METAS en 2024

METAS
Votre référence.

Image de couverture : cellule à vapeur alcaline (tube bleu) pour atomes de Rydberg et rayons laser rendus visibles (voir p. 16-17).

Impressum

Le présent rapport a pour but de donner un aperçu des activités de METAS en 2024.

Précédents rapports d'activité de METAS

Objectivité
METAS travaille en toute neutralité à l'égard des fabricants, des marques et des produits. Leur mention ou leur apparition sur des illustrations ne constituent pas des recommandations.

Finances
Les pages 30 et 31 du présent rapport contiennent des indications sur les comptes annuels de METAS au 31 décembre 2024. Les comptes annuels 2024 et le rapport de l'organe de révision sont publiés sur www.metas.ch.

Édition/rédaction
Institut fédéral de métrologie METAS
Service à la clientèle et communication
Lindenweg 50
3003 Berne-Wabern

kommunikation@metas.ch
www.metas.ch

Rédaction
Peter Rohrer (METAS)
Sabine Graf (Casalini Werbeagentur AG)

Concept et réalisation
Casalini Werbeagentur AG, Berne
www.casalini.ch

Langues
allemand, français, italien et anglais

Crédit photographique
METAS, sauf indication contraire

Droit d'auteur
METAS est titulaire du droit d'auteur.
La reproduction d'articles est autorisée avec indication de la source. Veuillez envoyer un exemplaire justificatif à l'adresse de la rédaction.

Édition
mai 2025

MIXTE
Papier | Pour une gestion forestière responsable
FSC® C003482
www.fsc.org

Imprimé finançant une
contribution au climat
ClimatePartner.com/12986-2503-1019

Éditorial

Étapes clés et visions : METAS en 2024

Des événements, évolutions et succès importants ont marqué l'année 2024 de METAS.

Le 1er janvier 2024 déjà, René Lenggenhager prenait ses fonctions de président du Conseil de l'Institut. Ce dernier a également accueilli deux nouveaux membres, qui enrichissent son travail de leurs perspectives nouvelles et de leurs précieuses contributions (voir p. 5, « Avant-propos du Conseil de l'Institut »).

METAS a activement poursuivi et développé sa politique de niche et d'excellence. Il se réjouit particulièrement du renforcement de sa collaboration avec les universités et de la nette augmentation du nombre de doctorantes et doctorants dans son personnel, à savoir cinq au lieu d'un (voir p. 8-9, « METAS en chiffres »). Cette collaboration fait partie intégrante de la stratégie que l'Institut applique pour renforcer son excellence et sa force d'innovation scientifiques.

METAS démontre aussi son fort engagement pour les technologies d'avenir dans ses projets tels que « OnMicro » et « QUSPR », qui portent sur la mesure des champs électriques au moyen d'atomes de Rydberg (voir p. 16-17, « Principes fondamentaux et nouvelles technologies »).

En outre, l'année 2024 s'est close sur quelques nettes augmentations (voir p. 8-9, « METAS en chiffres »), dont celle du taux d'autofinancement (+1,4 %), celle du nombre de publications scientifiques (+35), celle du nombre d'aptitudes en matière de mesure et d'étalonnage (+25) et celle du nombre de projets en cours (+22).

Enfin, je souhaite remercier notre clientèle pour sa confiance et sa fidélité. À l'occasion du 150e anniversaire de la Convention du Mètre en mai 2025, METAS ouvrira ses portes à ses clients pour leur offrir un aperçu exclusif de son travail.

Je tiens à remercier également le Conseil de l'Institut pour sa direction avisée et les collaboratrices et collaborateurs de METAS pour leur engagement sans faille. Ensemble, nous avons accompli beaucoup de choses, permettant à METAS de porter un regard confiant sur l'avenir.

Philippe Richard
Directeur de l'Institut fédéral de métrologie METAS

3 Éditorial
4 Mot du conseiller fédéral
5 Avant-propos du Conseil de l'Institut
6 Événements marquants de l'année
8 METAS en chiffres
10 Recherche et développement
12 Énergie et mobilité
14 Santé et sciences de la vie
16 Principes fondamentaux et nouvelles technologies
18 Industrie
20 Environnement, climat et ressources naturelles
22 Engagement au sein des organisations nationales et internationales
24 Responsabilité sociale et écologique
26 Mandat de la Confédération
28 Métrologie sur le marché
30 Finances (bilan et compte de résultat)
32 Présentations et publications de METAS

Mot du conseiller fédéral

Merci pour votre confiance

Pour me rendre de mon bureau, situé au Palais fédéral ouest, à METAS, Google Maps me fait faire une belle promenade de 3,8 km le long de l'Aar. Ou mon trajet mesure-t-il 3,8 km et 50 m en réalité ? Peu importe. Dans la vie quotidienne, cette insouciance rassure. Toutefois, dans de nombreuses situations, la plus haute précision est de rigueur.

Qu'ils soient ingénieurs, physiciens, chimistes ou spécialistes d'autres disciplines, les collaboratrices et collaborateurs de METAS sont des architectes de confiance. Que ce soit en pesant les bananes au supermarché, en faisant le plein d'essence ou en respirant, nous nous fions au fait qu'on ne nous induit pas en erreur – notamment grâce aux vérifications des appareils et aux contrôles assurés par METAS.

METAS joue un rôle clé, quoique souvent invisible, dans la vie quotidienne. En cas d'erreur, les gros titres dans les médias sont garantis. Tout le monde se rappelle les radars en ville de Berne qui avaient valu des amendes à des citoyens innocents. Heureusement, les médias évoquent également les contrôles effectués annuellement tels que les tests par échantillonnage dans le commerce en ligne ou les contrôles du poids des pains vendus.

Je remercie cordialement toutes les collaboratrices et tous les collaborateurs de METAS pour le précieux travail réalisé pour la Suisse en 2024. La population suisse et moi continuons à compter sur vous et sur votre expertise incontestable, qui demeure source de confiance.

Beat Jans
Chef du Département fédéral de justice et police

Avant-propos

Innovation et coopération : la voie vers l'avenir

Jonas Richiardi, Sonia Isabelle Seneviratne, Roger Siegenthaler, Alessandra Curioni-Fontecedro, René Lenggenhager (président), Ursula Widmer (vice-présidente), Corinne Jud.

L'année 2024 a été marquée par des changements importants dans des domaines clés de la technologie. L'intelligence artificielle, les technologies quantiques, la cybersécurité, les énergies alternatives, la métrologie numérique et la protection de l'environnement ne sont que quelques-uns des grands sujets qui influencent notre travail. S'il veut continuer à remplir son mandat global, METAS aura pour défi d'adapter ses activités à ces nouvelles tendances. Nos collaboratrices et collaborateurs sont invités à s'engager et à apporter leur expertise là où cela est utile.

Malgré ce dynamisme, METAS a pu poursuivre sa tradition de l'excellence. La contribution active et compétente et les précieuses impulsions de Corinne Jud et Jonas Richiardi, les deux nouveaux membres du Conseil de l'Institut, sont particulièrement prometteuses à cet égard. Notre Conseil d'Institut est diversifié et interdisciplinaire, ce qui se reflète dans la multiplicité des compétences et des perspectives.

Mon enthousiasme pour METAS s'est encore accru au fil de mes nombreuses visites de laboratoires et discussions avec les collaboratrices et collaborateurs. Ces échanges, y compris ceux que j'ai eus en dehors des séances du Conseil de l'Institut, m'ont montré de la manière la plus vive la passion et le professionnalisme avec lesquels on travaille dans notre Institut.

La mise en œuvre de notre stratégie et la nouvelle structure de METAS qui en découle ont pu être consolidées l'année dernière. Plusieurs améliorations de processus ont été lancées ou ont déjà été mises en œuvre. Il nous reste toutefois beaucoup de défis à relever afin d'optimiser nos capacités opérationnelles. Ici également, la collaboration de tout un chacun est nécessaire.

Une autre étape cruciale a été le lancement des travaux pour notre nouvelle Stratégie 2030. METAS mène ce processus – sous forme d'un atelier qui réunit l'ensemble du Conseil de l'Institut et de la direction – avec beaucoup d'énergie, et l'appui d'un groupe de travail. Cette nouvelle stratégie d'avenir sera mise en œuvre avec l'appui de nouveaux outils, et soumise au Conseil de l'Institut pour approbation.

Un temps fort de ma première année en tant que président a sans doute été la visite à METAS de Beat Jans, le nouveau chef du Département fédéral de justice et police (DFJP). METAS a pu lui présenter non sans fierté le meilleur petit institut national de métrologie (voir aussi le mot du conseiller fédéral).

Pour terminer, j'aimerais souligner à quel point je suis heureux de m'engager en faveur de METAS, et fier surtout de pouvoir compter sur une direction forte et engagée et un Conseil de l'Institut compétent et dynamique. Je tiens en outre à remercier toutes les collaboratrices et tous les collaborateurs pour leur précieuse contribution durant l'année écoulée et l'année en cours.

René Lenggenhager
Président du Conseil de l'Institut

Événements marquants

En 2024, METAS a de nouveau connu quelques temps forts de différentes natures, notamment scientifique et métrologique. Le plus manquant fut sans nul doute la visite du conseiller fédéral Beat Jans, chef du DFJP.

1er janvier 2024

Nouveau marqueur fiscal pour mazout
À la demande de l'Office fédéral de la douane et de la sécurité des frontières (OFDF), le domaine Essais chimiques et conseils de METAS a développé et introduit une méthode d'analyse pour un nouveau marqueur plus sûr. Ce dernier est ajouté au mazout afin de le distinguer du carburant diesel. Son introduction par la Suisse et l'Europe fait suite à une recrudescence des cas de fraude touchant le marqueur utilisé précédemment.

25 mars 2024

Visite du conseiller fédéral Beat Jans
Après une introduction aux multiples activités de l'Institut, le conseiller fédéral Beat Jans a visité plusieurs laboratoires. En guise de conclusion, le nouveau chef du DFJP a adressé ses salutations à toutes les collaboratrices et tous les collaborateurs de METAS et s'est entretenu personnellement avec quelques-unes des personnes présentes.

25 mai 2024

Guglielmo Frigo reçoit le Best Paper Award IEEE SGSMA 2024
Le Best Paper Award 2024 a été décerné à Guglielmo Frigo, collaborateur scientifique du laboratoire Énergie et puissance électriques à METAS, à l'occasion de la conférence Smart Grid Synchronized Measurements and Analytics (SGSMA) de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) qui s'est déroulée à Washington D.C. Guglielmo Frigo a analysé les mesures de fréquence pour améliorer la résistance et la sécurité des systèmes électriques dans le cadre du projet «QUINPORTION» de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

25 juin 2024

Premier cours sur les instruments mesureurs de nanoparticules
Le premier cours sur les instruments mesureurs de nanoparticules a eu lieu à METAS à l'été 2024. Ce cours a pour objectif d'offrir un survol des aspects légaux du contrôle des filtres à particules diesel (FAP), de fournir des connaissances de base en matière de métrologie et d'aérosols et de donner une idée des difficultés pratiques. Il s'adresse en premier lieu aux garagistes et aux experts en matière de véhicules des offices de la circulation routière.

Cours sur les instruments mesureurs des nanoparticules sur metas.ch

13 novembre 2024

Objectifs stratégiques 2025 à 2028
Le 13 novembre 2024, le Conseil fédéral a adopté les objectifs stratégiques de METAS pour la période allant de 2025 à 2028. METAS continuera notamment à assumer ses tâches en tant qu'Institut national suisse de métrologie. À l'avenir, METAS doit dans la mesure du possible numériser ses prestations métrologiques, développer des prestations métrologiques pour le domaine du numérique ainsi que coordonner l'infrastructure qualité suisse.

29 novembre 2024

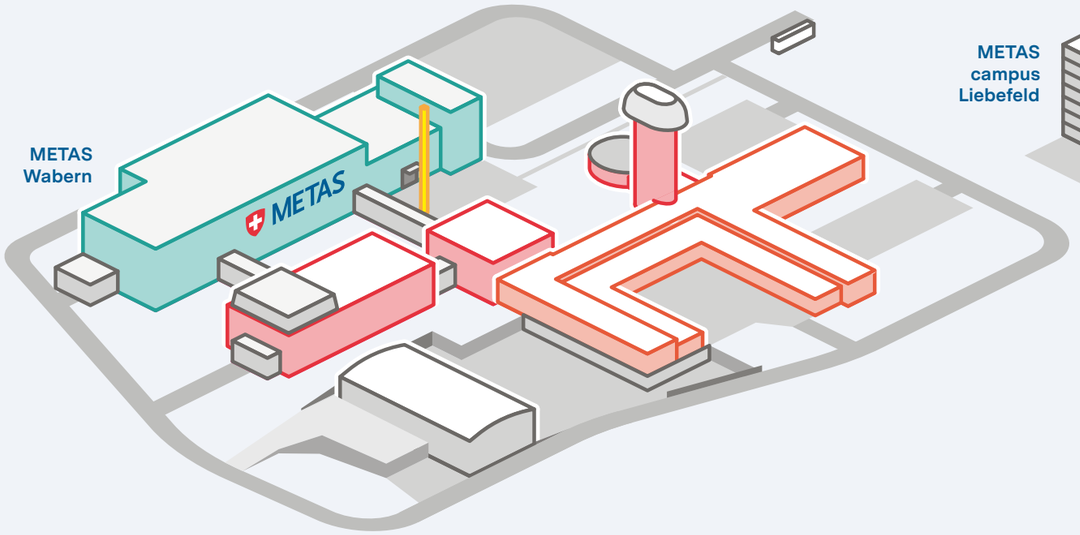
Cédric Blaser reçoit le IEC 1906 Award
Lors de la réunion du Comité électrotechnique suisse (CES), le IEC 1906 Award a été décerné à Cédric Blaser, chef du laboratoire Énergie et puissance électriques à METAS. Ce dernier a été récompensé pour son travail en faveur de la normalisation de compteurs électriques et sa contribution à l'élaboration et à la révision de plus de dix normes au niveau européen et international.

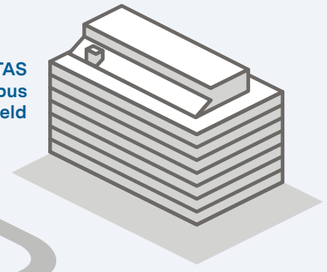
31 décembre 2024

Surveillance des gaz dans des environnements industriels
Le laboratoire Analyse de gaz a effectué une trentaine d'étalonnages de spectromètres à diode laser pour la surveillance des gaz in situ dans des environnements de production industrielle, à l'aide d'une place de mesure spécialement développée pour l'entreprise Mettler Toledo. La flexibilité de cette place de mesure a également permis de réaliser des mandats R&D sur mesure pour notre client.

