

# Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #75 II AVRIL 2022

FOCUS

## DU CARBURANT POUR LA SCIENCE

COLLECTE DE FONDS : DE NOUVELLES VOIES  
MATÉRIAUX POUR ORDINATEURS QUANTIQUES  
ZÉRO NET SUR LE CAMPUS DE L'EMPA

## [ CONTENT ]

[ FOCUS : PROMOTION DE LA RECHERCHE ]



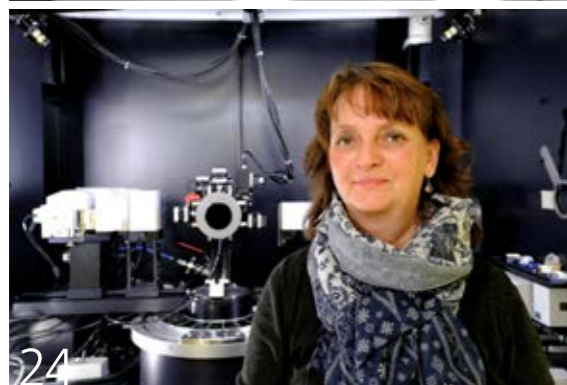
12



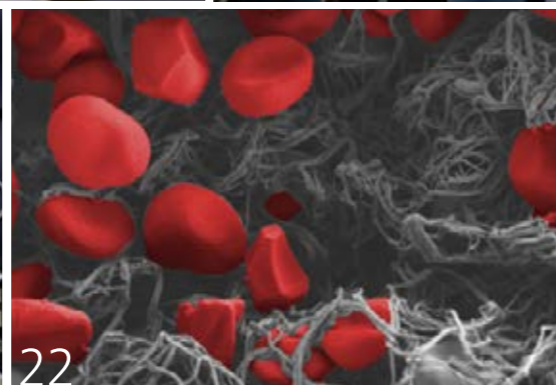
28



32



24



22

## [ FOCUS ]

**12 CARBOQUANT**  
Le carbone magnétique pour les ordinateurs quantiques

**16 PROMOTION**  
La Fondation Werner-Siemens finance un projet de recherche

**19 ZUKUNFTSFONDS**  
Quels sont les projets de l'Empa pour lesquels il vaut la peine de faire un don

## [ THÈMES ]

**08 CHANGEMENT CLIMATIQUE**  
La stratégie CO<sub>2</sub> de l'Empa expliquée par Peter Richner

**22 DIAGNOSTIC**  
Mieux détecter les caillots sanguins

**24 RECHERCHE SPATIALE**  
Des verres métalliques en apesanteur

**28 CONSTRUCTION EN BOIS**  
Les trous noirs comme pièges à bruit

**32 PORTRAIT**  
Ivan Lunati calcule la réalité

**36 EFFICACITÉ**  
Les centres de données chauffent le quartier

## [ SECTIONS ]

**04 LA PHOTO**

**06 EN BREF**

**21 ZUKUNFTSFONDS**

**40 EN ROUTE**

## [ COUVERCLE ]



Le groupe de recherche « nanotech@surfaces » de l'Empa étudie les structures de carbone qui pourraient convenir à l'architecture des ordinateurs quantiques. Ces molécules spéciales sont étudiées sur des surfaces d'or au microscope à effet tunnel – et y sont souvent aussi synthétisées.  
Graphique : Empa

## [ IMPRESSUM ]

**ÉDITEUR :** Empa  
Überlandstrasse 129  
8600 Dübendorf, Schweiz  
www.empa.ch  
**RÉDACTION :** Empa Kommunikation  
**DIRECTION ARTISTIQUE :**  
PAUL AND CAT.  
www.paul-and-cat.com  
**CONTACT :** Tel. +41 58 765 47 33  
empaquarterly@empa.ch  
www.empaquarterly.ch  
**PUBLICATION :**  
publié quatre fois par an



ISSN 2673-1746  
Empa Quarterly (édition française)

## UN JEU DE CHIFFRES

Chère lectrice,  
cher lecteur,



Ce qui a donné à beaucoup d'entre nous notre premier sentiment d'accomplissement à l'école, outre la lecture – pour certains plus, pour d'autres moins, – est aussi omniprésent à l'Empa : les chiffres et les nombres. Les formules mathématiques et les calculs informatiques sont indispensables pour comprendre des phénomènes d'écoulement complexes ou pour développer de nouveaux matériaux aérogels permettant de capter le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère (p. 32).

Dans le même ordre d'idées, notre nouvelle initiative de recherche CO<sub>2</sub>UNTdown (p. 8), qui a déjà un nom de comptage, consiste à additionner les émissions de CO<sub>2</sub> et les puits. Son objectif est de développer des processus neutres en CO<sub>2</sub>. Ces procédés sont indispensables si la Suisse veut atteindre l'objectif du « net zéro » d'ici 2050. En effet, malgré les progrès technologiques, nous ne parviendrons pas à rendre tous les procédés techniques neutres en CO<sub>2</sub>.

En définitive, les chiffres sont également au cœur de la finance. En matière de financement de la recherche, nous avons récemment décidé d'innover et de solliciter activement des soutiens, car nos chercheurs ont tout simplement trop de bonnes idées et, malgré un solide financement de base, nous ne pouvons pas toutes les financer (à partir de la page 12). Entre-temps, notre « Zukunftsfonds » a pris de la vitesse, avec succès, pourrait-on dire. Nous rendrons régulièrement compte de nos activités de collecte de fonds dans les prochaines éditions de l'Empa Quarterly.

Bonne lecture!  
Votre MICHAEL HAGMANN



**DES SPLENDEURS FLORALES SORTIES DU LABORATOIRE**

Avec son installation accessible « Buddhaverse », l'artiste new-yorkaise Sonia Li a créé aussi un jardin de fleurs artificiel dans lequel sont également intégrées deux technologies de l'Empa issues du laboratoire « Advanced Fibers » : un gazon artificiel en fibres bicomposantes avec un noyau en polyamide et un film polymère recyclé qui a été recouvert d'une couche nano-métallique conductrice dans l'installation de revêtement plasma de l'Empa. Des motifs floraux ont été découpés au laser dans le film, ce qui leur donne des reflets multicolores sous la lumière UV de l'installation. Selon l'artiste, la conductivité du nano-revêtement servira, lors d'un développement ultérieur de l'œuvre, à créer un espace avec des expériences multi-sensorielles interactives. Sonia Li a bénéficié du soutien de la « TaDA Textile and Design Alliance » au cours de la dernière période de financement. L'installation temporaire a servi de conclusion à sa résidence. TaDA encourage les travaux interdisciplinaires d'artistes du monde entier qui associent l'art contemporain à l'innovation et tradition textile de Suisse orientale.

Plus d'informations ici :  
[www.empa.ch/web/s402/nanocoatings](http://www.empa.ch/web/s402/nanocoatings)  
[www.sonialidesigns.com/](http://www.sonialidesigns.com/)

## COUVERTURE RÉFRIGÉRANTE AU CHARBON



### SOLUTION LOW TECH

En septembre dernier, l'équipe a testé la couverture réfrigérante pendant deux jours sur le site de l'Empa. La « chambre froide » mesure environ 1,5 mètre de long et 1 mètre de large ; elle contenait des pommes comme fruits d'essai dans une caisse.

Dans les pays en développement, le stockage des produits agricoles est souvent difficile : la chaleur et la sécheresse font que les fruits ou les légumes s'abîment rapidement – un problème notamment pour les petits agriculteurs qui n'ont pas les moyens d'acheter des appareils de refroidissement ou qui n'ont pas accès à l'électricité. Une « couverture réfrigérante » du laboratoire Empa pour les membranes et textiles biomimétiques à Saint-Gall pourrait y remédier. Elle exploite le froid qui se produit lors de l'évaporation de l'eau – à l'aide d'un matériau bon marché et disponible partout : le charbon de bois peut absorber beaucoup d'eau grâce à sa grande porosité et permet ainsi une évaporation efficace. Pour utiliser le charbon, les chercheurs ont construit leur couverture avec des tubes verticaux qui sont remplis de petits morceaux de charbon. Ils créent ainsi des « murs » autoportants et malléables qui sont arrosés d'eau – et l'évaporation refroidit la pièce à l'intérieur. Lors d'analyses en laboratoire, la température a baissé d'environ cinq degrés dans un environnement modérément humide. Dans un climat plus sec et plus chaud, les chercheurs estiment qu'elle pourrait baisser de dix degrés ou plus. Parallèlement, l'humidité de l'air à l'intérieur a nettement augmenté – une protection naturelle contre le flétrissement. Forts de ces expériences, les spécialistes veulent maintenant développer une installation pilote et la tester en Afrique ou en Asie. Parallèlement, ils travaillent sur un modèle commercial qui devrait faciliter l'introduction de la technologie pour les petits agriculteurs.

