, J. Hlavacek, G. Rietveld, H. E. van den Brom, M. Schnaitt, W. Waldmann, E. Dimitrov, T. Cincar-Vujovic, B. Pączek, G. Sadowski, G. Crotti, R. Martín, F. Garnacho, I. Blanc, **R. Kämpfer, C. Mester et al.:** *Results of an International Comparison of Instrument Current Transformers up to 10 kA at 50 Hz Frequency.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 3–18 July 2018, Paris.
- C. Kottler:** *Applied Radiometry: Calibration of dose calibrators in nuclear medicine application.* Swiss Radiopharmacy Day (SGRRC – SSRRC), 15.3.2018.
- A. Küng:** *A geometry measurement system for a dimensional cone-beam CT.* 8th Conference on Industrial Computed Tomography iCT 2018, Wels, Austria, 8.2.2018.
- A. Küng, B. A. Bircher, F. Meli, R. Thalmann:** *Straightness and index sensor with sub-micron accuracy.* 18th International Conference & Exhibition, euspen 2018, Venice, Italy, 5.6.2018
- D. Leuenberger, M. Guillevic et al.:** *Concepts and challenges in the dynamic generation of SI-traceable nitrogen dioxide reference gas mixtures at ambient amount fractions.* EGU, Wien, 12.4.2018.
- D. Lussi:** *Regelung Hallwilersee.* GITHA, 27.09.2018.
- D. Lussi:** *IoT in der Umweltmesstechnik.* METAS Seminar, 7.11.2018.
- S. Mallia:** *Prozesskontaminanten in Lebensmitteln.* NRL Tagung PAK am METAS, 21.11.2018.
- S. Mallia:** *METAS: Referenzlabor für chemische Elemente.* ERFA Metalle, Amt für Verbraucherschutz Kt. Aargau, 28.8.2018.
- A. Marti, S. Perrin,** zusammen mit Agroscope: *The golden spirit.* Eurosense 2018, Verona, 2.9.2018.
- K. Marti, M. Aeschbacher, S. Russi, C. Wüthrich:** *Micro-force Measurements – a new instrument at METAS.* IMEKO XXII world congress, 3–6.9.2018, Belfast.
- F. Meli, B. A. Bircher, S. Blankenberger, A. Küng and R. Thalmann:** *A cone-beam CT geometry correction method based on intentional misalignments to render the projection images correctable.* 8th Conference on Industrial Computed Tomography iCT 2018, Wels, Austria, 7.2.2018.
- C. Mester:** *The role of national metrology institutes, the international system of units and the concept of traceability.* First International Colloquium on Smart Grid Metrology SmaGriMet, 2018, Split, 27.4.2018.
- C. Mester, J.-P. Braun, C. Ané:** *Messunsicherheit von Power Quality Analysern.* Sensoren und Messsysteme, 27.6.2018.
- C. Mester et al.:** *Sampling AC signals: Comparison of fitting algorithms and FFT.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 8.–13.7.2018, Paris, 9.7.2018.
- C. Mester:** *Timestamping type 3458A multimeter samples.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 8.–13.7.2018, Paris, 11.7.2018.
- D. Giordano, P. Clarkson, F. Garnacho, H. E. van den Brom, L. Donadio, A. Fernandez-Cardador, C. Spalvieri, D. Gallo, D. Istrate, A. De Santiago Laporte, A. Mariscotti, **C. Mester et al.:** *Accurate Measurements of Energy, Efficiency and Power Quality in the Electric Railway System.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 3.–13.7.2018, Paris.
- B. Niederhauser:** *Kleine Gasflüsse: Erstellen der Rückführbarkeit und deren Weitergabe.* Seminar «Messen, regeln, mischen und generieren von geringen Gasflüssen», Olten, 7.6.2018.
- F. Overney:** *Characterization of a Dual Josephson Impedance Bridge.* CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris.
- A. H. Pacheco: *Frequency dependence evaluation of CENAM calculable resistors.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris.
- F. Pythoud:** *An overview of radiated EMC.* SwissT.net, Fachtagung EMV und Funk, Zürich, 18.1.2018.
- F. Pythoud: *Einführung in die EMV / Introduction à la CEM.* Internationale Organisation für das Seilbahnwesen, Brunnen/Stoos, 20.3.2018.
- F. Pythoud:** *Proficiency Testing.* 53. Sitzung der PEGESS, Biel, 14.3.2018.
- T. Le Quang:** *Cosmol Simulations for Scanning Microwave Microscopy.* Cosmol Conference, Lausanne, 22.10.2018.
- S. Reimann, **M. Guillevic et al.:** *Measurement of F-gases and OVOCs: a need for traceable, high-accuracy standards in climate and air pollution research.* Workshop call Environment, Paris, 24.10.2018.
- M. Delaval, D. Egli, H.R. Jonsdottir, **P. Schüpfer, N. Baumlín, M. Salathe, H. Burtscher, und M. Geiser:** *Evaluating adverse effects of aerosols from different e-cigarettes to airway epithelia by realistic in vitro technologies.* ATS 2018, San Diego, 18.5.2018.
- P. Schüpfer:** *Analyse des HAP dans les revêtements de surface.* Tagung PAK am METAS, 20.11.2018.
- D. Stalder:** *Primary Noise Temperature Calibration Based on RF Power.* Keysight Metrology Workshop, Paris, 5.7.2018.
- F. Stuker:** *Messen und Beurteilen von gesundheitlichen Effekten von Displays.* Licht 2018, Davos, 11.09.2018.
- F. Stuker:** *Optische Messtechnik am METAS.* NTB Photonik Kolloquium, Buchs, 27.11.2018.
- E. Tas, F. Pythoud, B. Mühlemann:** *Design of a Reference Device for Surge Immunity Interlaboratory Comparison.* EMC EUROPE, 27.–30.8.2018, Amsterdam, The Netherlands, 28.8.2018.
- R. Thalmann:** *Fundamental principles of dimensional metrology.* EURAMET training course, 12.–13.9.2018, Montenegro.
- R. Thalmann:** *Calibration of gauge blocks by mechanical comparison.* EURAMET training course, 12.–13.9.2018, Montenegro.
- K. Thodkar:** *Observation of high accuracy resistance quantization in CVD graphene.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris.
- M. Tschannen:** *Messanlage zur Prüfung von Wasserstoff-Zapfsäulen.* METAS Seminar, 29.8.2018.
- K. Vasilatou et al.:** *Metrology for light absorption by atmospheric aerosols: the EMPIR Black Carbon project.* 22nd ETH Conference on combustion nanoparticles, 20.6.2018.
- K. Vasilatou et al.:** *Laboratory-generated coated soot aerosols with tunable physical, chemical and optical properties using a CAST generator and a portable Micro Smog Chamber.* 10th International Aerosol Conference, 6.9.2018.
- M. Zeier:** *Software zur Bestimmung der Messunsicherheit.* PTB-Seminar, Berechnung der Messunsicherheit – Empfehlungen für die Praxis, Berlin, 16.3.2018.
- M. Zeier:** *Embedded Metrology Software.* VDI/VDE GMA FA1.11, Erlangen, 25.6.2018.