METAS en chiffres

État au 31 décembre 2024





Exécution de la loi fédérale sur la métrologie

METAS veille au respect de la législation en matière de métrologie en Suisse.

Contrôles par METAS

47 445 transformateurs de mesure (vérifications initiales)

3 351 instruments de mesure d'alcool dans l'air expiré

2 573 instruments de mesure pour la circulation routière (feux rouges et vitesse)

1 947 instruments de mesure audiométriques

763 instruments mesureurs des nanoparticules des moteurs à combustion

550 instruments de mesure des émissions sonores

248 instruments de mesure des effluents par les installations de chauffage (vérifications initiales)

210 instruments de mesure des rayonnements ionisants

Contrôles par les laboratoires de vérification habilités

741 735 compteurs d'électricité (contrôle statistique)

7 299 instruments de mesure de l'énergie thermique

3 394 instruments de mesure des effluents par les installations de chauffage

2 232 instruments de mesure des rayonnements ionisants

484 instruments de mesure pour la circulation routière (systèmes d'examen RPLP)

429 instruments de mesure des quantités de gaz

Contrôles par les cantons

97 % des instruments de mesure

88 % des préemballages industriels de même quantité nominale

86 % des préemballages industriels de quantité nominale variable

CMC

419 aptitudes de mesure et d'étalonnage dans le cadre du CIPM MRA

Certificats délivrés par METAS

17 482 (dont 446 par METAS-Cert)

Organisation

15 laboratoires métrologiques

5 dans le domaine Métrologie en physique I:
Courant continu et basse fréquence | Énergie et puissance électriques | Haute fréquence | Compatibilité électromagnétique | Photonique, temps et fréquence

5 dans le domaine Métrologie en physique II:
Longueur, nano- et microtechnologie | Optique | Masse, force, pression et vibration | Débit | Rayonnements ionisants

5 dans le domaine Métrologie en chimie et en biologie:
Analyse de gaz | Particules et aérosols | Analyses et références inorganiques | Analyses et références organiques | Analyses et références biologiques

3 domaines techniques

Vérifications et essais:
Trafic routier | Acoustique et vibrations | Audiométrie

Essais chimiques et conseil:
Analyses | Essais et conseil

Réseaux de mesure:
Qualité et maintenance | Interventions et installation | Logiciels

Recherche et développement

88 publications scientifiques

60 présentations **14** séminaires

5 colloques

28 591 heures investies dans la recherche

2 nouveaux brevets
1 brevet non renouvelé

7 brevets déposés au total

6 divulgations d'inventions

Projets

les grands (GP) et les petits (PP)

65 en cours (47 GP + 18 PP)

25 nouveaux (20 GP + 5 PP)

21 achevés (10 GP + 11 PP)

47 grands projets de recherche
(21 financés par l'EPM, 6 par EMPIR, 5 par METAS, 5 par la recherche de l'administration, 3 par Horizon Europe, 3 par Innosuisse, 2 par le Fonds national suisse, 2 dans le cadre de contrats)

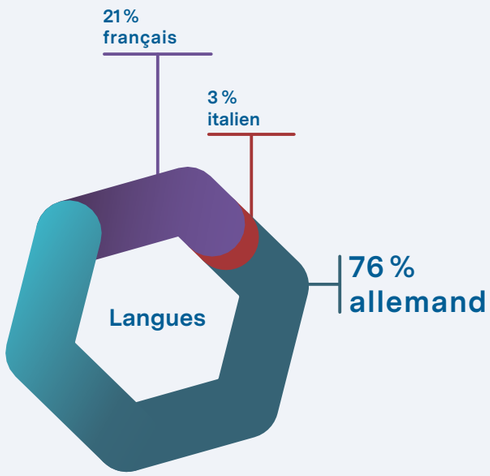
Finances

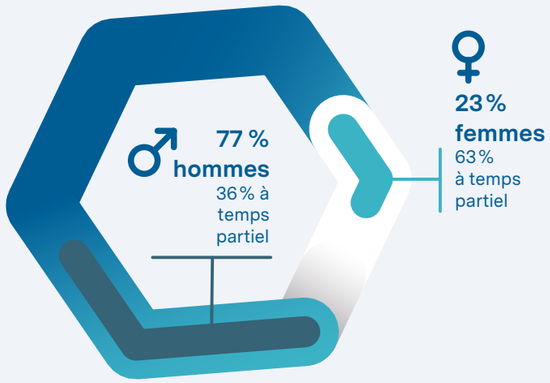
61 millions
de francs de revenu

921 000
francs de bénéfice

58 %
d'autofinancement

Collaboratrices et collaborateurs





Apprentissages

- laborantine ou laborantin en physique
- laborantine ou laborantin en chimie
- électronicienne ou électronicien
- informaticienne ou informaticien
- opératrice ou opérateur en informatique
- médiamaticienne ou médiamaticien
- Stages de maturité professionnelle pour la formation d'employée ou d'employé de commerce

19 apprenties et apprentis
et stagiaires en maturité professionnelle

5 doctorantes et doctorants

9 stagiaires de haute école

Recherche et développement

La recherche basée sur la collaboration

La recherche est essentielle au développement de l'infrastructure métrologique en Suisse. METAS a pu avancer dans des domaines telle la technologie quantique grâce à différentes collaborations fructueuses et à l'obtention de moyens tiers. Il s'est aussi engagé dans la formation de la relève scientifique et a renforcé ses mesures visant à promouvoir l'intégrité scientifique.

La recherche en tant que mission

METAS fournit des unités de mesure reconnues au niveau international et suffisamment exactes pour l'industrie, la recherche et l'administration; autrement dit, il se situe au sommet de la pyramide métrologique. Or les exigences en matière d'exactitude augmentent, en particulier celles des clients, poussant METAS à s'assurer qu'il garde toujours une longueur d'avance. De plus, l'art. 3, al. 2, let. d de la loi sur l'Institut fédéral de métrologie (LIFM; RS 941.27) dispose que METAS doit «entreprendre les travaux techniques et scientifiques et les travaux de développement nécessaires, analyser, notamment, les conséquences des techniques nouvelles et élaborer des méthodes de mesure ayant une application pratique et répondant à l'état le plus récent des connaissances scientifiques».

L'Institut finance des projets de recherche internes et obtient des fonds d'Innosuisse, du Fonds national suisse, de la recherche de l'administration fédérale et de l'industrie dans le cadre de projets de recherche sous contrat. Il aspire à renforcer ses activités de recherche financées par des fonds de tiers, notamment par le partenariat européen pour la recherche en métrologie (EPM).

Les projets de l'EPM ne sont pas qu'une source de financement des projets de METAS, mais promeuvent également la collaboration entre expertes et experts de différents instituts de métrologie européens. Les appels à projets de l'EPM se déroulent comme suit: les propositions de sujets de recherche sont soumises en janvier et en février (plus de la moitié sont retenues); des consortiums de recherche sont ensuite formés et ont jusqu'au mois de septembre pour déposer leurs demandes; enfin, des experts indépendants décident en novembre des financements accordés. Les demandes auprès de l'EPM ont généralement 50% de chances d'aboutir, un score élevé comparé aux autres programmes. Les projets durent normalement trois ans.

Comme la Suisse n'est pas associée à Horizon Europe, c'est le Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) qui finance les projets de METAS. L'appel 2023 s'est révélé hautement fructueux pour l'Institut: onze projets ont été acceptés, dont quatre en technologie quantique. Ces projets ont débuté en juin 2024 et permettront à METAS d'élargir ses compétences dans ce domaine. L'Institut a en outre commencé deux projets Horizon Europe, deux projets Innosuisse et trois projets financés par la recherche de l'administration fédérale, couvrant ainsi ses cinq domaines thématiques.

Collaboration avec les universités

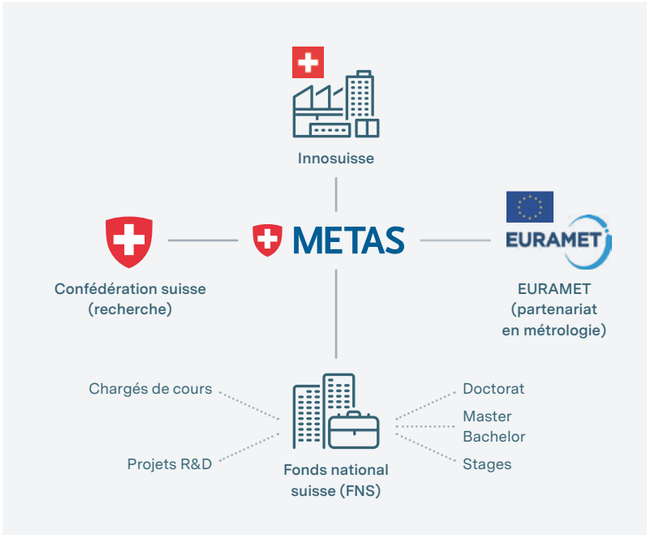
La clé du succès en recherche étant l'échange entre expertes et experts, METAS collabore avec des hautes écoles nationales et internationales pour la plupart de ses projets.

Loi sur l'Institut fédéral de métrologie (LIFM; RS 941.27)

Les cinq domaines de recherche et de développement à METAS.

Au-delà de ces projets de recherche financés en grande part par des fonds de tiers, il ouvre ses laboratoires à des étudiantes et étudiants pour leur thèse, travail de master ou de bachelor. Il comptait ainsi cinq doctorantes et doctorants dans son personnel en 2024, dont les thèses sont supervisées par des professeurs des universités, et sur place par une collaboratrice ou un collaborateur de METAS. Deux des doctorantes et doctorants venaient de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, deux de l'Université de Berne et un de l'Université de Bâle.

Certaines collaboratrices et certains collaborateurs de METAS sont également chargés de cours dans des hautes écoles. En 2024, ils ont enseigné aux Universités de Bâle et de Berne, à l'École polytechnique fédérale de Zurich et à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale.



Formes de collaboration nationale et internationale en matière de recherche.

La collaboration entre METAS et les hautes écoles suisses bénéficie aux deux parties et sera renforcée dans les années à venir: en accentuant sa présence dans les hautes écoles du pays, METAS pourra contribuer à l'excellence scientifique de la recherche suisse.

Intégrité scientifique

En tant qu'institution qui développe des références fiables et qui, par le biais de ses activités métrologiques en général, est source de confiance, METAS se doit de faire preuve d'intégrité dans tous ses domaines d'activité, en particulier dans la recherche.

Or qu'est-ce qu'un manque d'intégrité scientifique? La falsification de données, l'omission de coauteurs, les comportements inappropriés lors d'expertises, le manque d'encadrement des scientifiques et le plagiat en sont les exemples les plus courants.

Les quatre principes fondamentaux de l'intégrité scientifique – la fiabilité, l'honnêteté, le respect et la responsabilité – sont déjà bien ancrés dans la culture de METAS. Heureusement, l'Institut n'a remarqué aucun manquement de cet ordre-là jusqu'à présent. Il a néanmoins sensibilisé ses collaboratrices et collaborateurs scientifiques à la question en s'appuyant sur le code d'intégrité scientifique des Académies suisses des sciences et a créé un service d'assistance vers lequel se tourner si besoin.

Académies suisses des sciences: intégrité scientifique

Énergie et mobilité

Vers une intégration plus sûre des énergies renouvelables

En règle générale, les sources d'énergie renouvelables produisent du courant continu. Une série de nouvelles applications métrologiques sont nécessaires pour leur mesure et leur contrôle.

Système de référence pour l'énergie et la puissance en courant continu au laboratoire de METAS.

Aujourd'hui, le contrôle et le stockage de l'énergie renouvelable dépendent encore largement d'applications métrologiques ni standardisées ni bien établies. METAS s'efforce de soutenir la transition énergétique en développant une traçabilité métrologique complète pour ces processus : dans le cadre du projet « DC Grids » en ce qui concerne la mesure de la quantité et la qualité du courant électrique, et dans le cadre de « DigiCell » s'agissant de l'état de santé des batteries.

Mesure de la quantité et de la qualité du courant

En moyenne et basse tension, les microréseaux à courant continu revêtent une importance croissante pour une intégration efficace de sources d'énergie renouvelables, en particulier lorsque le comportement des producteurs et celui des consommateurs s'avèrent bien prédictibles (p. ex. dans les parkings, les aéroports, les centres commerciaux). Toutefois, les perturbations causées par les transformateurs électroniques de puissance ou par le raccordement au réseau de courant alternatif restent un défi. L'infrastructure de mesure existante est principalement conçue pour les réseaux traditionnels à courant continu, où le signal de puissance est constant la plupart du temps.

Dans le nouveau scénario, les niveaux de courant continu sont toutefois exposés à des fluctuations, en fonction de la disponibilité des énergies renouvelables. De plus, des éléments parasites peuvent apparaître. Les participants au projet « DC Grids » de l'EPM se sont penchés sur la problématique de la mesure de la consommation et de la qualité de l'électricité dans les microréseaux à courant continu. METAS a dirigé un groupe de travail et coordonné le développement de systèmes de référence à même de reproduire des signaux de courant continu dans des conditions nominales et déformées. Ces systèmes servent à évaluer différentes catégories d'instruments de mesure, tant pour la mesure de la consommation que pour l'analyse de la qualité de l'électricité. Il s'agit d'un premier pas vers une définition précise d'objectifs de performance et de niveaux de compatibilité dans les microréseaux à courant continu – deux facteurs essentiels pour assurer une exploitation stable et sûre du réseau.

Les incertitudes dans les mesures de batteries et l'IA

L'état de santé de batteries lithium-ion est un indicateur de leur capacité en conditions nominales. Mesurer leur capacité en les chargeant et en les déchargeant est chronophage et énergivore. La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE), qui mesure la réaction d'une batterie aux signaux électriques, est une méthode rapide et économe en énergie pour mesurer son état de santé en combinaison avec des algorithmes d'apprentissage automatique (AA, voir encadré).

Guglielmo Frigo à la présentation de clôture à Delft (NL) le 16 mai 2024.

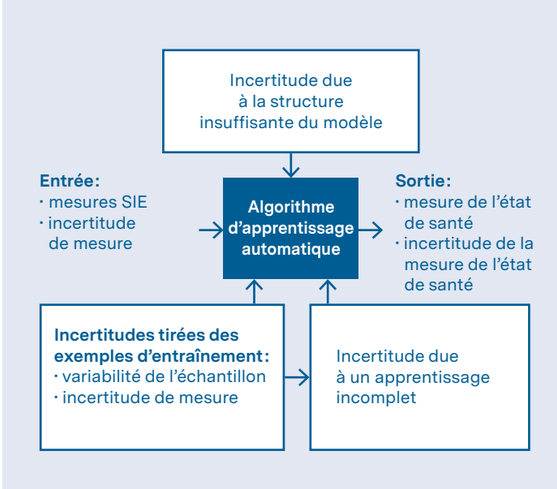
Dans le cadre du projet « DigiCell », METAS développe une méthode pour quantifier l'incertitude des prévisions issues de modèles d'AA appliqués à la détermination de l'état de santé.