[www.empa.ch/web/simbiosys/charcoal-cooling-blanket](http://www.empa.ch/web/simbiosys/charcoal-cooling-blanket)

Photo: Empa



## LE PREMIER FORUM SUR L'HYDROGÈNE EN SUISSE

Avec la première Powerfuel Week du 14.05. au 22.05.2022, un tout nouveau concept de manifestation verra le jour au Musée Suisse des Transports à Lucerne, avec une conférence, un salon professionnel et une manifestation publique. On y présentera des projets, on y fera avancer les innovations et on y soutiendra le marché. Parallèlement, les visiteurs du Musée des Transports découvriront l'hydrogène en tant qu'élément essentiel sur la voie de la réalisation des objectifs climatiques. Une série de conférences dans le cadre de la Powerfuel Conference du 16.05 au 18.05.2022 complète le programme d'information.

[www.powerfuel.ch](http://www.powerfuel.ch)

## UN DRONE QUI PEUT CHANGER DE FORME



### SOLUTION HIGH TECH

Mirko Kovac est directeur du « Materials and Technology Center of Robotics » de l'Empa et directeur de l'« Aerial Robotics Laboratory » de l'« Imperial College London ».

Mirko Kovac a obtenu l'un des très convoités «ERC Consolidator Grants» dans le cadre « d'Horizon Europe », le principal programme de financement de l'UE pour la recherche et l'innovation. Mirko Kovac, qui fait de la recherche aussi bien à l'Empa qu'à « l'Imperial College London », développe des drones à métamorphose destinés à être utilisés dans des régions aux conditions environnementales complexes, comme l'Arctique. «Les robots volants peuvent déjà observer l'environnement depuis les airs, mais ils ne peuvent pas se déplacer sous l'eau ou à la surface de l'eau pour collecter de précieuses données environnementales », explique Mirko Kovac, ajoutant qu'il existe certes quelques véhicules bimodaux air/eau, mais qu'aucun n'a encore pu faire la démonstration d'un cycle complet d'utilisation, y compris d'un déplacement efficace sur le plan énergétique dans les airs, dans l'eau et à la surface de l'eau. Avec le « ProteusDrone », l'expert en robotique souhaite désormais résoudre ce problème.

[www.empa.ch/web/s604/proteus-drone](http://www.empa.ch/web/s604/proteus-drone)

Photos: Imperial College London, QIZ

# « LE CO<sub>2</sub> DOIT ÊTRE PAYÉ À SON JUSTE PRIX »

L'Empa travaille intensivement à des solutions pour les objectifs climatiques et commence à les atteindre à sa propre porte. Le nouveau campus de recherche « co-operate », actuellement en construction, sera résolument orienté vers la minimisation des émissions de gaz à effet de serre – grâce à la haute technologie et en compensant le moins possible par des certificats. En outre, l'Empa lance une initiative de recherche visant à développer des procédés négatifs en termes de CO<sub>2</sub> et à les mettre rapidement en œuvre.

Entretien : Norbert Raabe

Les visiteurs du site de l'Empa et de l'Eawag découvrent aujourd'hui un grand chantier : Le nouveau campus de recherche, avec le futur bâtiment des laboratoires au centre, s'élève rapidement. Mais les installations souterraines offrent également des perspectives intéressantes. 144 sondes géothermiques, qui atteignent jusqu'à 100 mètres de profondeur, fourniront de la chaleur au cours des prochains hivers – une technologie innovante qui, en tant que projet pilote, devrait également apporter de nouvelles connaissances. Pour l'Empa, ce n'est bien sûr qu'un début. Le photovoltaïque sera encore développé sur le campus; la part du biogaz devrait augmenter. Des régulations intelligentes des réseaux électriques et thermiques ainsi qu'une exploitation automatisée des bâtiments doivent permettre de réduire encore la consommation d'énergies fossiles. Les connaissances acquises dans le cadre de l'objectif d'une exploitation à zéro émission serviront ensuite à de nombreux autres projets de bâtiments. Pour atteindre les objectifs climatiques de la Suisse d'ici 2050, il ne suffira pas d'électrifier les voitures, de réduire les émissions des entreprises industrielles et d'optimiser d'autres domaines – même alors, de grandes quantités de gaz à effet de

serre continueront d'être émises, par exemple par la branche des animaux de rente dans l'agriculture. Pour atteindre l'objectif du « zéro net », il faut donc des technologies présentant un bilan négatif en matière de gaz à effet de serre. Et pour cela, les procédés de captage et de stockage du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'air doivent devenir nettement plus efficaces. Les aérogels, sur lesquels les chercheurs de l'Empa se penchent depuis des années, et la possibilité de transformer le CO<sub>2</sub> en matériaux de construction sont porteurs d'espoir. Idées, espoirs, défis : Peter Richner, cofondateur de NEST et directeur adjoint, explique dans une interview comment l'Empa se concentre sur les objectifs climatiques.

**Peter Richner, le nouveau campus de l'Empa et de l'Eawag prend forme. Si vous aviez un souhait pour son avenir : Quel serait-il ?**

Ce serait vraiment que notre accumulateur de chaleur saisonnier, que nous venons de construire, ait les capacités que nous imaginons. Nous pourrions ainsi réussir à transférer des quantités significatives de chaleur perdue de l'été vers l'hiver, afin de couvrir les pointes de besoins énergétiques en hiver.

**D'ici 2024, les émissions de CO<sub>2</sub> du campus de l'Empa devraient avoir diminué de près de trois quarts par rapport à 2006. Pour cela, il est prévu d'utiliser davantage de biogaz; le photovoltaïque sera développé ... – que prévoyez-vous encore ?**

Nous sommes une entreprise très gourmande en énergie; il y a toujours un grand potentiel d'optimisation. Pour économiser l'énergie de chauffage, une expérience est par exemple en cours en ce moment dans notre bâtiment administratif : nous essayons de mettre en œuvre la technologie de la spin-off de l'Empa « viboo », qui vient du département « Urban Energy Systems ». Mais j'ai aussi le sentiment que nous avons encore du potentiel du côté de l'entreprise de recherche avec ses expériences, parce qu'il y a comparativement peu de sensibilité à la quantité d'énergie que nous consommons en fait lors de nos expériences.

**Plus concrètement ?**

Les installations de recherche doivent-elles fonctionner 24 heures sur 24, sept jours sur sept ? Dans le cas des salles climatisées, il est clair que plus on règle le climat cible avec précision –



Photo : Felix Wey / Empa

**DES PROJETS AMBITIEUX**  
Peter Richner sur le chantier du futur campus de l'Empa – devant le bâtiment expérimental NEST, qui servira également à l'avenir de laboratoire d'essai pour la construction respectueuse du climat.



**RECYCLER AVEC STYLE**

Peter Richer devant une cloison de séparation au NEST, construite avec des livres spécialisés et des revues usagés.

**PETER RICHNER**

**PARCOURS** Après des études de chimie et une thèse de doctorat à l'EPF de Zurich, Peter Richner a fait des recherches sur la spectrométrie de masse à plasma à l'« Indiana University » (États-Unis) et est arrivé à l'Empa en 1990.

**SCIENCE** A partir de 1995, il a été responsable du département « Corrosion/Protection des surfaces » et a pris la tête du département « Sciences de l'ingénieur » en 2002. Il est responsable du pôle de recherche « Energie » et est cofondateur du bâtiment expérimental NEST, qui a ouvert ses portes en 2016.