Les algorithmes d'AA sont certes performants, mais sujets à des incertitudes dues tant aux données (incertitudes de mesure, variabilité) qu'aux modèles eux-mêmes. Si on ignore ces incertitudes, on peut compromettre la fiabilité du résultat, avec des répercussions à la fois économiques et écologiques. Avec cette méthode, METAS vise à améliorer la fiabilité des modèles d'AA et à encourager l'optimisation des processus de fabrication et une maintenance prévoyante des batteries.

Bien que le projet soit consacré aux batteries lithium-ion, les applications potentielles de cette technologie sont bien plus nombreuses : elles peuvent répondre à un grand nombre de problèmes métrologiques qui recourent à des modèles d'AA, et offrent ainsi des solutions qui correspondent aussi aux besoins de l'industrie.

Qu'est-ce que l'AA ?

L'apprentissage automatique (*machine learning*) est une technique d'intelligence artificielle qui permet aux ordinateurs de résoudre des problèmes en analysant des données, sans avoir été explicitement programmés à cette fin. En utilisant des exemples (généralement nombreux), le système reconnaît des modèles et fait des prévisions. En se basant sur des mesures complexes, il peut par exemple prédire l'état de santé d'une batterie. Il s'agit d'une technologie clé pour l'optimisation des processus industriels.



Aperçu des sources d'incertitude lors de l'utilisation d'algorithmes d'AA, pour la caractérisation de batteries.

Coopération entre le Royaume-Uni et la Suisse

En 2024, METAS a intensifié sa coopération avec le National Physical Laboratory (NPL) britannique afin d'échanger des connaissances et de tirer parti des possibilités de financement du nouveau protocole d'entente entre les deux pays. Dans ce cadre, METAS a reçu la visite d'une délégation du NPL, accompagnée par Martina Novakova, déléguée aux sciences et à l'innovation à l'Ambassade britannique à Berne.

Délégation britannique en visite à METAS (de gauche à droite) : Deborah Ritzmann (NPL), Peter Davis (NPL), Martina Novakova (Science & Innovation Officer, Ambassade britannique à Berne), Guglielmo Frigo (METAS), Marc-Olivier André (METAS).

Santé et sciences de la vie

Contaminants de procédés, microcourants et radionucléides

En 2024, les laboratoires de METAS ont amélioré durablement leurs capacités de mesure et de production pour la sécurité alimentaire et la médecine.

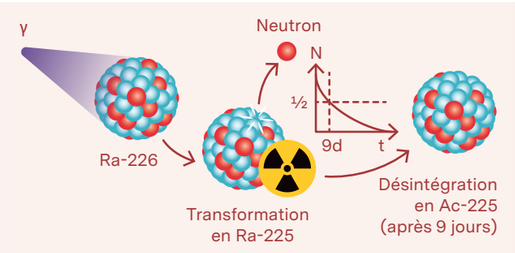
Ces dernières années, METAS a fortement développé ses activités dans les domaines de la santé et des sciences de la vie, avec notamment ses mesures de contaminants de procédés dans les denrées alimentaires, la description exacte sur le plan métrologique des flux les plus petits et la fabrication de radionucléides pour le traitement des tumeurs. Il contribue ainsi directement à améliorer la qualité de vie en Suisse.

Réactions photonucléaires pour la théranostique

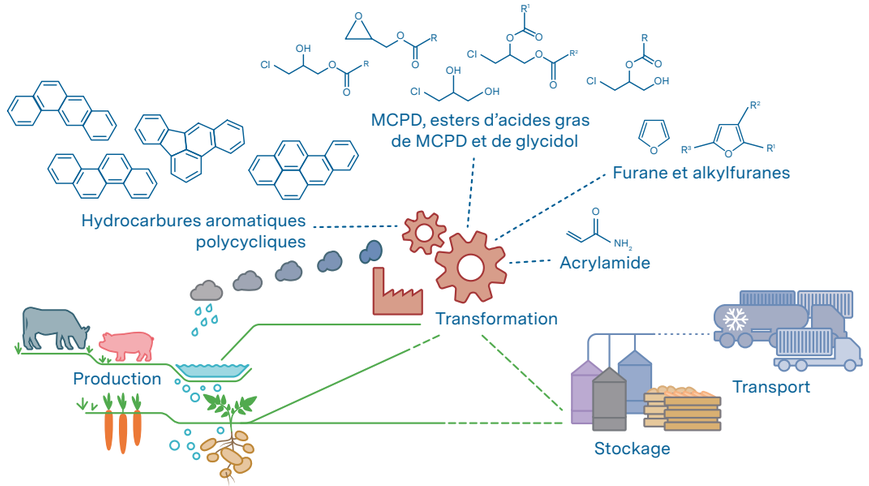
La théranostique (contraction de «thérapie» et «diagnostic») est une approche novatrice dans le traitement des cancers, qui consiste à associer des éléments radioactifs à des molécules sélectives, afin de marquer ou de détruire les tissus cancéreux de manière précise. Cette méthode implique l'utilisation d'éléments tel l'actinium-225, dont la disponibilité est très limitée dans le monde. Pour pallier ce manque, METAS a développé des processus de production efficaces, en collaboration avec l'Université de Berne. Il a fabriqué de l'actinium-225 synthétiquement, par réaction photonucléaire, en irradiant du radium-226 avec un rayon de haute énergie. Cette méthode est facile à appliquer et permet à un accélérateur d'électrons comme celui de METAS de produire le rayon X nécessaire.

Pour réaliser et évaluer ce procédé, METAS a irradié plus de soixante échantillons de matériaux différents. Il a ensuite agrandi son accélérateur et établi une nouvelle méthode pour calculer précisément les taux de production dans le but de les augmenter. Pour que la méthode puisse être appliquée dans l'industrie, il faudrait encore nettement accroître la performance de l'accélérateur à électrons, ce qui pose certains problèmes techniques pour la production de rayons X.

METAS a développé un nouveau concept fondé sur le principe de pompe de Nikola Tesla pour résoudre les problèmes de température. Il a testé un prototype et a déposé une demande de brevet. L'Institut a désormais engagé le processus pour faire des essais sur des accélérateurs plus puissants.



Si le rayonnement a assez d'énergie, le radium-226 se transforme en radium-225, qui se désintègre en actinium-225.



Détection de contaminants de procédés dans les denrées alimentaires

Les contaminants de procédés sont des substances indésirables qui se forment lors de la transformation de denrées alimentaires, par exemple lorsqu'elles sont chauffées à haute température, raffinées, fermentées, fumées ou séchées, et qui peuvent affecter la santé de l'être humain. Pour contrôler les quantités maximales légales de ces substances dans les denrées alimentaires, la Suisse et l'Union européenne doivent pouvoir comparer leurs analyses.

Le réseau formé par le laboratoire de référence européen pour les contaminants de procédés (EURL-PC) et les laboratoires de référence nationaux (NRL-PC) assurent cette comparaison. En tant que laboratoire de référence national suisse, le laboratoire Analyses et références organiques de METAS fait le lien entre les laboratoires officiels et le laboratoire de référence européen.

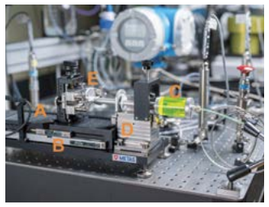
Aux méthodes que METAS appliquait jusqu'à présent pour détecter les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les monochloropropanediols (MCPD) libres, leurs esters d'acides gras et les esters d'acides gras de glycidol (GE) dans les denrées alimentaires s'ajoutent désormais des méthodes pour y détecter l'acrylamide, le furane et les alkylfuranes. Les essais d'aptitude menés par le laboratoire de référence européen ont attesté de la comparabilité des résultats obtenus au moyen de ces méthodes d'analyse.

Laboratoire de référence national pour les contaminants de procédés

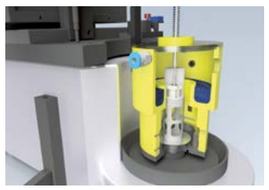
Étalonnage de grande qualité des microcourants

METAS possède des installations équipées de systèmes de pistons (ill. 1) et de mesure gravimétrique du débit (ill. 2) pour les liquides de procédés et les profils d'écoulement non constants. Ces mesures sont typiquement utilisées pour le dosage de liquides de procédés dans l'industrie pharmaceutique, en chimie des fluides et en microfluidique.

En termes d'expérience et d'exactitude, METAS est à la pointe mondiale des étalonnages traçables de microdébits jusqu'à 20 nL/min. Il quantifie toutes les influences qu'exercent les conditions environnementales et les propriétés des fluides sur les microdébits, et en tient compte dans le calcul détaillé de l'incertitude de mesure. Ainsi, METAS a organisé en tant que laboratoire pilote la première comparaison internationale dans ce domaine avec cinq instituts de métrologie. Cette comparaison est enregistrée au Bureau International des Poids et Mesures sous la référence CCM.FF-K1.2022. Les incertitudes de mesure indiquées pour les débits de 10,0 µL/min à 0,1 µL/min ont été validées, ce qui confirme les capacités exceptionnelles de l'installation de mesure.



Ill. 1: système de pistons de l'installation de mesure des microdébits à METAS: (A) table linéaire de haute précision, (B) système de mesure linéaire, (C) pistons, (D) et (E) montage et positionnement des pistons.



Ill. 2: mesure gravimétrique du débit, zone de pesage de la balance avec aiguille de sortie et récipient.

Principes fondamentaux et nouvelles technologies

L’optique pour les champs électriques et la dissémination du temps

La technique laser rend possibles les mesures des champs électriques et la dissémination du temps grâce au protocole White Rabbit.

METAS utilise des techniques de spectroscopie laser pour mesurer l’intensité des champs électriques à l’aide d’atomes individuels, également appelés atomes de Rydberg. Par ailleurs, des lasers et les fibres optiques rendent possible le protocole White Rabbit (WR), grâce auquel METAS peut assurer une dissémination du temps de la plus haute exactitude.

Captage quantique avec des atomes de Rydberg

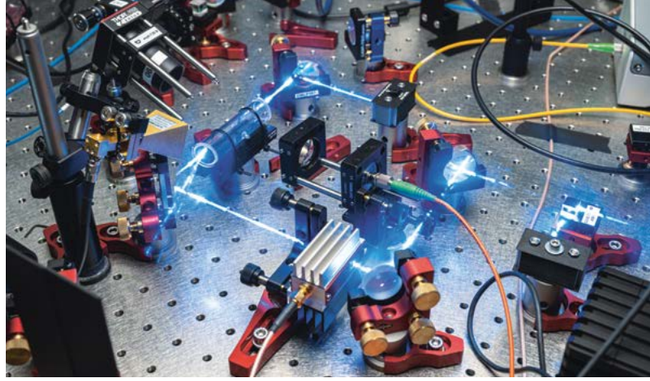
Les champs électriques font partie intégrante du quotidien de l’Institut. Ils sont utilisés notamment pour traiter des informations sur un ordinateur ou pour les transmettre avec un téléphone portable. Jusqu’à présent, pour mesurer ces champs, on utilisait principalement des contacts métalliques ou des antennes. Or cette méthode faussait les champs et présentait des incertitudes de mesure plus importantes.

METAS s’efforce désormais de mesurer les champs électriques à l’aide d’atomes de Rydberg (voir encadré), beaucoup moins problématiques à cet égard. Le projet «OnMicro» vise à utiliser des atomes de Rydberg pour mesurer les champs électriques sur des plaquettes (*wafers*): un atout indéniable pour la fabrication de circuits intégrés. Il s’agit en l’occurrence d’améliorer l’état de la technique dans le domaine des atomes de Rydberg en utilisant une cellule de mesure spécialement conçue à cet effet et en appliquant une technique de sélection améliorée. Cet objectif est poursuivi en coopération avec l’Université de Bâle.

Afin d’avoir un accès direct à cette technologie à METAS et de piloter les développements ultérieurs et les nouvelles applications, un deuxième projet appelé «QUSPR» (QUantum Sensing on Planar Rf circuits) a été lancé. Celui-ci prévoit la mise en place d’un laboratoire pour les atomes de Rydberg qui se base sur les travaux préliminaires de l’Université de Bâle (projet «OnMicro»), mais utilise des atomes de césium à la place du rubidium. L’avantage du césium réside dans sa pureté isotopique naturelle, qui permet des mesures plus exactes qu’avec le rubidium.

Cellule à vapeur alcaline (tube bleu, au centre) pour les atomes en état de Rydberg. Au bas de l’image, on voit l’antenne en cornet dorée pour les champs électriques.

Fluorescence du laser rouge dans la vapeur de rubidium, photographiée avec une caméra à infrarouge.



Installation de mesure avec rayons laser rouges et bleus rendus visibles (le laser rouge est à peine reconnaissable).

Atomes de Rydberg

Les atomes de Rydberg sont dans un état presque ionisé. Cela signifie que l’électron le plus externe est très éloigné (jusqu’à 500 nm) du noyau. Corollaire: les champs électriques externes ont une forte influence sur l’atome, et les raies spectrales se séparent d’une manière proportionnelle à l’intensité du champ électrique. Dans le cas des atomes de Rydberg, cette intensité peut ainsi être traduite en une fréquence: ce qui, du point de vue métrologique, est souhaitable, car les fréquences peuvent être mesurées avec la plus grande exactitude.

TDIS – dissémination d’échelles de temps très exactes

Au vu des défis actuels en matière de sécurité, White Rabbit (voir encadré) s’est révélé comme une technologie prometteuse pour la dissémination hautement précise, par fibres optiques, d’échelles de temps. Cette méthode est une alternative valable aux technologies satellitaires actuellement utilisées et permet aux entreprises et aux institutions d’importance stratégique de garantir une fiabilité optimale de leurs systèmes.

Le projet «TDIS» (Time DISsemination) est le fruit d’une coopération entre METAS, la fondation SWITCH, qui gère le réseau national suisse de recherche et de formation (National Research and Education Network, NREN), Armasuisse et la société SIX Group, responsable de l’infrastructure de la Bourse suisse.

Le principal objectif est de développer un réseau prototype pour évaluer la performance de WR comme technologie destinée à la dissémination de l’heure fiable, de grande précision et opérant sur de longues distances.

Ce réseau prototype relie les villes de Berne, Bâle, Zurich, Olten et Neuchâtel par une boucle mesurant quelque 500 km. Il a pu disséminer l’échelle de temps officielle suisse (UTC[CH]) avec une exactitude supérieure à une nanoseconde, confirmant que la WR constituait une alternative crédible aux techniques utilisées actuellement. De plus, ce réseau fonctionne dans la «bande L» (longueur d’onde: 1565-1625 nm) et n’interfère donc pas avec la circulation classique des données dans la «bande C» (longueur d’onde: 1530-1565 nm). Aussi, WR est-il compatible avec les réseaux de télécommunication à fibres optiques en Suisse.

Fonctionnement de WR

White Rabbit (WR) permet la transmission d’informations de temps via des fibres optiques avec une exactitude extrême (écarts de quelques douzaines de picosecondes, soit 10^{-12} s). Une connexion WR entre deux points se compose de deux signaux opposés (Rx pour la réception et Tx pour l’émission). WR atteint ce niveau d’exactitude grâce à la compensation du temps de propagation de ces signaux. Il permet en outre de réduire les effets perturbateurs tels que les variations de longueur de la fibre optique dues aux fluctuations de température, ce qui assure une stabilité encore plus élevée.

Industrie

Caractérisation d'étalons de référence

Différents procédés servent à mesurer les étalons de référence de manière traçable.

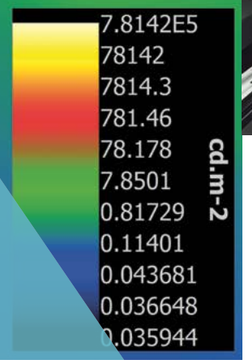


Image à plage dynamique élevée de la luminance de la source HiDyni, prise par un système d'imagerie (caméra).

Les étalons de référence sont développés pour caractériser des systèmes de mesure (dans le projet « HiDyn ») et sont eux-mêmes caractérisés au moyen d'un détecteur intégral (dans le cas des étalons de brillance) ou d'un microscope à micro-ondes à balayage (dans le projet « ELENA »).

Mesure de l'éblouissement et de la lumière intrusive avec des systèmes d'imagerie

Le projet « HiDyn » a pour objectif d'uniformiser les systèmes d'imagerie à plage dynamique élevée qui servent à mesurer la distribution de la luminance, celle-ci étant essentielle à l'évaluation de l'éblouissement et de la lumière intrusive. Ces mesures sont effectuées pour l'évaluation de phares de voitures LED ou laser ainsi que de l'éclairage intérieur et extérieur.

Plus précisément, le projet vise à développer des étalons de référence avec un contraste à plage dynamique élevée pour la luminance, afin de pouvoir en valider les mesures, et un algorithme ainsi que des directives pour en estimer l'incertitude de mesure. Ces avancées aideront à établir une législation sur l'éblouissement et la lumière intrusive, amélioreront la sécurité et le confort des éclairages ainsi que l'ergonomie des places de travail et renforceront la sécurité dans la circulation routière.

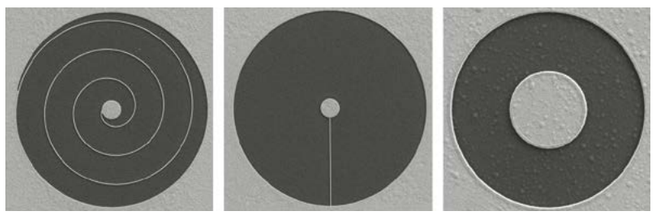
Le projet comprend également la création d'outils et de directives qui assurent la traçabilité des mesures à plage dynamique élevée, le but étant de garantir la reproductibilité et la comparabilité des mesures pour diminuer les risques liés à l'éblouissement et à la lumière intrusive. Il contribue ainsi au renforcement de la sécurité publique, à la protection de l'environnement et à l'amélioration du confort visuel de jour comme de nuit.

METAS a créé la source lumineuse HiDyni, qui présente une plage dynamique de six décades, et l'a caractérisée et validée au moyen de systèmes d'imagerie à plage dynamique élevée, conformément aux directives développées dans ce cadre.

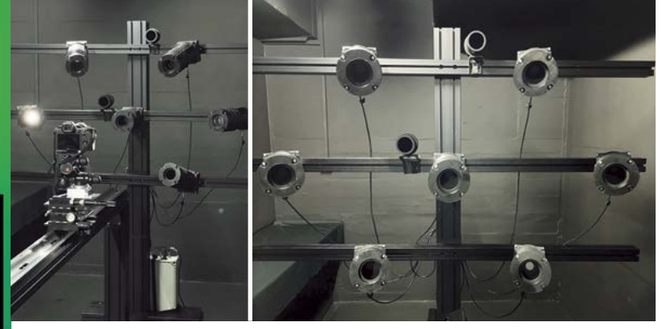
Site Internet du projet « EPM 21NRM01 HiDyn »

Mesures électriques à haute résolution spatiale

L'électronique de divertissement, les nouvelles technologies quantiques ou encore les applications pour l'Internet des Objets reposent toutes trois sur des semi-conducteurs, dont la caractérisation des propriétés électriques à l'échelle nanométrique et micrométrique est indispensable pour l'innovation et la compétitivité européennes. La mesure de ces propriétés permet de déterminer des paramètres clés, utilisés pour évaluer l'efficacité électronique de matériaux et de composants.



Ill. 1: image d'un étalon de référence prise par un microscope électronique dans le cadre du projet « ELENA ».



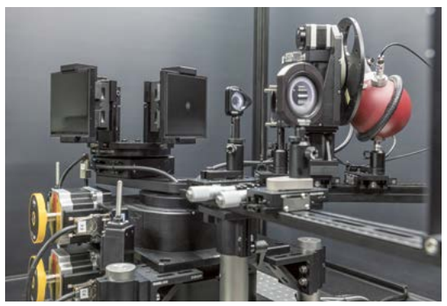
La source lumineuse HiDyni au fort contraste de luminance en action. À gauche, aperçu de l'installation ; à droite, point de vue de la caméra.

Dans ce contexte, METAS a participé au projet européen « ELENA » (ELEctrical NAnoscale metrology in industry). Il a utilisé un microscope à micro-ondes à balayage pour mesurer les propriétés électriques des semi-conducteurs avec une haute résolution spatiale. En tant qu'institut de métrologie, METAS avait pour objectif premier d'assurer la fiabilité des mesures et a pour cela développé des étalons de référence, des méthodes d'étalonnage rigoureuses et un logiciel. Le projet a grandement contribué à établir des principes métrologiques pour les mesures de propriétés électriques à petite échelle, afin de pouvoir quantifier l'exactitude de ces dernières. L'ill. 1 montre des structures en or sur de fines membranes, réalisées par METAS au moyen d'un procédé spécial dans la salle blanche CMi (Center of MicroNanoTechnology) de l'EPFL. Les propriétés électriques des étalons, dont le diamètre fait environ quarante micromètres, peuvent être calculées à partir de la géométrie de ces structures en or.

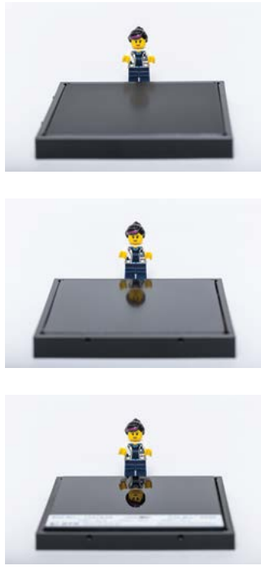
Site Internet du projet « ELENA »

Nouvelles mesures de l'apparence : la brillance

L'apparence d'une surface possède plusieurs caractéristiques, dont la couleur, la brillance, la transparence et la texture. METAS a créé ces dernières années trois places de mesure dans son laboratoire Optique pour la caractérisation de la couleur et de la texture. À cette palette s'ajoute désormais une place de mesure de la brillance.



La place de mesure de la brillance est prête à mesurer un échantillon brillant.



Échelle de brillance allant de mat (en haut) à brillant (en bas).

La brillance est définie comme le rapport entre le flux lumineux d'une source donnée avec un angle d'incidence donné, qui est réfléchi spéculairement par un objet (c'est-à-dire que tout le flux est réfléchi dans la direction opposée) et le flux lumineux qui est réfléchi spéculairement par du verre avec un indice de réfraction spécifique. Pour déterminer la brillance de différents échantillons, les mesures sont effectuées en trois positions : 20° pour les échantillons brillants, 60° pour les échantillons semi-brillants et 85° pour les échantillons mats.

L'infrastructure de mesure permet de mesurer automatiquement la brillance de quatre échantillons en même temps au maximum, en trois positions différentes. L'incertitude de mesure visée s'élève à moins de 0,5 unité de brillance pour les échantillons brillants. La place de mesure permet de traiter des échantillons de diverses tailles, allant de 55 × 15 mm à 115 × 115 mm.

Une comparaison internationale de la mesure de la brillance (EURAMET.PR-S7.2024) a été lancée pour valider cette place de mesure. Le NRC (Canada), le LNE (France) et METAS y participent, ce dernier en tant que laboratoire pilote. Cette comparaison permettra à METAS d'obtenir des CMC en mesure de brillance.

Environnement, climat et ressources naturelles

Des mesures innovantes des émissions agricoles et de la circulation routière

Les recherches de METAS contribuent à augmenter l'exactitude des mesures des émissions de polluants atmosphériques. Elles peuvent aussi aboutir à des mesures de réduction et d'amélioration des contrôles.

Les émissions de polluants atmosphériques peuvent nuire à l'homme et à l'environnement. Toutefois, pour les identifier et les réduire au niveau local, des mesures exactes sont indispensables. Les émissions d'ammoniac par l'élevage et celles de particules fines par les moteurs diesel sont deux domaines dans lesquels METAS mène des projets de recherche. Les exemples des laboratoires de METAS qui suivent illustrent comment des approches métrologiques innovantes peuvent améliorer la compréhension des émissions issues de l'agriculture et de la circulation routière.

Mesure traçable au SI des émissions d'ammoniac dans l'élevage

Les émissions excessives d'azote nuisent à la santé humaine et à la biodiversité des écosystèmes proches de l'état naturel dans le monde entier. En Europe, l'une des principales sources de ces émissions est la garde d'animaux de rente, qui rejette de l'azote sous forme d'ammoniac (NH_3) dans l'atmosphère.[1] Or, les efforts de réduction de ces émissions sont entravés par les grandes incertitudes dans le calcul des émissions. Un monitorage fiable et traçable au SI est donc indispensable pour mettre en œuvre des stratégies de réduction efficaces. C'est l'objectif que poursuit le projet de recherche européen «quantiAGREMI», auquel METAS participe activement.

Pour mesurer de manière fiable le NH_3 dans les étables, il faut disposer de mélanges de gaz de référence appropriés, dont la composition doit être similaire à celle de l'air analysé. Ce qui est une gageure, car le NH_3 est réactif et l'air des étables est humide et contient de nombreux composants susceptibles de perturber les mesures. Pour y remédier, le laboratoire Analyse de gaz de METAS a perfectionné un générateur de gaz de référence mobile (ReGaS3) afin de produire sur place des mélanges de gaz de référence humides et traçables au SI.

Dans le cadre de ce projet, on a également testé, dans une étable expérimentale du Centre de compétence de la Confédération pour la recherche agronomique (Agroscope), si les instruments de mesure enregistrent correctement la teneur en NH_3 de l'air des étables et quels matériaux conviennent pour prélever des échantillons de l'air. Grâce à ces connaissances et au générateur de références mobile, il est désormais possible d'effectuer des mesures de NH_3 dans les étables avec une incertitude plus faible.

1 Sutton, Mark A., et al., eds. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives. Cambridge University Press, 2011.

Évaporateur pour l'humidification des mélanges de gaz de référence.

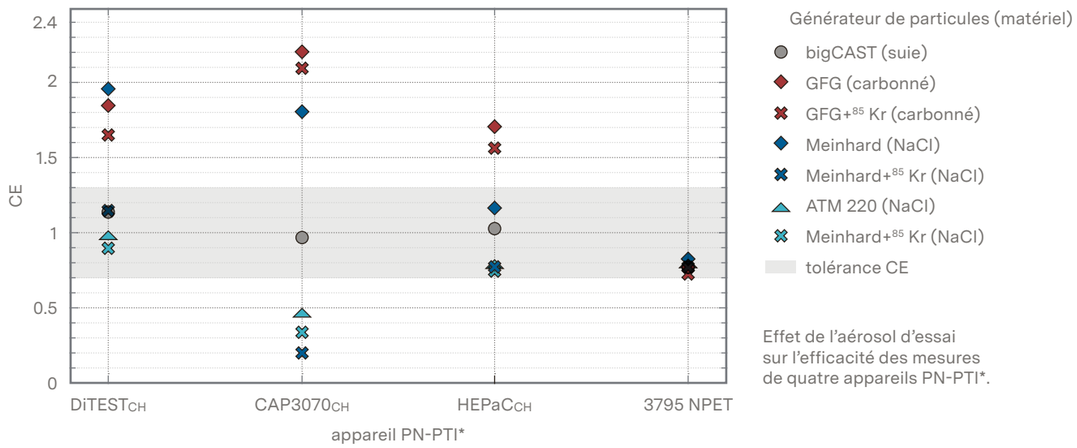
Générateur de gaz (ReGaS3) pour la production de mélanges de gaz de référence.

Effet de l'aérosol de test sur l'efficacité des mesures des compteurs de particules

Dans la plupart des régions urbaines, la circulation routière contribue fortement à la pollution de l'air. L'équipement des moteurs diesel avec des filtres à particules diesel (FAP) a constitué un grand progrès pour le contrôle des émissions. Dans certains cas, les FAP sont toutefois falsifiés ou défectueux, de sorte que les émissions de particules peuvent dépasser la valeur limite définie pour le type. Ainsi, une petite partie (environ 10 %) des véhicules peut être responsable de 80 à 90 % des émissions totales du parc automobile.

Article sur l'effet de l'aérosol d'essai sur l'efficacité des mesures des compteurs de particules

Pour réduire les émissions des moteurs diesel équipés de filtres à particules, la Suisse a introduit une nouvelle procédure de contrôle périodique des véhicules fondée sur la mesure du nombre de particules. Dans le cadre d'une étude, METAS a examiné l'incidence que le choix de l'aérosol de test a sur l'efficacité de mesure des compteurs de particules. L'efficacité de certains instruments de mesure dépend fortement de la morphologie des pièces de test. L'analyse des aérosols de combustion provenant de générateurs commerciaux a montré que ceux-ci sont la meilleure approximation des émissions de suie des moteurs diesel sans FAP. Cette découverte ne manquera pas d'aider les autorités à optimiser la procédure d'étalonnage et de contrôle annuel des compteurs de particules.



Effet de l'aérosol d'essai sur l'efficacité des mesures de quatre appareils PN-PTI*.

* PN-PTI: Particle Number – Periodic Technical Inspection (suivi technique périodique)

Collaboration nationale et internationale

Engagement au sein des organisations nationales et internationales

METAS dispose d'un excellent réseau au sein des organisations nationales et internationales. Il est actif dans leurs principaux comités et apprécié de manière générale en sa qualité de partenaire fiable et compétent.