Oui, le secteur de la construction en Suisse joue un rôle central avec sa consommation de matériaux et son chiffre d'affaires en ressources, qui sont liés à des émissions élevées de CO<sub>2</sub>. Dans l'entreprise également : nous avons encore beaucoup de systèmes de chauffage fossiles. Et nous devons changer ces proportions. Si la construction ne prend pas le virage, la Suisse ne le prendra pas non plus. C'est clair.

**Quels sont pour vous les favoris parmi les technologies d'avenir ?**

Il y a en principe deux possibilités de gérer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère : On peut essayer de le stocker sous terre et espérer qu'il y reste sous forme de gaz ou qu'il soit minéralisé – certaines formations rocheuses ont le potentiel pour cela. Ou bien on dit : non j'essaie de transformer ce CO<sub>2</sub> en un matériau qui peut se substituer à d'autres matériaux. Et si l'on veut vraiment utiliser des millions de tonnes de matériaux pour obtenir un véritable effet en termes d'émissions négatives, cela ne peut être que dans le secteur de la construction, car c'est lui qui trans-

forme les plus grandes quantités de matière. Et dans le secteur de la construction, le béton est le matériau le plus important, puis l'asphalte et peut-être aussi les matériaux d'isolation – c'est là que nous avons de grands puits potentiels.

**Des ciments à base de magnésium négatifs en CO<sub>2</sub> font déjà l'objet de recherches et de développements à l'Empa ...**

C'est un ciment qui peut devenir négatif en absorbant du CO<sub>2</sub>. Mais je vois aussi un grand potentiel si nous pouvons remplacer les agrégats pour le béton ou l'asphalte – sable, gravier, gravier concassé – par des matériaux à base de carbone qui trouvent leur origine dans le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Mais la principale difficulté est là : nous devons d'abord « capturer » efficacement ce gaz dans l'atmosphère.

**L'Empa travaille depuis longtemps sur des aérogels extrêmement poreux qui pourraient également aider à de telles technologies. Où en est-on actuellement ?**

Nous en sommes à un stade précoce. Les aérogels conviennent parce qu'avec leurs nombreux pores, ils ont une très, très grande surface spécifique – comme une éponge – qui est nécessaire pour l'interaction avec le gaz. Et il faut modifier cette surface de manière à ce que le CO<sub>2</sub> soit absorbé, mais qu'il puisse aussi être désorbé plus tard – en forte concentration. Grâce à la modélisation, nous essayons de déterminer à quoi doit ressembler la structure des pores pour que cette interaction ait lieu. Et bien sûr : comment pouvons-nous modifier chimiquement la surface de manière à ce qu'une molécule, lors qu'elle la rencontre, y adhère et réagisse.

**Des voix sceptiques expriment régulièrement que le « zéro net » ne pourra**

**BELOW ZERO**

La vision « Below Zero » fait partie de l'initiative de recherche « CO<sub>2</sub>UNTDOWN » de l'Empa. Elle vise à concentrer et à mettre à profit l'expertise des chercheurs dans la lutte contre le changement climatique. Dans le cadre de « Below Zero », l'accent est d'abord mis sur le développement de nouveaux matériaux, suivi de leur mise à l'échelle et de leur mise en œuvre jusqu'à des projets pilotes et de démonstration – sur le nouveau campus de l'Empa, par exemple dans le bâtiment d'expérimentation et de démonstration NEST. Cela se fera à partir de deux ans environ après le début, en coopé-

ration avec des partenaires de l'industrie, qui seront également impliqués dans l'évaluation des nouvelles solutions – en vue d'une utilisation pratique dans le secteur de la construction.

**DÉVELOPPEMENT DU PATRIMOINE CONSTRUIT EN SUISSE**

L'ensemble du parc immobilier suisse est aussi complexe que les défis qu'il devra relever à l'avenir. Un groupe d'experts a lancé une initiative pour une vue d'ensemble – pour un nouvel élan dans la recherche et la pratique. <https://www.empa.ch/web/empa/entwicklung-bauwerk-schweiz>

**pas être atteint d'ici 2050 malgré de nombreux efforts. Comment pouvez-vous accélérer le processus d'introduction de nouvelles idées dans la pratique de la construction ?**

Nous devons d'abord montrer qu'il existe des solutions réalisables. Et puis, bien sûr, vient très vite la question des coûts : il est absolument crucial que le CO<sub>2</sub> obtienne un prix équitable. Tant que nous aurons des secteurs dans notre économie qui peuvent émettre du CO<sub>2</sub> pratiquement gratuitement, il sera extrêmement difficile d'y établir des solutions neutres en CO<sub>2</sub>. Nous le voyons également en Suisse : selon que vous émettez du CO<sub>2</sub> à partir de mazout, de diesel dans un véhicule ou de kérosène dans un avion, les taxes sont très différentes, voire inexistantes. La politique doit veiller à ce que tous les acteurs soient sur un pied d'égalité, car l'origine de la molécule de CO<sub>2</sub> n'a aucune importance pour le climat.

**Des objectifs ambitieux comme ceux de l'Empa nécessitent donc aussi un soutien. Si vous aviez un souhait à formuler au monde politique : Que serait-il ?**

On discute actuellement d'une nouvelle loi sur le CO<sub>2</sub> ; les avis divergent fortement. Il y a une école de pensée qui dit : la première loi a été rejetée parce que les gens ne veulent pas plus de taxes – il ne devrait donc pas y avoir de taxes supplémentaires dans le nouveau projet. Mais la question est alors de savoir comment faire bouger les choses. J'ai plutôt tendance à penser que, quelle que soit la source d'émission des gaz à effet de serre, chaque molécule doit être taxée ou soumise à une taxe en fonction de son effet. Mais cette taxe devrait être redistribuée à 100 % dans le sens d'une taxe d'incitation.

**En l'état actuel des connaissances, pensez-vous que la Suisse atteindra le zéro net d'ici 2050 ?**

Si nous le voulons, nous y arriverons. Il s'agit uniquement de savoir si nous le voulons – uniquement de cela. ■

par exemple plus ou moins 0,5 degré Celsius et plus ou moins 2 pour cent d'humidité relative – plus on a besoin d'énergie. Et la question est la suivante : n'y a-t-il pas aussi des moments et des expériences où nous pouvons vivre avec plus de variations ? Cela aurait tout de suite une influence très positive sur nos besoins en énergie. Je pense que ce sont des choses que nous n'avons pas encore assez regardées.

**A l'avenir, le campus de l'Empa sera donc un « chantier climatique » – avec des défis qui s'appliquent aussi à la Suisse. Dans la production de ciment, les émissions de gaz à effet de serre sont, dans un avenir prévisible, aussi inévitables que dans l'agriculture. L'Empa lance maintenant le projet « Below Zero » sur quatre ans. De quoi s'agit-il ?**

Nous devons bien sûr réduire ou empêcher les émissions. Mais nous voyons aussi que, comme nous avons réagi beaucoup trop tard et trop lentement au changement climatique en tant que communauté internationale, nous allons, bon gré mal gré, dépasser les objectifs d'émissions de CO<sub>2</sub> des accords internationaux qui permettraient de limiter le réchauffement de la planète à 1,5 ou 2 degrés. Cela signifie que nous devons développer des technologies permettant de faire baisser la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Et nous regroupons ces technologies négatives sous le mot-clé « Below Zero » – et l'initiative de recherche correspondante sous le nom de « CO<sub>2</sub>UNTDOWN ».

**Et c'est justement le secteur de la construction que vous considérez comme le levier le plus efficace ...**

Photo : Felix Wey / Empa

Plus d'informations ici : [www.empa.ch/web/empa/engineering-sciences](https://www.empa.ch/web/empa/engineering-sciences)

# DES SAUTS QUANTIQUES POUR LES ORDINATEURS

Douze ans de travaux préparatoires portent désormais leurs fruits – des chercheurs de l'Empa ont développé des matériaux spéciaux en carbone aux propriétés électroniques et magnétiques tout à fait étonnantes et jusqu'ici inégalées, qui pourraient servir à la construction d'ordinateurs quantiques. Une contribution de la Fondation Werner Siemens à hauteur de plusieurs millions pour les dix prochaines années permet désormais d'envisager ce projet visionnaire sur un horizon de recherche inhabituellement long, ce qui augmente considérablement les perspectives de succès.

Texte: Rainer Klose



## RECHERCHE DE POINTE

Graphique d'une chaîne de spin quantique de triangulène, qui est adsorbée sur une surface d'or et examinée avec la pointe acérée d'un microscope à effet tunnel. Ces structures de carbone sur mesure présentent des effets quantiques stables, même à température ambiante, et peuvent être manipulées. Cela pourrait être la solution miracle pour la construction d'ordinateurs quantiques entièrement nouveaux.

Une contribution financière exceptionnellement importante va permettre à une équipe de chercheurs de l'Empa de travailler de manière particulièrement ciblée sur un projet ambitieux au cours des prochaines années : La Fondation Werner Siemens (WSS) soutient à hauteur de 15 millions de francs le projet « Carbo-Quant » de l'Empa. Ce projet doit permettre de jeter les bases de nouvelles technologies quantiques qui peuvent même fonctionner à température ambiante – contrairement aux technologies actuelles qui nécessitent pour la plupart un refroidissement jusqu'à des températures proches du zéro absolu. « Avec ce projet, nous osons faire un grand pas dans l'inconnu », explique Oliver Gröning, coordi-

nateur du projet. « Grâce au partenariat avec la Fondation Werner Siemens, nous pouvons désormais nous éloigner nettement plus de la rive sûre des connaissances existantes, ce que nous ne pourrions pas faire dans le quotidien 'normal' des chercheurs. Nous nous sentons un peu comme Christophe Colomb et cherchons maintenant au-delà de l'horizon quelque chose de complètement nouveau ».

Douze années de recherche intensive ont précédé l'expédition vers l'inconnu que les chercheurs de l'Empa Pascal Ruffieux, Oliver Gröning et Gabriela Borin-Barin entreprennent maintenant sous la direction de Roman Fasel. Les travaux du laboratoire « nanotech@surfaces » de l'Empa dirigé par Roman Fasel ont régulièrement donné lieu à des

publications dans des revues scientifiques renommées telles que « Nature », « Science » et « Angewandte Chemie ».

En 2010, l'équipe avait synthétisé pour la première fois des bandes de graphène, appelées nanorubans, à partir de molécules chimiques précurseurs plus petites. Grâce à leur nouvelle approche de synthèse, les chercheurs de l'Empa sont aujourd'hui en mesure de produire des nanomatériaux à base de carbone avec une précision atomique et de définir ainsi avec précision leurs propriétés quantiques. Le graphène est considéré comme un matériau de construction possible pour les ordinateurs du futur ; il est composé de carbone et ressemble au graphite, un matériau connu. Le matériau a une épaisseur d'à peine

une couche atomique et promet des architectures informatiques plus rapides et plus performantes que les matériaux semi-conducteurs connus aujourd'hui. En 2017 déjà, l'équipe de chercheurs avait construit le premier transistor en nanorubans de graphène en collaboration avec des collègues de l'« University of California » à Berkeley et publié le résultat dans « Nature Communications ».

## UN PREMIER JALON : LE CARBONE MAGNÉTIQUE

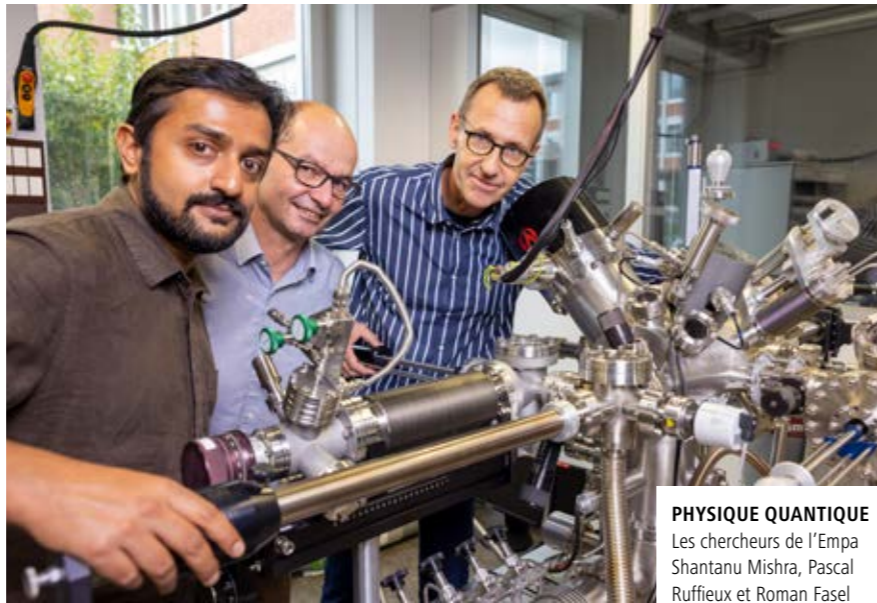
Mais les chercheurs ont ensuite réalisé un effet qui n'avait été prédit que théoriquement jusqu'à présent et qui semblait encore beaucoup plus intéressant : Leurs minuscules nanomatériaux de carbone taillés sur mesure présentaient des propriétés de magnétisme. ►

### FONDATION WERNER SIEMENS (WSS)

La Fondation Werner Siemens (WSS) a été créée en 1923 à Schaffhouse par Charlotte von Buxhoeveden et Marie von Graevenitz née Siemens, les filles de Carl von Siemens, qui avait créé avec son frère Werner von Siemens le futur groupe Siemens. Les deux fondatrices ont été rejointes plus tard par d'autres membres de la famille en tant que donateurs. La Fondation Werner Siemens, domiciliée en Suisse, encourage, dans sa partie philanthropique, des innovations exceptionnelles et la relève talentueuse dans les domaines de la technique et des sciences naturelles.

En 2020, ils ont fait état pour la première fois dans la revue spécialisée « Nature Nanotechnology » de l'effet qu'ils avaient découvert – et en octobre 2021, ils ont présenté une représentation plus affinée : À l'aide de leurs minuscules nanomatériaux de carbone, ils avaient alors démontré pour la première fois un effet physique prédit près de 40 ans auparavant par le futur prix Nobel de physique F.D.M. Haldane : le fractionnement de spin. Ce fractionnement ne se forme que si de nombreux spins (c'est-à-dire des aimants quantiques fondamentaux) peuvent être placés dans une superposition quantique cohérente commune. Les chercheurs de l'Empa y sont parvenus dans leurs chaînes moléculaires synthétisées avec précision.

C'est sur ces effets de spin particuliers dans les nanorubans de graphène que « CarboQuant » doit maintenant se baser. Oliver Gröning : « Jusqu'à présent, nous voyons des états de spin à des endroits très précis des nanorubans de graphène, que nous pouvons construire et détecter de manière ciblée. La prochaine étape consistera à contrôler de manière ciblée



#### PHYSIQUE QUANTIQUE

Les chercheurs de l'Empa Shantanu Mishra, Pascal Ruffieux et Roman Fasel (de gauche à droite) devant un système à ultravide pour la production de molécules de carbone magnétiques.



#### TRAVAIL D'ÉQUIPE

Ci-dessus : Roman Fasel, responsable du laboratoire de l'Empa « nanotech@surfaces », se tient dans son laboratoire derrière un microscope à effet tunnel. En bas : Oliver Gröning, scientifique à l'Empa, coordonne le projet CarboQuant.



ces états de spin, par exemple à inverser le spin à une extrémité du nanoruban et à produire une réaction correspondante à l'autre extrémité». Les chercheurs de l'Empa auraient ainsi entre les mains quelque chose de très particulier : un effet quantique qui est stable et peut être manipulé même à température ambiante ou à un refroidissement modéré. Cela pourrait être une voie royale pour construire des ordinateurs quantiques d'un tout nouveau genre.