La métrologie ne peut se passer de collaboration (voir p. 10-11, «Recherche et développement»). Sans elle, le Système international d'unités (SI) valable dans le monde entier n'aurait pas pu remplacer la multitude d'unités de mesure et de systèmes d'unités régionaux qui coexistaient. Ce n'est qu'après l'harmonisation internationale des exigences relatives aux méthodes et aux instruments de mesure que ceux-ci ont pu être utilisés dans le commerce. La collaboration nationale et internationale est donc vitale pour METAS.

Une grande partie de la collaboration internationale se fait dans le cadre de l'Association européenne des instituts nationaux de métrologie (EURAMET) et dans celui de l'organisation qui assure la coopération européenne en métrologie légale (WELMEC).

En Suisse, METAS s'engage à long terme dans des associations et des organismes nationaux spécialisés (p. ex. Electrosuisse, la Société suisse de chimie, la Société suisse de radiobiologie et de physique médicale, l'Association suisse pour l'éclairage, la Société suisse de chimie alimentaire ou encore la Société suisse de physique), dans des organismes de normalisation (p. ex. le Comité électrotechnique suisse, l'Association suisse de normalisation et l'Association suisse des professionnels de la route et des transports) et auprès de Swissmem dans le réseau suisse de la technologie quantique (Swiss Quantum Industry Network).

Les représentations de METAS: un florilège

Philippe Richard, le directeur de METAS, est vice-président du **CIPM (BIPM)** depuis mars 2023. Il assume également la présidence du sous-comité chargé des finances et de celui chargé de la gouvernance.

Fabiano Assi, le chef de la division Physique de METAS, fait partie de la Commission fédérale d'accréditation (AKKO) du Service d'accréditation suisse **(SAS)** depuis le 1er janvier 2024.

Hanspeter Andres, le chef de la division Chimie et biologie de METAS, siège au conseil d'administration (*Board of Directors*) d'**EURAMET** depuis le 30 mai 2023.

Bobjoseph Mathew, le chef de la division Métrologie légale de METAS, préside depuis octobre 2023 et pour une durée de six ans le **CIML,** l'organe décisionnel et fonctionnel de l'**OIML.**

Peter Blattner, le *Chief Metrology Officer* (CMO) de METAS, apporte, en sa qualité d'ancien président, son soutien au comité actuel de la **CIE.** Depuis novembre 2023, il est également délégué au forum sur la métrologie et la transformation numérique (FORUM-MD) du **CIPM.**

Hugo Lehmann, le *Chief Partnership and Technology Transfer Officer* de METAS, est depuis septembre 2023 le délégué suisse auprès de l'**IMEKO.** Il a représenté la Suisse au Conseil général et au congrès mondial de l'IMEKO en août 2024 à Hambourg. Hugo Lehmann fait aussi partie du comité d'organisation du **CIM** 2025 à Lyon.

Aperçu de quelques organisations et associations

Nationales

CES
Comité électrotechnique suisse chargé de la normalisation à l'échelle nationale
›electrosuisse.ch

Electrosuisse
Organisation spécialisée dans l'électrotechnique et les technologies de l'énergie et de l'information
›electrosuisse.ch

SFC
Société suisse de chimie alimentaire
›swissfoodchem.ch

SLG
Association suisse pour l'éclairage
›slg.ch

SNV
Association suisse de normalisation
›snv.ch

SSC
Société suisse de chimie
›scg.ch

SSP
Société suisse de physique
›sps.ch

SSRPM
Société suisse de radiobiologie et de physique médicale
›ssrpm.ch

Swissmem
Association des PME et grandes entreprises de l'industrie technologique suisse (active dans l'industrie des machines, des équipements électriques et des métaux, ainsi que dans d'autres branches connexes)
›swissmem.ch

VSS
Association suisse des professionnels de la route et des transports
›vss.ch

Internationales

BIPM
Bureau international des poids et mesures
›bipm.org

CEI
Commission électrotechnique internationale
›iec.ch

CEN/CENELEC
Comité européen de normalisation en électrotechnique
›cencenelec.eu

CGPM
Conférence générale des poids et mesures
›bipm.org

CIE
Commission internationale de l'éclairage
›cie.co.at

CIM
Congrès international de métrologie
›cim-metrology.org

CIPM
Comité international des poids et mesures
›bipm.org

EMeTAS
European Metrological Type Approvals Service
›emetas.net

EURACHEM
Réseau d'organisations européennes dans le domaine de la chimie analytique
›eurachem.org

EURAMET
Association européenne des instituts nationaux de métrologie
›euramet.org

IMEKO
Confédération internationale de la mesure
›imeko.org

ISO
Organisation internationale de normalisation
›iso.org

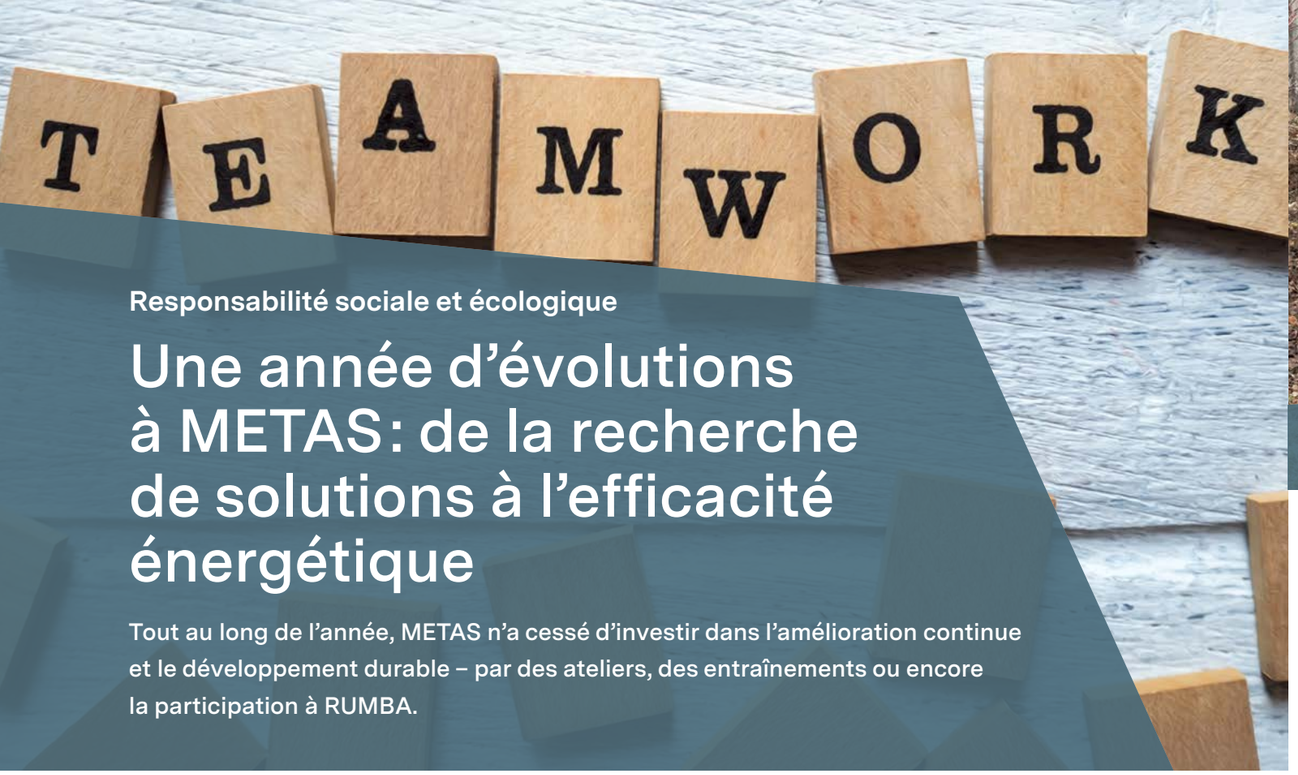
NoBoMet
Plateforme européenne pour les organismes notifiés actifs dans le domaine de la métrologie légale
›nobomet.org

OIML
Organisation internationale de métrologie légale
›oiml.org

WELMEC
Coopération européenne en métrologie légale
›welmec.org

Réseaux européens de métrologie (EURAMET)

Les réseaux européens de métrologie s'appliquent à concrétiser la vision d'une capacité métrologique de pointe au niveau mondial détenue par EURAMET et ses membres. Ensemble, ils répondent aux besoins en constante évolution des utilisateurs finals par une recherche scientifique de haut niveau et une infrastructure intégrée efficace. La collaboration étant essentielle pour METAS et pour la Suisse, l'Institut prend une part active dans dix des douze réseaux métrologiques actuels. En 2024, METAS a rejoint le nouveau réseau sur l'énergie propre.



Responsabilité sociale et écologique

Une année d'évolutions à METAS: de la recherche de solutions à l'efficacité énergétique

Tout au long de l'année, METAS n'a cessé d'investir dans l'amélioration continue et le développement durable – par des ateliers, des entraînements ou encore la participation à RUMBA.

L'année dernière, METAS a réalisé d'importants progrès dans deux domaines. S'agissant des méthodes de travail, toutes les collaboratrices et tous les collaborateurs ont été sensibilisés à un comportement plus orienté vers les solutions dans le cadre d'ateliers consacrés à cette thématique, tandis que les cadres ont pu développer leurs compétences de gestion lors d'entrainements ciblés. Par ailleurs, METAS a obtenu des résultats impressionnants en matière d'efficacité énergétique et de durabilité dans le cadre de RUMBA. Ces mesures reflètent les efforts déployés par METAS pour améliorer continuellement tant son climat de travail que son empreinte écologique.

Ateliers «orientation vers les solutions»

En 2024, les collaboratrices et collaborateurs, les cadres et la direction de METAS ont participé à des ateliers internes d'une journée sur le thème de «l'orientation vers les solutions». Ces ateliers étaient une des mesures prises à la suite de l'enquête auprès du personnel de 2023 («Formation continue: sensibiliser les collaborateurs aux thèmes de l'‹action orientée vers les solutions› et de la ‹culture de l'erreur›»). Leur but était que toutes et tous en tirent un bénéfice concret dans leur travail quotidien.

Après une phase théorique, les participants ont eu l'occasion de mettre celle-ci en pratique. Parmi les accents thématiques on trouvait notamment «les problèmes versus les solutions», «les marges de manœuvre», «les rôles», «les motifs» et «l'état idéal». En outre, les participants ont pu échanger avec un membre de la direction dans le cadre d'une «discussion au coin du feu».

Afin de ne pas négliger la mise en pratique, les cadres ont convenu avec leurs collaboratrices et collaborateurs d'un objectif de comportement pour 2025 qui mette l'accent sur la recherche de solutions.

Le «jeu de la tige» montre très bien la difficulté de se coordonner au sein d'un groupe. En fait, il ne fallait que poser la tige au sol.

Le nouveau véhicule électrique de METAS à la borne de recharge extérieure. Au premier plan, deux des quatre vélos électriques.

Formation au leadership

En 2024, tous les cadres ont fait l'objet d'un feedback à 270°: ils ont reçu des commentaires de leurs collaborateurs, de leurs collègues et de leurs supérieurs. Sur la base de ces retours, des mesures personnelles et des champs de développement communs ont été définis. Lesdits champs ont fait l'objet de trois formations d'une journée sur le leadership portant sur les thèmes: «Communiquer de manière efficace», «Optimiser la collaboration malgré les tensions et les erreurs», «Diriger et développer les collaborateurs en se concentrant sur leurs points forts».

À la fin de chaque formation, les participants ont reçu une mission. La mise en œuvre personnelle a été discutée lors de «rétrospectives» d'une demi-journée, organisées trois mois après la formation. Pour que le transfert dans la pratique se poursuive en 2025, un objectif correspondant a été fixé à tous les cadres lors de leur entretien personnel.

Vue d'une fenêtre photographiée à la formation au leadership.

Préserver l'environnement, c'est promouvoir l'efficacité énergétique

En 2024, METAS a réalisé des progrès impressionnants en matière d'efficacité énergétique grâce à la mise en œuvre volontaire et cohérente du programme RUMBA (gestion des ressources et de management environnemental de l'administration fédérale).

RUMBA vise à réduire au minimum la consommation d'énergie et l'empreinte écologique dans les bâtiments de la Confédération. Par des mesures techniques ciblées – telles que la modernisation des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation et l'optimisation des conditions dans les bureaux et les laboratoires – METAS a pu atteindre cet objectif.

En outre, METAS a encore investi dans la mobilité électrique: en 2024, le parc électrique – qui comprenait cinq voitures consommant en moyenne 17 kWh/100 km et deux vélos – s'est agrandi d'un véhicule électrique. Pour compléter l'infrastructure de recharge existante dans le garage de METAS, une borne supplémentaire a été installée devant l'entrée principale.

Des projets tels que le remplacement du chauffage actuel et la mise en place d'une installation photovoltaïque pour réduire les émissions de CO_2 ont été présentés à l'Office fédéral des constructions et de la logistique (OFCL) et devraient être réalisés dans les années à venir.

Système de gestion des ressources et de management environnemental de l'administration fédérale RUMBA

Mandat de la Confédération

Des mesures fiables pour le secteur public

METAS offre des prestations de conseil, de mesure et d'analyse complexes. Il prélève des échantillons, effectue des travaux de maintenance et procède à des tests en laboratoire et sur place. Il s'acquitte ainsi du mandat qui lui est confié par la Confédération.

Plusieurs offices fédéraux ont besoin de mesures extrêmement fiables, dont l'Office fédéral des routes (OFROU), l'Office fédéral de la douane et de la sécurité des frontières (OFDF), l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) et l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV).

METAS analyse les échantillons prélevés par l'administration et effectue les mesures que celle-ci lui demande, assistant ainsi les autorités avec ses prestations de qualité.

Analyses chimiques et biologiques pour les monitorages nationaux de l'OSAV

Notre santé est influencée par de nombreux facteurs et l'OSAV a pour mission principale d'améliorer notre bien-être, ainsi que celui des animaux. METAS aide l'office dans cette tâche en procédant à des analyses chimiques et biologiques.

La biosurveillance humaine, qui consiste à collecter des données sur l'exposition à des substances chimiques et le statut nutritionnel de la population suisse, fournit de précieuses informations sur l'état de santé général de la population, mais aussi sur les facteurs environnementaux qui l'influencent.

METAS détermine actuellement divers oligoéléments, éléments toxiques (comme l'iode, le cuivre, le sélénium, le zinc, l'arsenic, le plomb et le cadmium) et composés organiques (comme les bisphénols, les phtalates ainsi que les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées [PFAS]) dans le cadre de différentes études. Il se charge également d'optimiser les méthodes d'analyse pour pouvoir préparer et mesurer efficacement des centaines d'échantillons.