#### UN 0 ET UN 1 EN MÊME TEMPS

Mais pourquoi les ordinateurs quantiques peuvent-ils calculer plus rapidement que les ordinateurs classiques ? Les ordinateurs classiques calculent en bits. Chaque composant peut présenter l'un des deux états possibles : 0 ou 1. Dans le monde quantique, en revanche, ces états peuvent se superposer : il est possible d'avoir 0 ou 1, ou les deux états en même temps. C'est pourquoi les circuits d'un ordinateur quantique, appelés qubits, peuvent effectuer non seulement une opération de calcul après l'autre, mais plusieurs simultanément. Oliver Gröning se réjouit déjà de l'expérience : « Si nous parvenons à contrôler les états de spin dans nos nanorubans, nous pourrions les utiliser pour des composants électroniques quantiques ».

Tandis qu'une partie de l'équipe continue d'étudier les effets de spin dans le vide poussé, une autre partie de l'équipe doit s'occuper de l'aptitude à l'utilisation quotidienne des nanorubans de graphène. « Nous devons sortir les composants de l'incubateur protégé du vide et les préparer de manière à ce qu'ils ne se désintègrent pas non plus dans notre monde, c'est-à-dire au contact de l'air et de la chaleur. Ce n'est qu'alors que nous pourrions munir les nanorubans de contacts – ce qui est la condition préalable à des appli-

cations utilisables sans infrastructure coûteuse », explique Oliver Gröning.

#### RAYONNEMENT HAUTE FRÉQUENCE

L'entrée dans ce monde nouveau et inconnu sera malgré tout très exigeante. Déjà pour la première des étapes de recherche à venir, le contrôle et la mesure résolue en temps des états de spin, un tout nouveau parc d'appareils est nécessaire, que les chercheurs vont développer et mettre en place. « Nous devons étendre le microscope à balayage à effet tunnel (STM de l'anglais 'Scanning Tunneling Microscopy'), dans lequel nous fabriquons les nanorubans et observons leur structure, avec des mesures ultra-rapides des propriétés électroniques et magnétiques », explique Oliver Gröning. Cela peut se faire par des signaux électriques à haute fréquence dans des champs magnétiques élevés et par irradiation avec des impulsions laser très courtes et extrêmement intenses.

Pour ce faire, l'Empa met en place deux nouveaux systèmes de mesure qui joueront également un rôle clé dans d'autres projets de recherche de l'équipe et qui sont cofinancés par le Fonds national suisse (FNS) et le Conseil européen de la recherche (ERC). « Cela montre, d'une part », explique Oliver Gröning, « que des synergies naissent toujours de différents projets et, d'autre part, que des objectifs ambitieux ne peuvent être atteints qu'avec le soutien de différents acteurs à plusieurs niveaux ». Rien que pour la mise en place de ces nouveaux appareils d'analyse et pour les premiers tests, les chercheurs prévoient deux à trois ans.

#### UN PROJET TRÈS PARTICULIER

Grâce à ce financement généreux et à long terme, « CarboQuant » est désormais un projet très particulier, déclare Oliver Gröning. L'équipe de chercheurs du laboratoire « nanotech@surfaces »

### FONDS POUR L'AVENIR – FAIRE DE LA RECHERCHE POUR LE MONDE DE DEMAIN

Des projets de recherche comme « CarboQuant » promettent d'énormes progrès, mais sont toujours susceptibles d'échouer. Le Fonds Empa pour l'avenir s'est fixé pour objectif de soutenir de tels projets exceptionnellement risqués et en même temps particulièrement prometteurs en acquérant des contributions d'encouragement de fondations et des dons de personnes privées. Si vous êtes intéressé à soutenir le Fonds Empa pour l'avenir, vous trouverez de plus amples informations sur :

<https://www.empa.ch/web/zukunftsfonds>

de l'Empa dispose désormais d'une liberté de conception exceptionnellement grande et durable pour atteindre son objectif de recherche ambitieux : un matériau de construction possible pour les ordinateurs quantiques de la prochaine génération. « Nous ne voyons certes pas encore l'île qui pourrait se trouver là-bas. Mais nous la devinons, et s'il y a quelque chose là-bas, nous sommes persuadés que nous le trouverons grâce au soutien de la Fondation Werner Siemens et de nos partenaires de recherche nationaux et internationaux », conclut Oliver Gröning. ■



# NOUS CHERCHONS DES PROJETS DANS LA « VALLÉE DE LA MORT »



**DÉCIDEUR**  
Hubert Keiber détermine avec ses collègues du comité de direction l'attribution des subventions.

Hubert Keiber, président du conseil de la Fondation Werner Siemens, décrit les raisons pour lesquelles le comité a décidé de verser des subventions à hauteur de 15 millions de francs à l'Empa.

Entretien: Michael Hagmann

## Quelle a été votre première pensée lorsque vous avez entendu parler du projet CarboQuant ?

Le projet m'est parvenu par l'intermédiaire de notre conseil scientifique, qui me l'a recommandé – ou plutôt au conseil de la fondation – comme digne d'être soutenu. Et lorsque la demande est arrivée sur mon bureau, je me suis dit – avant même de l'avoir lue – « OK, le graphène, il y a eu un prix Nobel pour ça; mais qu'est-ce qu'on veut faire de nouveau, les thèmes sont déjà largement connus et traités. Quel est l'intérêt de ce projet? » Ce qui est passionnant dans le projet, c'est qu'il s'agit de la géométrie de ces nouveaux matériaux à base de graphène, que l'on peut « ajuster » les propriétés électriques et magnétiques du graphène par le biais de sa géométrie – et cela va bien au-delà de ce que l'on connaissait jusqu'à présent. C'est la forme qui détermine la fonction, et non la chimie – c'est donc une toute nouvelle façon de penser. Cela m'a vraiment impressionné. C'est pourquoi nous avons invité Roman Fasel, Oliver et Pierangelo Gröning à nous présenter le projet plus en détail.

## À quoi faites-vous attention en premier lieu lorsque vous évaluez un projet ?

Nous nous intéressons avant tout aux protagonistes, à l'équipe, et nous nous demandons s'ils sont réellement capables de réaliser le projet, si nous leur faisons vraiment confiance? Comment agissent-ils lors de la présentation, est-ce un « one-man-show », l'un parle-t-il tout le temps pendant que les autres restent assis à écouter, ou travaillent-ils ensemble? Si ce sont plutôt des combattants solitaires, cela nous pose déjà un problème. Nous recherchons des projets hautement interdisciplinaires, ce qui est plutôt difficile pour une personne seule. Cela signifie que le jeu d'équipe

est très important pour nous. Comment fonctionnent-ils en équipe, y a-t-il une bonne alchimie entre eux? Si ce n'est pas le cas, nous refuserions dans un cas extrême un projet scientifiquement excellent – et nous l'avons déjà fait.

## Avec l'équipe CarboQuant, l'alchimie semble avoir fonctionné.

C'était une présentation comme nous l'imaginions. Ce n'était pas comme si l'un d'entre eux avait le pouvoir de décision et que les autres devaient appliquer ce que disait le chef. Ils se sont littéralement passés la balle. Il y avait trois têtes, et chacun avait son propre avis – et c'est exactement ce qu'il faut pour un projet aussi ambitieux. Il faut qu'il y ait des discussions, des frictions, pour aller de l'avant. C'est ce qui nous a convaincus.

Conformément à l'objectif de la fondation, la Werner Siemens-Stiftung soutient des projets de recherche exceptionnels et innovants dans le but de pouvoir utiliser ultérieurement les innovations qui en résultent à des fins industrielles. Vous soutenez par exemple un scalpel laser robotisé pour des interventions mini-invasives ou des médicaments antiviraux. Quel est le lien entre CarboQuant et la physique quantique?