Vérification du niveau de liquide dans l'éprouvette avant de mettre celle-ci dans l'appareil de digestion (en bas, à droite de l'image). Des échantillons de sang, de sérum et d'urine y sont digérés avant l'analyse élémentaire.

Connexion d'un MetaSpeed à un instrument de mesure de la vitesse fixe à Thoune (BE).

MetaSpeed : nouvel instrument d'examen pour boucles à induction

Les boucles à induction sont des fils de cuivre posés dans le revêtement de la route qui détectent le passage des véhicules.

Si elles servent aux contrôles officiels de la vitesse ou à la surveillance des feux rouges, ces boucles à induction doivent être étalonnées chaque année par le laboratoire Trafic routier. Sur place, METAS vérifie les grandeurs électriques et compare les mesures de la vitesse des boucles à induction à celles d'un système de référence. Toutes ces vérifications sont désormais effectuées au moyen de MetaSpeed, un nouvel instrument d'examen compact et robuste, conçu et produit en quatre exemplaires avec l'aide de partenaires internes et externes. MetaSpeed permet de vérifier automatiquement toutes les boucles à induction d'une rue en quelques minutes seulement. METAS a ainsi pu augmenter de manière significative l'efficacité et la fiabilité des vérifications sur les routes fortement fréquentées, ainsi que la sécurité des personnes impliquées.

MetaSpeed contrôle automatiquement toutes les boucles à induction d'une rue.

METAS et le contrôle de marchandises de l'OFDF

METAS effectue depuis quelques années des analyses chimiques, physiques et biologiques pour le compte de l'OFDF, dans le cadre du contrôle des marchandises à la douane. En 2025, METAS a examiné 1459 échantillons, des aliments à leur préparation technique. Les collaboratrices et collaborateurs de l'OFDF avaient repéré ces marchandises à la douane et en avaient envoyé des échantillons à METAS pour une analyse approfondie. Les analyses ont confirmé dans 15 % des cas les inexactitudes repérées dans les déclarations ou dans les taxes et les impôts dus. METAS contribue ainsi à l'exactitude des déclarations des marchandises et à la justice fiscale dans le trafic transfrontalier de marchandises.

Les prestations d'analyse que METAS offre à sa clientèle requièrent un laboratoire moderne et un personnel hautement qualifié.

Métrologie sur le marché

L’exactitude au service de la qualité, de la sécurité et de la confiance

L’infrastructure qualité de la Suisse garantit que les produits et les services répondent aux normes les plus exigeantes.

Qu’il s’agisse de l’industrie, du commerce ou de la protection des consommateurs, une infrastructure qualité qui fonctionne est essentielle. C’est elle qui assure des mesures exactes, des normes claires et des certifications fiables. À cet égard, la contribution de METAS est décisive: ce dernier fournit la base métrologique afin de garantir exactitude, sécurité et équité sur le marché.

METAS – un acteur clé de l’infrastructure qualité suisse

L’infrastructure qualité garantit la qualité, la sécurité et l’efficacité de produits, de services et de processus. Colonne vertébrale des économies modernes, elle facilite le commerce international, favorise les développements technologiques et protège consommateurs et environnement.

La notion d’infrastructure qualité ne doit pas être confondue avec la qualité de l’infrastructure (par exemple la qualité des chaussées, des ponts ou des réseaux d’approvisionnement en énergie).

Dans notre société mondialisée, les entreprises et les consommateurs sont tributaires d’un système fiable garantissant que les produits et les services répondent à certaines normes. Une infrastructure qualité efficace améliore la compétitivité des entreprises, facilite l’accès au marché et atténue les obstacles techniques au commerce. De plus, elle encourage l’innovation et assure le respect des exigences légales.

L’infrastructure qualité repose sur cinq domaines étroitement liés: la métrologie, la normalisation, l’accréditation, la certification (y c. le contrôle et les tests), et la réglementation.

METAS est l’institut national suisse de métrologie. À ce titre, il a pour mission de veiller à l’exactitude des mesures réalisées en Suisse pour répondre aux besoins de l’économie, de la recherche et de l’administration.

L’Association suisse de normalisation (SNV) coordonne l’élaboration, l’adoption et la mise en œuvre de normes dans différents secteurs économiques. De nombreux experts encouragent les activités de normalisation dans des organes nationaux et internationaux.

Association suisse de normalisation (SNV)

L’accréditation est la reconnaissance formelle de la compétence technique et organisationnelle d’un organe pour fournir un service spécifique décrit dans le champ d’application de l’accréditation. Le Service d’accréditation suisse SAS évalue et accrédite les types d’organismes d’évaluation de la conformité (OEC) sur la base des normes internationales pertinentes. METAS soutient les activités d’accréditation en mettant à disposition certaines de ses expertes et certains de ses experts, qui interviennent en tant que responsables d’audits techniques.

Service d’accréditation suisse SAS

En plus des étalonnages, METAS effectue des contrôles et des tests conformément aux normes internationales. L’organisme d’évaluation de la conformité accrédité METAS-Cert est le service désigné par la Suisse et reconnu par l’UE pour évaluer la conformité des instruments de mesure. À ce titre, il effectue les évaluations de la conformité prescrites pour les fabricants (voir encadré).

Avec l’exécution de la loi sur la métrologie, METAS est également actif dans la réglementation. En outre, il soutient d’autres organes fédéraux du point de vue de la législation pour toutes les questions qui relèvent de la métrologie. Ses autres tâches sont définies dans la loi sur l’Institut fédéral de métrologie (LIFM).

Loi sur l’Institut fédéral de métrologie (LIFM ; RS 941.27)

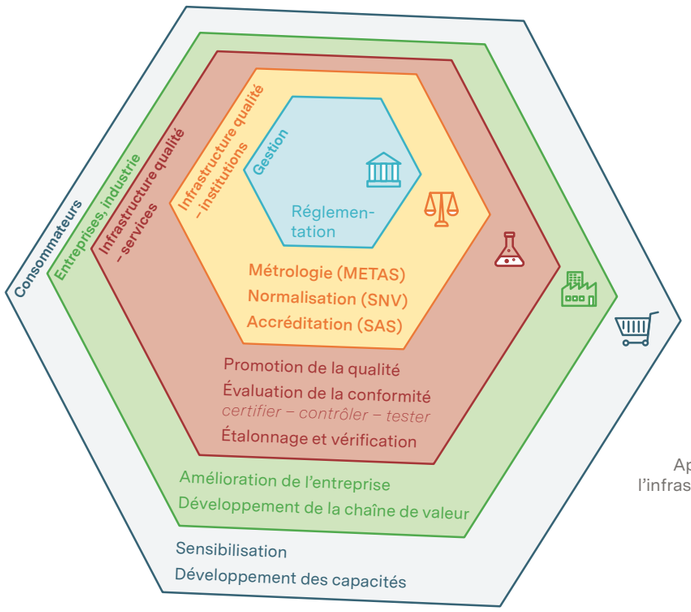
La contribution de METAS-Cert à l’infrastructure qualité

METAS a mis en place l’organisme d’évaluation de la conformité METAS-Cert sur la base des accords bilatéraux avec l’UE (depuis 2004).

METAS-Cert évalue la conformité des instruments de mesure, entre autres par des examens de type, la certification de systèmes d’assurance qualité et les examens de produits. Les instruments de mesure dont la conformité a été évaluée portent le marquage CE (voir image du titre): un rectangle contenant un «M» pour métrologie, suivi de l’année et du numéro de l’organisme notifié[1] ayant évalué la conformité.

Organisme d’évaluation de la conformité METAS-Cert

Ces certifications permettent aux fabricants de commercialiser leurs instruments de mesure en Suisse comme en Europe de manière conforme. METAS-Cert est actif dans le monde entier.



Aperçu de l’infrastructure qualité

Les institutions de l’infrastructure qualité suisse

Métrologie: METAS assure la traçabilité des mesures par rapport aux réalisations des unités de mesure reconnues au niveau international.

Normalisation: la SNV coordonne l’élaboration, l’adoption et la mise en œuvre de normes dans différents secteurs économiques.

Accréditation: le SAS assure la compétence des organismes de contrôle et de certification.

Les instruments de mesure harmonisés avec l’UE sont les suivants: balances, compteurs d’eau, compteurs de gaz, compteurs d’énergie électrique, compteurs de chaleur, systèmes de mesure pour liquides autres que l’eau, mesures de capacité à servir, mesures de longueur et instruments de mesure multidimensionnels.

METAS-Cert délivre aux fabricants différentes certifications à partir d’un guichet unique. Les instruments de mesure ainsi mis en circulation peuvent être utilisés en toute confiance.

1 Un «organisme notifié» (*notified body*) a été désigné par une autorité nationale et habilité à effectuer des évaluations de la conformité pour certains produits avant leur mise sur le marché.

Contrôle d’un pont-bascule.

Finances

METAS boucle son exercice 2024 avec un bénéfice de 921 000 francs. Les charges se sont élevées à 59,6 millions de francs et les revenus (y compris les indemnités) ont atteint 60,5 millions de francs.

Bilan	**31.12.2024** Milliers de CHF	**31.12.2023** Milliers de CHF
Liquidités	30 916	27 355
Créances résultant de prestations	3525	4137
Créances résultant de projets de recherche	4552	2557
Autres créances	175	193
Stocks	22	44
Comptes de régularisation d'actifs	1380	1361
Actif circulant	**40 570**	**35 646**
Immobilisations corporelles	21 891	22 039
Immobilisations incorporelles	4208	3609
Actif immobilisé	**26 099**	**25 648**
Total des actifs	**66 669**	**61 294**
Engagements résultant de livraisons et de prestations	1490	1176
Engagements résultant de projets de recherche	6062	2365
Autres engagements	989	1046
Comptes de régularisation de passifs	2212	1282
Prêt à court terme	366	366
Provisions à court terme	1475	1559
Fonds étrangers à court terme	**12 594**	**7794**
Prêt à long terme	732	1098
Provisions pour engagements de prévoyance	23 215	18 984
Provisions pour primes de fidélité	1569	1524
Fonds étrangers à long terme	**25 516**	**21 606**
Perte résultant du bilan	–6342	–7209
Pertes/bénéfices actuariel(le)s cumulé(e)s	29 699	33 955
Réserves pour actif immobilisé	4281	3413
Bénéfice	921	1735
Capitaux propres	**28 559**	**31 894**
Total du passif	**66 669**	**61 294**

Compte de résultat	**2024** 1.1.2024-31.12.2024 Milliers de CHF	**2023** 1.1.2023-31.12.2023 Milliers de CHF
Émoluments	11 437	9241
Indemnités allouées par la Confédération	25 918	25 681
Indemnités allouées par la Confédération avec contrepartie directe	8684	8921
Revenus des fonds de tiers (sans recherche)	11 097	10 689
Fonds de tiers pour la recherche	2376	1753
Autres revenus	149	134
Produits bruts	**59 661**	**56 419**
Diminution des produits	–5	–4
Prestations propres	754	625
Produits nets	**60 410**	**57 040**
Bénéfices provenant de la vente de l'actif immobilisé	**74**	**23**
Charges de biens et services et de prestations de tiers	**–3145**	**–599**
Charges de personnel	–38 515	–37 091
Loyer et charges annexes	–7991	–7772
Charges informatiques	–2068	–1783
Autres charges d'exploitation	–3667	–3939
Amortissements	–3889	–3917
Charges d'exploitation	**–56 130**	**–54 502**
Revenus financiers	22	9
Charges financières	–20	–96
Résultat financier	**2**	**–87**
Charges d'impôts différés	**–290**	**–140**
Bénéfice	**921**	**1735**

Durant l'année sous revue, METAS a pu autofinancer ses activités à hauteur de 58,1 %.
L'autofinancement de l'Institut comprend les émoluments, les indemnités pour la prise en charge d'autres tâches et les fonds de tiers.
L'organe de révision a confirmé sans réserve la régularité de la tenue des comptes.

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

Présentations et publications de METAS

METAS divulgue les activités de recherche et de développement qu'il a menées durant l'année sous revue par le biais de présentations et de publications.

En 2024 aussi, les scientifiques de METAS ont présenté les résultats de leurs travaux de recherche et de développement et démontré leurs connaissances approfondies lors de congrès et de conférences et dans un nombre considérable de publications scientifiques. Ils ont œuvré au sein d'organisations ou d'organes spécialisés sur le plan national et international, auxquels ils ont apporté leur savoir-faire et leur expérience. Ils ont ainsi contribué à la connaissance de la métrologie auprès du grand public, au-delà du cercle restreint des initiés. Enfin, ils ont participé à des cours dispensés aux étudiantes et étudiants des hautes écoles.

La liste ci-après offre un aperçu des principales publications rédigées par ou en collaboration avec des chercheuses et chercheurs de METAS ainsi que de leurs principales présentations.

Les présentations apparaissent dans l'ordre alphabétique du nom de famille des intervenantes et intervenants principaux ; de même, les publications apparaissent dans l'ordre alphabétique du nom de famille des auteures ou auteurs de METAS mentionnés en premier, puis des auteures et auteurs principaux et enfin des coauteures et coauteurs.

Les noms des collaboratrices et collaborateurs de METAS apparaissent **en gras.**

Présentations

A **André, M-A.** & **Pythoud F.,** Metrologie schafft Vertrauen, Präsentation für das Forensische Institut Zürich, 29.02.2024

Andres, H., Chemical and biological references at the Federal Institute of Metrology METAS, CHAnalysis 2024, Beatenberg, 10.04.2024

Andres, H., Metrology ermöglicht Vertrauen im täglichen Leben, IRM Basel Vortragsserie Herbst 2024, 13.11.2024

Assi, F., The journey to METAS, InSight – Materials Alumni berichten aus ihrem Arbeitsalltag, ETHZ, 19.03.2024

Auderset, K., Experiences with particle-measuring devices for PTI, VERT-NPTI Implementation Workshop, 21.03.2024

B **Bissig, H.,** Calibration of flow devices under actual flow conditions with inline measurement of the viscosity of the liquid, Conference on Microfluidic Handling Systems, 21.–23.02.2024, München (D), 22.02.2024

Bissig, H., Comparison of primary standards for liquid flow in the range from 0.1 µL/min to 10 µL/min, 24. IMEKO World Congress, Hamburg (D), 27.08.2024

Blattner, P., Digitalisation of Legal Metrology: Challenges and Opportunities, OIML Digitalization Task Group Webinar Series, online, 24.07.2024

Blattner, P., SI definition of the candela and high level objective of photometry, CCPR and CIE Expert Workshop – 100 Years of V(l) and the future of photometry, BIPM, Sèvres (F), 03.06.2024

Bodor, P., Akustika Herbstwebinar 2024, Akustika Herbstwebinar, online, 30.09.2024

Bühlmann, T., SI-traceable quantification of halogenated VOCs in the atmosphere, 1st CIPM STG-CENV Stakeholder Meeting, Paris (F), 17.09.2024

E **Eckmann, B.,** Scanning Microwave Microscopy for Biomedical Applications, CNB – Clinical Neuroscience Bern 2024, 06.09.2024

F **Frigo, G.,** An Uncertainty-based Criterion for Aggregation of Consistent ROCOF Measurements, 2024 International Conference on Smart Grid Synchronized Measurements and Analytics (SGSMA), Washington DC (USA), 21.05.2024

Frigo, G., DC power and energy and DCPQ reference systems with distorted signals, DC Grids Final Stakeholder Meeting, Delft (NL), 16.05.2024

Frigo, G., Inter-Laboratory Comparison of Reference Systems for DC Power Quality Measurements, 2024 IEEE 14th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Caserta (I), 19.09.2024

Frigo, G., Measurements for smart electricity grids: workshop and open consultation, EMN Smart Electricity Grids Annual Meeting, Delft (NL), 15.05.2024

Frigo, G., Transfer Standard for the Assessment of Spurious Emissions in DC Power, IMEKO 2024 XXIV World Congress, Hamburg (D), 27.08.2024

Frigo, G., Utilizing Matrix Profile for Enhanced Detection of Events in Sampled Values, 2024 IEEE 14th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Caserta (I), 18.09.2024

Fritsche, J., Generation of humid NH3 reference gas mixtures at trace levels, Gas Analysis 2024, Paris (F), 01.02.2024

Fritsche, J., Generators for continuous preparation of dry and humid NH3 reference gas mixtures, Special Session at Air Quality Conference, Helsinki (FIN), 14.05.2024

Fritsche, J., quantiAGREMI – Ammonia and greenhouse gas emissions from livestock farming, Picarro Ammonia Summit, Aarhus (DK), 20.03.2024

H **Hoffmann, J.,** S-Parameters on Printed Circuit Boards for Cryogenic Environment, CPEM 2024, Denver, CO, (USA) 08.07.2024

Hung-Ju, L., RF measurements for future communications applications, EPFL CMi Annual Review Meeting 2024, 14.05.2024

Husmann, D., Detection and analysis of anthropogenic patterns in a phase-stabilized optical fiber network, EFTF 2024, Neuenburg, 25.06.2024

Husmann, D., Exploiting frequency metrology fiber networks for earthquake sensing, SPS Annual Meeting 2024, Zürich, 12.09.2024

Husmann, D., Metrological frequency dissemination through a fiber optic network, QIDiS, Quantum Industry Days, Basel, 23.09.2024

Husmann, D., Time and frequency standards at METAS and their applications for precision measurements, PSAS 2024, International Conference on Precision Physics of Simple Atomic Systems, ETH Zürich, 10.06.2024

Huu de, M., Comparison of gravimetric standards for hydrogen refuelling stations, 24. IMEKO World Congress, Hamburg (D), 27.08.2024

Huu de, M., Dimension calibration of small critical flow Venturi nozzles, 24. IMEKO World Congress, Hamburg (D), 28.08.2024

Huu de, M., High pressure hydrogen metering, METAS-Seminar, 01.10.2024

I **Iturrate-Garcia, M.,** Assessing parameters affecting low-cost gas sensor response signal, EMN COO Annual General Meeting, 11.06.2024

Iturrate-Garcia, M., Assessing parameters affecting low-cost gas sensor response signals in the European photoreactor (EUPHORE) simulation chamber, Gas Analysis 2024, Paris (F), 31.01.2024

Iturrate-Garcia, M., Transferring metrological principles to low-cost sensors used in networks for air quality monitoring, 1st CIPM STG-CENV Stakeholder Meeting, Paris (F), 16.09.2024

J **Jallageas, A.,** Sub-ns long-haul dissemination of UTC(CH) using White Rabbit in Switzerland, CERN 2024 White Rabbit Workshop, 21.03.2024

Jallageas, A., White Rabbit in Switzerland: a first loop network for long-haul dissemination of UTC(CH), EFTF 2024, Neuenburg, 25.06.2024

L **Lauterbach, K-U.,** Koaxialkabel und deren Anwendung in der EMV, 65. Sitzung der PEGESS, Biel, 20.03.2024

Lehmann, H., METAS – The most accurate place in Switzerland, Federal Office Day, EPF Lausanne , 07.10.2024

Lehmann, H., METAS – The most accurate place in Switzerland, PolyMesse, ETH Zürch, 10.04.2024

Lehmann, H., Metrology for the 2nd Quantum Revolution, IMEKO 2024 World Congress, Hamburg (D), 26.08.2024

Lin, H., A novel Coaxial On-wafer Probe: Manufacturing and relevant Performance Tests, FutureCom Workshop at IEEE Symposium M&N 2024, 03.07.2024

M **Mallia, S.,** Authenticity of Swiss honey by trace element profile and stable strontium isotopic composition, Fachtagung NRL-MN, 21.11.2024

Mallia, S., ICP-MS- und ICP-OES Methode für die Analyse von Mikro- und Makroelementen in Fleisch- und Milchersatzsprodukten, Fachtagung NRL-MN, 21.11.2024

Mallia, S., News vom EURL-MN, 21.11.2024, Fachtagung NRL-MN, Fachtagung NRL-MN, 21.11.2024

Mallia, S., WP-CBR001 – A new matrix CRM to support food safety, ILMAC 2024 Lausanne, 19.09.2024

N **Niederhauser, B.,** Metrologie, METAS, Terminologie, Messunsicherheit, Konformität und Atemalkoholmessung, Vorlesung an der ZHAW Wädenswil im Rahmen vom Master Forensik, Modul Analytical Technologies, 02.12.2024

Niederhauser, B., New Absorption Coefficient for the UV-photometry of Ozone, Cercl'Air ERFA, Luzern, 05.09.2024

Niederhauser, J., Was ist eine Schaltsekunde und weshalb sollen Schaltsekunden nächstens abgeschafft werden?, SwissEngineering Fachgruppe Elektronik und Informatik (FAEL), FAEL-Herbstseminar «Zeit» – Uhrenindustrie Schweiz, PH Zürich, 20.11.2024

P **Peier, P.,** Radondosimetrie und Radonreferenz, ENSI Strahlenschutzseminar 2024, Windisch, 31.10.2024

Préville de, S., A Calibration Tool for Scanning Microwave Microscopy, ALTECH 2024 – Analytical techniques for accurate nanoscale characterization of advanced materials, Strasbourg (F), 27.05.2024

Préville de, S., Resistive standards for scanning microwave microscopy, EPFL CMi Annual Review Meeting 2024, 14.05.2024

Pythoud, F., Antennen-Symmetrie, 66. PEGESS-Sitzung, 10.02.2024

Pythoud, F., Konformitätsbeurteilung von Basisstationen, Cercle Air Sitzung, Zürich, 12.09.2024

R **Roos, D.,** METAS: the new WMO-GAW Central Calibration Laboratory for halogenated VOCs, CHAnalysis 2024, Beatenberg, 11.04.2024

T **Tas, E.,** METAS' Activities on 5G NR RF Exposure, Austauschplattform «Mobilfunk der Zukunft», Verantwortung BAFU, fand im METAS statt, 01.11.2024

Tas, E., Traceability of 5G NR RF Exposure Measurements, EUCAP 2024, Glasgow (UK), 22.03.2024

V **Vasilatou, K.,** PN-PTI in Switzerland: regulations, research findings and next steps, VERT-NPTI Workshop, 06.12.2024

Vasilatou, K., Primary standards and calibration strategies for filter photometers and aerosol spectrometers, EMN COO Annual General Meeting, 11.06.2024

Vasilatou, K., Type approval and verification of particle-measuring devices for PTI, CALAC+ Workshop «Challenges in Implementing Technologies for Cleaner Transport in Latin American Cities», 09.08.2024

Z **Zeier, M.,** Introduction to S-Parameter Metrology, BIPM CCEM Webinar, 25.01.2024

Zeier, M., VNA Tools - a metrology software supporting the digital traceability chain, IMEKO 2024 Workshop on Digital Traceability, Hamburg (D), 28.08.2024

Sondage auprès des lecteurs

Répondez au sondage sur le rapport annuel pour que METAS puisse en améliorer la prochaine édition et qu'il apprenne à vous connaître !

Le sondage contient onze questions, dont certaines sont optionnelles, et ne vous prendra qu'environ cinq minutes. Vous pouvez y répondre de manière anonyme ou en révéler un peu plus à votre sujet.

METAS se réjouit de lire vos réponses.

Pour y accéder, veuillez scanner le code QR ci-contre

Publications

A **Agustoni, M.** & **Frigo, G.,** Characterization of Analog Front-End in PMU Design for Inertia Monitoring, doi: 10.1109/I2MTC60896.2024.10560540.

Agustoni, M. & **Overney, F.** & **Eichenberger, A.-L.** & Kučera, J., Accurate Comparison of Calculable HF Resistance Standards, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646143.

B Faghih Niresi, K. & **Bissig, H.** & **Baumann, H.** & Fink, O., Physics-Enhanced Graph Neural Networks for Soft Sensing in Industrial Internet of Things, in: IEEE Internet of Things Journal (11), doi: 10.1109/JIOT.2024.3434732.

Guzzini, A. & **Bissig, H.** & Saccani, C. et al., Hydrogen in natural gas grids: prospects and recommendations about gas flow meters, in: International Journal of Hydrogen Energy (86), doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.08.344.

Blattner, P. & Brown, R. J. C., Relating SI units to the 'defining constants', in: Metrologia (61), doi: 10.1088/1681-7575/ad4cef.

Martinsons, C. & **Blattner, P.** & Herf, M. et al., Reconsidering the spectral distribution of light: Do people perceive watts or photons?, in: Lighting Research & Technology (56), doi: 10.1177/14771535241246060.

Breuninger, E. S. & **Bouchet, S.** & Mestrot, A. et al., Marine and terrestrial contributions to atmospheric deposition fluxes of methylated arsenic species, in: Nature Communications (15), doi: 10.1038/s41467-024-53974-z.

Müller, E. & **Bouchet, S.** & Winkel, L. H. E. et al., Reactions of hypobromous acid with dimethyl selenide, dimethyl diselenide and other organic selenium compounds: kinetics and product formation, in: Environmental Science: Water Research & Technology (10), doi: 10.1039/D3EW00787A.

ThomasArrigo, L. K. & **Bouchet, S.** & Nydegger, T. et al., Emerging investigator series: Coprecipitation with glucuronic acid limits reductive dissolution and transformation of ferrihydrite in an anoxic soil, in: Environmental Science: Processes & Impacts (26), doi: 10.1039/D4EM00238E.

Spitschan, M. **Bouroussis, C. A.** & **Caspar, P.** et al., Illuminating the future of wearable light metrology: Overview of the MeLiDos Project, in: Measurement (235), doi: 10.1016/j.measurement.2024.114909.

Burkhard, S. & **Küng, A.,** Beam hardening correction based on image noise statistics, in: Measurement Science and Technology (35), doi: 10.1088/1361-6501/ad2d4f.

Burkhard, S. & **Küng, A.,** Exact computation of projected sphere centres in cone beam x-ray projections, in: Measurement Science and Technology (35), doi: 10.1088/1361-6501/ad3bde.

C **Cen, T.,** Development of Hyphenated Analytical Techniques using spICP-MS for Online Characterization of Metallic Nanoparticles in Aerosols, doi: 10.5075/EPFL-THESIS-10787.

Cen, T. & Torrent, L. et al., Rotating disk diluter hyphenated with single particle ICP-MS as an online dilution and sampling platform for metallic nanoparticles characterization in ambient aerosol, in: Journal of Aerosol Science (175), doi: 10.1016/j.jaerosci.2023.106283.

Cen, T. & Zhang, Z. & Torrent, L. et al., Airborne metal nanoparticles released by azides detonation: determination and potential public exposure, in: Scientific Reports (14), doi: 10.1038/s41598-024-67540-6.

Cen, T. & Zhao, Y.-B. & Testino, A. et al., Dilution versus fractionation: Separation technologies hyphenated with spICP-MS for characterizing metallic nanoparticles in aerosols, in: Journal of Aerosol Science (177), doi: 10.1016/j.jaerosci.2023.106317.

Turhan, E. & **Corminboeuf, D.** et al., EURAMET.EM-S44 comparison for ultra-low DC current sources, in: Metrologia (60), doi: 10.1088/0026-1394/60/1a/01002.

E **Eckmann, B.** & **Lin, H.-J.** & **Préville de, S.** & **Hoffmann, J.** & **Zeier, M.** et al., Coaxial tips for a scanning microwave microscope and its calibration with dielectric references, in: Measurement Science and Technology (35), doi: 10.1088/1361-6501/ad480d.

Eichenberger, A. L. & **Overney, F.** & **Agustoni, M.,** Pulse Shape Optimisation of a Josephson Arbitrary Waveform Synthesizer, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646147.

F Subiel, A. & **Frei, F.** & **Peier, P.** & Bourgouin, A. et al., Application of Primary Standards in Flash Radiotherapy, in: International Journal of Particle Therapy (12), doi: 10.1016/j.ijpt.2024.100238.

Frigo, G. & Castello, P. & Gallus, G. et al., Internal Time Reference Enhancement via White Rabbit Synchronization: A Power System Measurement Perspective, doi: 10.1109/SGSMA58694.2024.10571544.

Frigo, G. & Gallus, G., Transfer standard for the assessment of spurious emissions in DC power, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101716.

Frigo, G. & Gallus, G. & Pegoraro, P. A. et al., Combining Steady-State Accuracy and Responsiveness of PMU Estimates: An Approach Based on Left and Right Taylor–Fourier Expansions, in: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (73), doi: 10.1109/TIM.2024.3384553.

Frigo, G. & Giordano, D. & Signorino, D., Inter-Laboratory Comparison of Transfer Standard for DC Power Measurements in Nominal and Distorted Conditions, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646155.

Frigo, G. & Macii, D. & Petri, D., Accuracy Comparison of Frequency and ROCOF Dynamic Estimators under Contingencies, doi: 10.1109/I2MTC60896.2024.10560661.

Frigo, G. & Macii, D. & Petri, D., An Uncertainty-based Criterion for Aggregation of Consistent ROCOF Measurements, doi: 10.1109/SGSMA58694.2024.10571405.

Frigo, G. & Negri, V. & Mingotti, A. et al., Validating Inertia Assessment Metrics in Distribution Systems with High RES Penetration, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706692.

Frigo, G. & Pegoraro, P. A. & Toscani, S., Compressive Sensing Taylor-Fourier Multifrequency Approach for Three-Phase Signals, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706694.