Tout d'abord, nous avons déjà refusé des projets dans le domaine des ordinateurs quantiques par le passé. Dans ce domaine, on fait aujourd'hui encore beaucoup de recherche fondamentale pure – et ce n'est explicitement pas notre sujet. Mais nous n'encourageons pas non plus les projets selon la devise « plus vite, plus loin, plus haut », c'est-à-dire lorsqu'il s'agit « seulement » d'optimiser quelque chose d'existant. Nous recherchons des projets qui se trouvent dans la « vallée de la mort »: La recherche fondamentale du sujet concerné a été faite – dans ce cas concret: le graphène existe. Et

## HUBERT KEIBER

**PARCOURS** Hubert Keiber est titulaire d'un doctorat en physique et a occupé de 1983 à 2015 plusieurs postes de direction chez Siemens Suisse ainsi que dans les filiales de Siemens en Russie et en Chine. Il est aujourd'hui président du conseil de fondation de la Fondation Werner Siemens.

maintenant, quelqu'un a une idée de ce que l'on pourrait en faire, par exemple construire un prototype – pour cela, il ne reçoit en général pas encore de « venture capital », mais aussi plus de soutien pour la recherche fondamentale, par exemple du Fonds national. De nombreux projets dans ce « domaine intermédiaire » n'aboutissent jamais, car ils n'ont pas de financement. C'est précisément là que nous intervenons – et CarboQuant s'y intègre parfaitement. Ces structures de graphène très spéciales, dont les propriétés électroniques et magnétiques peuvent être réglées par leur géométrie, leur forme, pourraient permettre à l'avenir de créer des puces informatiques sur une base totalement différente de celle des ordinateurs quantiques actuels. Les ordinateurs quantiques ne sont toutefois qu'UNE possibilité d'application pour ces structures de graphène ; l'ordinateur quantique est pour ainsi dire l'objectif lointain. Je suis persuadé que les connaissances et les étapes de développement en cours de route peuvent également conduire à des innovations technologiques dans de tout autres domaines.

## Lesquels, par exemple ?

Par exemple, des composants et des éléments de commutation microélectroniques. Le fait que je puisse régler différentes propriétés de matériaux par le biais de la géométrie du

graphène a été décisif pour nous – car cette approche totalement nouvelle permet de développer des semi-conducteurs d'un autre type, c'est-à-dire non basés sur le silicium, pour la microélectronique de demain.

**15 millions de francs sont une somme exceptionnellement élevée pour l'Empa pour un seul projet – également pour la Fondation Werner Siemens?**

Non, c'est exactement la manière dont nous soutenons les projets. Pour cela, nous ne soutenons « que » trois ou quatre projets par an, mais avec des montants de l'ordre de 5 à 15 millions de francs, en général sur dix ans.

**Comme chaque franc d'encouragement ne peut être dépensé qu'une seule fois, cette approche d'encouragement comporte certains risques. Pourquoi poursuivez-vous précisément cette philosophie d'encouragement?**

Cela tient à l'organisation de notre fondation – notre personnel est très réduit et nous n'avons donc qu'une capacité limitée pour expertiser les projets. Si nous devions traiter et soutenir de nombreux petits projets, nous aurions besoin d'une toute autre organisation. Notre philosophie ou notre codex est : petit mais efficace – et j'entends par là les « frais généraux ». Nous ne voulons si possible pas dépenser d'argent pour des « frais généraux », l'argent doit aller aux projets.

**Quelles sont les « conditions » liées à l'octroi des subventions?**

Nous demandons une fois par an un rapport sur l'avancement du projet – et nous en parlons ensuite nous-mêmes dans notre rapport annuel. C'est tout ce que les chercheurs ont à faire. Une fois que nous avons décidé de financer un

projet, nous prenons le risque que cela ne fonctionne pas. Il se peut d'une part que le projet meure parce que l'idée de base n'est en principe pas réalisable – nous n'avons pas encore vécu cette situation, mais elle est envisageable et peut se produire. Mais ce qui serait plus fatal, c'est que l'équipe ne soit pas en mesure de mettre en œuvre le projet malgré de bonnes idées. Car dans ce cas, nous aurions fait une erreur. Justement : « High risk – high gain ».



**PROFESSIONNEL**  
En tant que physicien de formation et manager depuis de nombreuses années, Hubert Keiber évalue les demandes de financement.

**Les ordinateurs quantiques font régulièrement la une de la presse – le plus souvent en lien avec des géants de la technologie comme IBM, Microsoft ou Google. Pourquoi miser sur un petit acteur comme l'Empa dans cette « course »?**

Parce que l'équipe veut penser et concevoir les ordinateurs quantiques de manière totalement nouvelle, y compris du point de vue des matériaux. Au-

jourd'hui, vous avez besoin de 4 degrés Kelvin, c'est-à-dire de températures proches du zéro absolu, pour faire fonctionner un ordinateur quantique avec, disons, 8 Qbits – et CarboQuant pourrait permettre de faire fonctionner de tels ordinateurs avec des puces qui ressemblent à des puces normales, à des températures nettement plus élevées, éventuellement même à température ambiante. Autre point : dans le domaine des ordinateurs quantiques, comme

vous l'avez dit à juste titre, l'Europe n'est pas vraiment au premier plan. Avec CarboQuant, nous pourrions apporter une contribution à ce domaine de recherche important ici en Europe. ■

Plus d'informations ici : [www.wernersiemenstiftung.ch/](http://www.wernersiemenstiftung.ch/)

Photo: Nicolas Zorivi / Empa

# PROMOTION : L'EMPA OUVRE DE NOUVELLES VOIES

De nombreuses idées potentiellement révolutionnaires naissent dans la tête des chercheuses et des chercheurs de l'Empa – toutes ne peuvent pas être mises en œuvre, certaines ne trouvent tout simplement pas de financement. Le Fonds d'avenir de l'Empa doit à l'avenir combler cette lacune ; grâce à une collecte de fonds professionnelle, le Fonds d'avenir soutient des projets de recherche passionnants qui n'ont pas encore obtenu de financement ailleurs, ainsi que des talents particulièrement prometteurs. La Fondation Ria & Arthur Dietschweiler soutient maintenant pour la première fois un tel fonds pour jeunes chercheurs à hauteur de 270 000 francs.

Texte: Rédaction Empa

L'Empa est l'un des principaux moteurs de l'innovation en Suisse ; orienté vers l'application, proche de la pratique, il se concentre sur les défis centraux de notre époque. Dans le cadre de plus de 400 projets de recherche en cours avec plusieurs centaines de partenaires du monde entier, les chercheurs de l'Empa élaborent des matériaux, des technologies et des concepts innovants afin de rendre possible le tournant énergétique, de faire progresser l'économie circulaire ou d'introduire des applications médicales personnalisées dans la pratique quotidienne.

Pour que ce moteur de l'innovation tourne rond, il faut le lubrifier – avec des bourses, des « grants », des dons et d'au-



**INNOVATION**  
Sina Abdolhosseinzadeh explique son projet au directeur de l'Empa, Gian-Luca Bona : il veut construire des capteurs à bas prix pour des applications médicales à l'aide d'une imprimante spéciale.

tres formes de soutien financier. Car la recherche de pointe n'est pas gratuite. En tant qu'institut de recherche du Domaine des EPF, l'Empa bénéficie certes d'un solide financement de base de la part de la Confédération, mais il y a toujours des projets en avance sur leur temps – c'est-à-dire des projets qui, en cas de succès, ont un énorme potentiel, mais qui ne peuvent pas être financés par des moyens traditionnels. Ou alors, il s'agit de jeunes cher-

cheurs extrêmement talentueux dont la carrière scientifique doit être encouragée.

**LE TEMPS D'UNE COLLECTE DE FONDS PROFESSIONNELLE**

Pour disposer d'une plus grande marge de manœuvre dans des cas comme celui-ci, la direction de l'Empa a décidé il y a quelque temps de mettre en place une collecte de fonds professionnelle : le Fonds Empa pour l'avenir. « Nous ►

Photo: Empa

voulons ainsi permettre à des donateurs privés de promouvoir des projets ou des 'cerveaux' dans des domaines thématiques qui leur tiennent à cœur, par exemple dans le domaine du développement durable ou de la médecine – et de nous aider ainsi directement à rendre notre avenir vivable et durable, explique Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa. Le Fonds de l'Empa pour l'avenir propose différents fonds thématiques qui permettent aux bailleurs de fonds privés ou aux donateurs d'utiliser leurs ressources à des fins précises: Il existe actuellement des fonds de recherche pour le développement durable, la santé, l'énergie et la nanotechnologie ainsi qu'un fonds pour la promotion de la relève et des talents.