Frigo, G. & Van Leeuwen, R. & Van Den Brom, H. et al., Inter-Laboratory Comparison of Reference Systems for DC Power Quality Measurements, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706676.

Agazar, M. & **Frigo, G.** & Giordano, D. et al., Power Grids and Instrument Transformers up to 150 kHz: A Review of Literature and Standards, in: Sensors (24), doi: 10.3390/s24134148.

Castello, P. & **Frigo, G.** et al., Utilizing Matrix Profile for Enhanced Detection of Events in Sampled Values, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706669.

Elg, A.-P. & **Frigo, G.,** Rietveld, G. et al., High-Voltage Metrology for Electric Energy and Supply Reliability, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646152.

Morato, A. & **Frigo, G.** & Tramarin, F., 5G-Enabled PMU-Based Distributed Measurement Systems: Network Infrastructure Optimization and Scalability Analysis, in: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (73), doi: 10.1109/TIM.2024.3457959.

Morato, A. & **Frigo, G.** & Tramarin, F., Fault simulation in Phasor Measurement Units: A study on system reaction time in a 5G network environment, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101445.

Morato, A. & **Frigo, G.** & Tramarin, F., Packet Losses Distributions in 5G Networks for PMU-Based Monitoring Systems, doi: 10.1109/I2MTC60896.2024.10560554.

G **Guignard, F.** & Ginsbourger, D. & Levy Häner, L. et al., Some combinatorics of data leakage induced by clusters, in: Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (38), doi: 10.1007/s00477-024-02715-1.

H **Hoffmann, J.** & **Morrissey, P.** & **Eckmann, B.** & **Rüfenacht, J.** & **Wollensack, M.** & **Stalder, D.** & **Zeier, M.,** S-Parameters on Printed Circuit Boards for Cryogenic Environment, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10645976.

Hoffmann, J. & **Préville de, S.** & **Eckmann, B.** & **Lin, H.-J.** et al., Comparison of Impedance Matching Networks for Scanning Microwave Microscopy, in: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (73), doi: 10.1109/TIM.2024.3378310.

Callegaro, L. & **Hoffmann, J.** & Huang, N. et al., QuAHMET: Quantum anomalous Hall effect materials and devices for metrology, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101437.

Karpisz, T. & **Hoffmann, J.** & Evans, S. R. et al., On-Wafer Calibration Comparisons of Multiline TRL With Platinum and Gold Conductors, doi: 10.1109/IMS40175.2024.10600255.

Marzano, M. & **Hoffmann, J.** & Huang, N. et al., QuAHMET: Quantum anomalous Hall effect materials and devices for metrology, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10645997.

Husmann, D. & **Zaugg, S.** & **Morel, J.,** Detection and Analysis of Anthropogenic Patterns in a Phase-Stabilized Optical Fiber Network, doi: 10.1109/eftf61992.2024.10722402.

Dromigny, S. & **Husmann, D.** & Fichtner, A. et al., Seismic noise interferometry for phase transmission fibre optics, doi: 10.48550/ARXIV.2410.17768.

Fichtner, A. & **Husmann, D.** & **Morel, J.** et al., An illustrated guide to: Distributed and integrated fibre-optic sensing in seismology, in: Earthquake Science (38), doi: 10.1016/j.eqs.2024.09.006.

Müller, N. & **Husmann, D.** & **Morel, J.** & Fichtner, A. et al., Earthquake source inversion by integrated fiber-optic sensing, in: Seismica (3), doi: 10.26443/seismica.v3i2.1405.

Huu de, M. & Lochbrunner, M. & **Küng, A.** & Maury, R. et al., Dimensional calibration of small critical flow Venturi nozzles, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101539.

Böckler, H.-B. & **Huu de, M.** & Maury, R. et al., Metrology infrastructure for high-pressure gas and liquified hydrogen flows. A brief outline of the MetHyInfra project, measurement challenges, and first results, in: Measurement (232), doi: 10.1016/j.measurement.2024.114675.

Wendel, T. & **Huu de, D. M. D.** et al., Euramet RMO supplementary comparison low pressure air flow between 25 m^3/h and 400 m^3/h, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/07004.

I **Iturrate-Garcia, M.** & **Bühlmann, T.** & **Pascale, C.** et al., Accurate, Stable, and SI-Traceable Reference Gas Mixtures of VOCs Relevant for Climate at Atmospheric Levels, doi: 10.1007/978-3-031-47079-0_41.

Hellén, H. & **Iturrate-Garcia, M.,** Tykkä, T. et al., Measurements of atmospheric C_{10}–C_{15} biogenic volatile organic compounds (BVOCs) with sorbent tubes, in: Atmospheric Measurement Techniques (17), doi: 10.5194/amt-17-315-2024.

Lanza, G. & **Iturrate-García, M.** & Küpferling, M. et al., Establishment of good practices for the usage of machine-actionable core metrological terminology, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101456.

J Haesler, J. & **Jallageas, A.** & **Husmann, D.** & **Morel, J.** et al., Development of a High-Performance and Swiss Based Rolex Timescale System Including a Unique Optical Atomic Clock, doi: 10.1109/EFTF61992.2024.10722272.

K Shang, X. & **Kazemipour, A.** & Gäumann, G. & Hudlička, M. et al., Interlaboratory Comparison of Dielectric Measurements From Microwave to Terahertz Frequencies Using VNA-Based and Optical-Based Methods, in: IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (72), doi: 10.1109/tmtt.2024.3399879.

Shang, X. & **Kazemipour, A.** & Hudlička, M. & Ziade, F. et al., Some Recent Advances in Measurements at Millimeter-Wave and Terahertz Frequencies: Advances in High Frequency Measurements, in: IEEE Microwave Magazine (25), doi: 10.1109/mmm.2023.3321516.

Braccini, S. **Kottler, C.** & **Lüthi, M.** & **Peier, P.** et al., Methodology for measuring photonuclear reaction cross sections with an electron accelerator based on Bayesian analysis, in: Applied Radiation and Isotopes (208), doi: 10.1016/j.apradiso.2024.111275.

Schwerz, C. & **Küng, A.** & Bircher, B. A. et al., Reduction of oxygen content in laser powder bed fusion process atmosphere – Effects on stochastic defect formation and mechanical properties, in: Journal of Materials Research and Technology (30), doi: 10.1016/j.jmrt.2024.04.177.

Schwerz, C. & **Küng, A.** & Riabov, D. et al., Mechanical properties of Hastelloy X produced by laser powder bed fusion and affected by spatter redeposition, in: Journal of Materials Research and Technology (29), doi: 10.1016/j.jmrt.2024.02.150.

L **Lobsiger, S.** & **Umbricht, G.** & **Mallia, S.** & Bilsel, M. et al., PAHs in protein matrix, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/08018.

M Virtanen, V. J. & **Märki, L.** & Galvez, M. E. et al., Sedimentary and metamorphic processes priming black shale for magmatic assimilation of sulfur: an example from the Virginia Formation, Minnesota, United States, in: Mineralium Deposita, doi: 10.1007/s00126-024-01268-1.

Virtanen, V. J. & **Märki, L.** & Galvez, M. E. et al., Publisher Correction to: Sedimentary and metamorphic processes priming black shale for magmatic assimilation of sulfur: an example from the Virginia Formation, Minnesota, United States, in: Mineralium Deposita, doi: 10.1007/s00126-024-01276-1.

Tsiporenko, S. & **Marti, K.,** Bilateral comparison between METAS and Ukrmetrteststandart of mass standards in the range from 1 kg to 10 kg, in: Measurements infrastructure, doi: 10.33955/v7(2024)-056.

Boxman, I. L. & **Moor, D.** & **Butticaz, L.** & Lowther, J. A. et al., An international inter-laboratory study to compare digital PCR with ISO standardized qPCR assays for the detection of norovirus GI and GII in oyster tissue, in: Food Microbiology (120), doi: 10.1016/j.fm.2024.104478.

Edelmann, S. & **Moor, D.** & Lämke, J. et al., Does DNA extraction affect the specificity of a PCR method claiming the specific detectability of a genome-edited plant?, in: GM Crops & Food (15), doi: 10.1080/21645698.2024.2423441.

N Brewer, P. & **Niederhauser, B.** & Norris, J. et al., Guidelines: How to implement the new absorption cross-section for ozone concentration measurements, doi: 10.59161/rapport202403.

Zellweger, C. & **Niederhauser, B.** & Travnicek Wilma & Minkos, A. et al., Change in the value of the UV ozone absorption cross section: Recommendations for metadata provision, doi: 10.59161/rapport202401.

O **Overney, F.** & **Eichenberger, A. L.** & Bauer, S. et al., Longitudinal Impedance Measurements on Graphene QHE Devices, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10645982.

Bauer, S. & **Overney, F.** & **Eichenberger, A. L.** & Kraus, M. et al., Comparison of Josephson Impedance Bridges, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646026.

Marzano, M. & **Overney, F.** & **Eichenberger, A. L.** & Kucera, J. et al., Trilateral Comparison Among Digital and Josephson Impedance Bridges, doi: 10.1109/cpem61406.2024.10646159.

Musioł, K. & **Overney, F.** & Kubiczek, K. et al., Recent Improvements in SUT and METAS 4TP Sampling-Based Digital Impedance Bridges, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646041.

P Subiel, A. & **Peier, P.** & **Frei, F.** & Gomez, F. et al., Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high dose rates, in: Physics in Medicine & Biology (69), doi: 10.1088/1361-6560/ad539d.

Şen, O. & **Pythoud, F.** & Harmon, S. et al., EURAMET.EM.RF-S46 (EURAMET Project No 1538) EURAMET supplementary comparison on magnetic field strength measurements for frequencies up to 30 MHz, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/01010.

R Demierre, A.-L. & **Reinhard, H.** & Zeltner, S. et al., Evaluating the efficiency of the 2020 ban of BPA and BPS in thermal papers in Switzerland, in: Regulatory Toxicology and Pharmacology (146), doi: 10.1016/j.yrtph.2023.105526.

Hammer, T. & **Roos, D.** & **Vasilatou, K.,** & Giechaskiel, B. et al., Influence of soot aerosol properties on the counting efficiency of instruments used for the periodic technical inspection of diesel vehicles, in: Aerosol Research (2), doi: 10.5194/ar-2-261-2024.

S Deschermeier, R. & **Senn, R.** & Šestan, D. & Smorgon, D. et al., Comparison in humidity (dew-point temperature high range) dew point temperature +30 °C to 95 °C, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/03008.

Sparasci, F. & **Senn, R.** & Dobre, M. & Pavlasek, P. et al., EURAMET.T-K9 regional key comparison ITS-90 SPRT calibration from the Ar TP to the Zn FP, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/03005.

Shi, Y. & Ruster, T. & Ho, M. & Karlen, S. & Haesler, J. & Treutlein, P., Broad Instantaneous Bandwidth Microwave Spectrum Analyzer with a Microfabricated Atomic Vapor Cell, in: Physical Review X (14), doi: 10.1103/PhysRevX.14.041043.

Celep, M. & **Stalder, D.** et al., Interlaboratory Comparison of Power Measurements at Millimetre- and Sub-Millimetre-Wave Frequencies, in: Metrology (4), doi: 10.3390/metrology4020017.

T **Tas, E.,** Design, Implementation, and Evaluation of Proficiency Testing in EMC Burst Immunity, in: IEEE Access (12), doi: 10.1109/access.2024.3515655.

Trivanovic, U., Synthesis and dynamics of carbonaceous nanoparticles during enclosed spray combustion, doi: 10.3929/ETHZ-B-000683180.

Trivanovic, U. & Pratsinis, S. E., Opinion: Eliminating aircraft soot emissions, in: Aerosol Research (2), doi: 10.5194/ar-2-207-2024.

Trivanovic, U. & Pratsinis, S. E., Trade-off between soot and NO emissions during enclosed spray combustion of jet fuel, in: Scientific Reports (14), doi: 10.1038/s41598-024-73484-8.

Lizonova, D. & **Trivanovic, U.** & Demokritou, P. et al., Dispersion and Dosimetric Challenges of Hydrophobic Carbon-Based Nanoparticles in In Vitro Cellular Studies, in: Nanomaterials (14), doi: 10.3390/nano14070589.

Kelesidis, G. A. & **Trivanovic, U.** & Pratsinis, S. E. et al., Highlights of Analytical Sciences in Switzerland Division of Analytical Sciences A Division of the Swiss Chemical Society, doi: 10.3929/ETHZ-B-000678429.

Kelesidis, G. A. & **Trivanovic, U.** & Pratsinis, S. E. et al., Towards Elimination of Aircraft Soot Emissions: Highlights of Analytical Sciences in Switzerland, in: CHIMIA (78), doi: 10.2533/chimia.2024.351.

Sipkens, T. A. & **Trivanovic, U.** & Nikookar, H. et al., atems: Analysis tools for TEM images of carbonaceous particles, in: Journal of Open Source Software (9), doi: 10.21105/joss.06416.

V Mayer, A. & **Vasilatou, K.** & Engelmann, D. et al., Nanoparticle Counting for PTI – the Dirty Tail Paradigm, doi: 10.21203/rs.3.rs-5186192/v1.

Sjögren, M. P. & **Vasilatou, K.** & Rissler, J. et al., P21-66 Soot particles induce cellular stress, inflammation and remodelling responses in human respiratory cells over time, in: Toxicology Letters (399), doi: 10.1016/j.toxlet.2024.07.790.

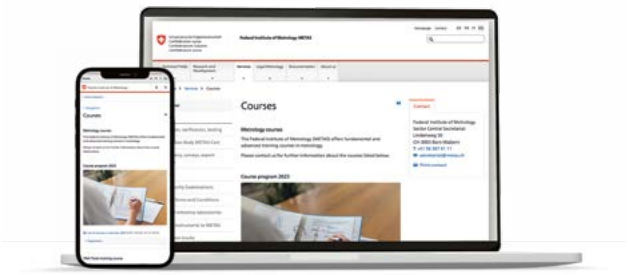
W **Wüthrich, C.** & Guzman, J. T. & Germak, A. et al., Report on the key comparison, CCM.F-K23 in force at 200 N and 500 N, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/07010.

Information, formation continue et cours

Soif de nouvelles connaissances ?

METaspects

La Référence.



www.metas.ch › Documentation › Publications METAS

www.metas.ch › Services › Offre de cours

Retrouvez toutes les publications de METAS sur son site Internet et profitez d'un condensé de connaissances sur l'Institut et la métrologie ainsi que des publications périodiques telles que la revue suisse de métrologie *La Référence.*, les rapports annuels et les *METaspects*.

Institut fédéral de métrologie METAS
Lindenweg 50, 3003 Berne-Wabern, Suisse
www.metas.ch

Édition no 860575123