#### « EMPA FELLOWSHIPS »

##### POUR LES TALENTS EXCEPTIONNELS

Pour ce dernier, le Fonds d'avenir de l'Empa a récemment reçu un don important: Le conseil de la fondation Ria & Arthur Dietschweiler a décidé en novembre dernier de financer entièrement, à hauteur de 270 000 francs, une «Empa Young Scientist Fellowship» de deux ans sur le site de Saint-Gall. La fondation, dont le siège est à Saint-Gall, a été créée en 1981 par le couple d'entrepreneurs germano-suisse Ria et Arthur Dietschweiler et soutient depuis lors des projets d'utilité publique et novateurs dans les domaines de la formation, de la culture et du social.

L'«Empa Young Scientist Fellowship» est un instrument d'encouragement destiné aux jeunes scientifiques exceptionnellement doués. Le boursier ou la boursière reçoit les moyens financiers nécessaires pour mettre sur pied et réaliser un projet de recherche autonome pendant deux ans. La durée de deux ans est volontairement courte, car la Fellowship est conçue comme un coup de pouce pour une carrière scientifique internationale et non comme une entrée

#### ENCADRÉ D'INFORMATION: LE FONDS EMPA POUR L'AVENIR

Le Fonds Empa pour l'avenir est l'instrument central de collecte de fonds et de dons de l'Empa et comprend actuellement cinq fonds thématiques: quatre fonds de recherche pour les domaines de l'énergie, de la santé, du développement durable et des nanotechnologies ainsi qu'un fonds pour la promotion des talents. Pour chacun de ces fonds, il existe un processus de demande et d'attribution clairement défini. L'Empa établit des comptes annuels pour chaque fonds et les présente aux donateurs; les dons au Fonds de l'Empa

pour l'avenir peuvent être déduits des impôts.

L'équipe du Fonds pour l'avenir de l'Empa se compose de Gabriele Dobenecker et de Martin Gubser. Martin Gubser a dirigé ces dernières années la collecte de fonds de la Fondation suisse pour paraplégiques et de la UZH Foundation, la fondation de dons de l'Université de Zurich. Gabriele Dobenecker dispose d'une longue expérience dans l'entretien des contacts avec les partenaires de l'Empa dans l'industrie et l'économie.

Pour plus d'informations:

[www.empa.ch/zukunftsfonds](http://www.empa.ch/zukunftsfonds)

en matière pour une carrière à l'Empa. Le Fellowship est attribué dans le cadre d'une procédure concurrentielle afin de garantir que les candidats ayant le meilleur potentiel soient sélectionnés.

#### CAPTEURS À BAS PRIX POUR LA MÉDECINE

La procédure de sélection du lauréat ou de la lauréate de l'année 2022 vient d'être lancée. On ne sait donc pas encore qui bénéficiera du Fellowship de la Fondation Ria & Arthur Dietschweiler. Un premier «Empa Young Scientist Fellowship» est toutefois déjà en cours depuis octobre 2021: Sina Abdolhosseinzadeh a terminé sa thèse de doctorat l'année dernière et travaille depuis lors dans le département de recherche «Functional Polymers». Son projet: développer des capteurs à la fois intelligents et bon marché pour la technique médicale.

Des instruments de diagnostic bon marché et pouvant être fabriqués en grand nombre sont une condition importante pour un système de santé abordable. Les capteurs chimiques sont certes prometteurs pour la détection de nombreuses maladies, du cancer aux infections virales, mais leur production à bas coût est difficile. Une méthode de production de masse pour de tels dispositifs serait l'im-

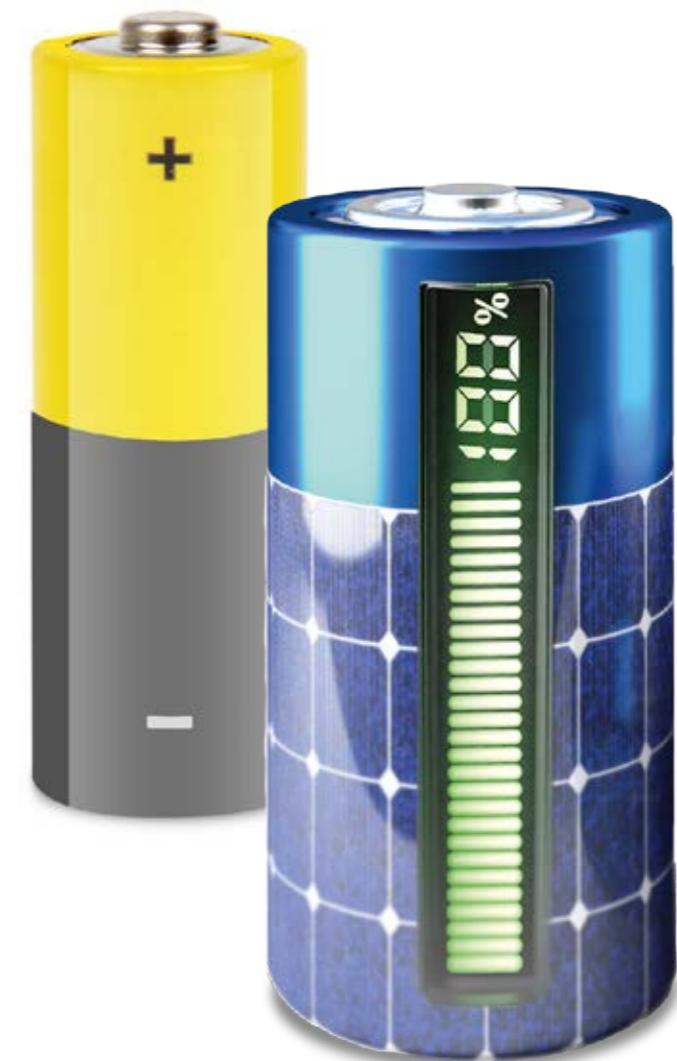
pression. Cependant, les «encres fonctionnelles» sont encore rares à l'heure actuelle; de plus, la structure de la plupart des biocapteurs traditionnels rend impossible l'utilisation des méthodes d'impression existantes. Dans son projet de recherche, Sina Abdolhosseinzadeh veut s'appuyer sur les résultats de sa thèse de doctorat et tenter de développer une plateforme de capteurs universelle qui résout ces problèmes et qui soit compatible avec la technologie existante.

#### UN DÉBUT PROMETTEUR

Les fonds déjà obtenus constituent une évolution encourageante, estime Gian-Luca Bona – qui espère que ces premiers succès seront bientôt suivis d'autres: «Le soutien de la fondation Ria & Arthur Dietschweiler, mais aussi l'allocation de la fondation Werner Siemens pour nos recherches dans le domaine des architectures inédites pour les ordinateurs quantiques (voir article p. 12) nous incitent à poursuivre résolument dans cette voie et à continuer à mettre en place, avec nos bienfaiteurs, des innovations révolutionnaires pour pouvoir résoudre les défis urgents de notre société». ■

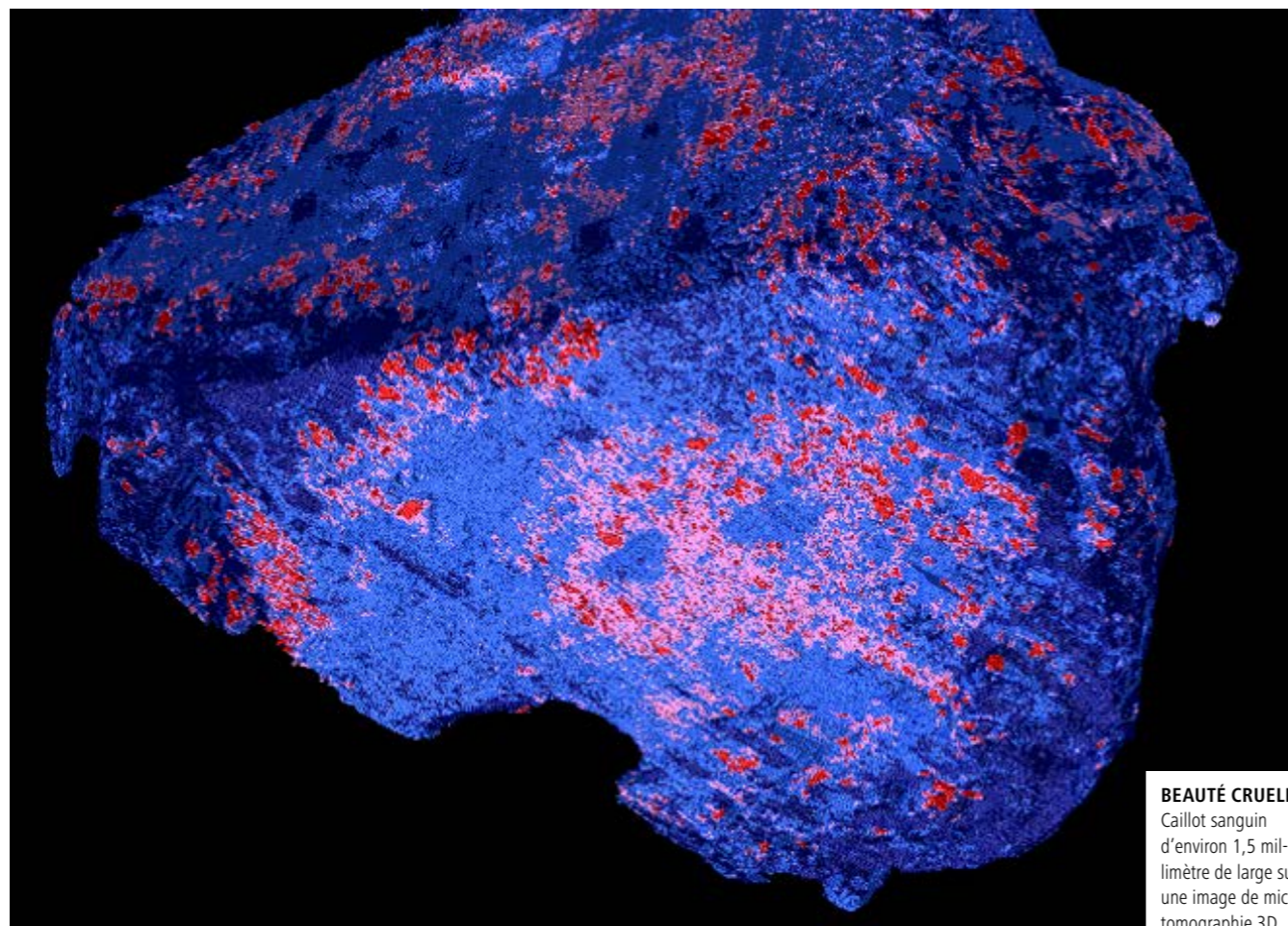
Plus d'informations ici:  
[www.empa.ch/zukunftsfonds](http://www.empa.ch/zukunftsfonds)

# Die Energie von morgen sauberer machen.



Machen Sie den Unterschied!  
Unterstützen Sie den  
Empa Zukunftsfonds «Energie».  
[empa.ch/zukunftsfonds](http://empa.ch/zukunftsfonds)

 **Empa**  
Zukunftsfonds



**BEAUTÉ CRUELLE**  
Caillot sanguin d'environ 1,5 millimètre de large sur une image de micro-tomographie 3D.

# UNE MÉTÉORITE S'ABAT SUR LA TÊTE

Lorsqu'un caillot de sang bloque l'approvisionnement en oxygène dans le cerveau, les personnes concernées sont victimes d'une attaque cérébrale aiguë. Chaque minute compte alors pour le traitement. Une équipe de l'Empa, de l'Hôpital universitaire de Genève et de la Clinique Hirslanden développe actuellement un procédé de diagnostic qui permet de démarrer rapidement un traitement sur mesure, comme ils l'écrivent dans l'édition actuelle de la revue spécialisée « Scientific Reports ».

Texte: Andrea Six

Il y a quelques instants, tout semblait normal et, d'un instant à l'autre, des zones du cerveau sont bloquées : Lorsqu'un caillot obstrue un vaisseau sanguin, l'approvisionnement en oxygène des cellules nerveuses est interrompu et les personnes concernées subissent une attaque cérébrale aiguë. Cet état qui met la vie en danger peut se manifester de différentes manières : Des paralysies musculaires à la perte de conscience en passant par des pertes d'audition ou de vision. Mais une chose est toujours claire : il s'agit d'une urgence médicale et le temps nécessaire à la levée du blocage vasculaire doit être le plus court possible afin de sauver le plus grand nombre possible de cellules nerveuses de la mort. C'est la seule façon d'éviter des dommages neurologiques permanents.

Il n'est pas toujours facile de déterminer dans l'urgence quelle est la méthode de traitement la plus appropriée. En se basant sur l'analyse des rayons X et la microscopie électronique, une équipe de l'Empa, de la clinique Hirslanden et de l'Hôpital universitaire de Genève développe actuellement une méthode qui devrait permettre d'identifier le traitement optimal en un temps record. Une première étude vient d'être publiée dans l'édition actuelle de la revue spécialisée « Scientific Reports » (Link Paper). Ces données doivent servir de base à un traitement sur mesure dans l'esprit de la médecine personnalisée.

## SCRUTER INDIVIDUELLEMENT

La raison : tous les caillots sanguins ne se ressemblent pas ; selon leur type, différents types de cellules peuvent s'y agglutiner. Selon que les globules rouges ou blancs dominent ou que la proportion de fibres de fibrine contenant des protéines est élevée, le thrombus présente des caractéristiques très différentes. De plus, les thrombus se distinguent fortement les uns des autres par leur forme. Un

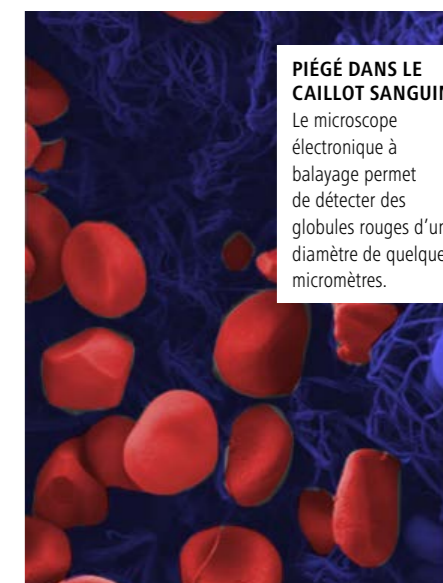
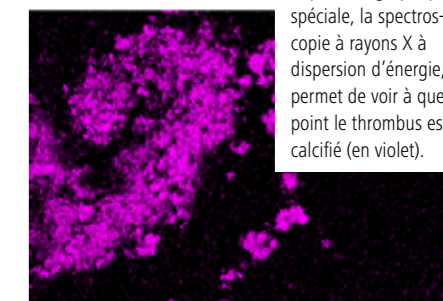
thrombus de 15 millimètres de long, qui ne remplit pas entièrement un vaisseau sanguin, a des propriétés mécaniques différentes de celles d'un caillot de quelques millimètres, mais qui obstrue complètement un vaisseau et paralyse l'approvisionnement en sang des zones cérébrales situées en aval. Le traitement optimal dépend de ces différences, qu'il s'agisse de la dissolution médicamenteuse du caillot ou de l'utilisation d'un « stent retriever », une sorte de minuscule hameçon qui permet de « pêcher » le thrombus dans le vaisseau sanguin et dont le matériau peut être choisi différemment selon le thrombus.

En radiologie, on compte actuellement sur les tomographies traditionnelles pour prendre une décision thérapeutique. Toutefois, les images de la tête des personnes concernées ne permettent pas de tirer beaucoup de conclusions sur les détails d'un caillot, car les objets constitués de matériaux similaires ne se distinguent pas assez les uns des autres et ne peuvent pas être résolus dans l'espace. Dans le quotidien clinique, il faut en outre se contenter de détails limités à 200 micromètres.

Il en va autrement des méthodes de laboratoire utilisées par les chercheurs dans le cadre de la nouvelle étude : L'équipe à laquelle participent Robert Zboray, Antonia Neels et Somayah Saghamanesh du « Center for X-Ray Analytics » de l'Empa a examiné différents caillots sanguins prélevés sur des patients lors d'interventions neurochirurgicales. Pour ce faire, elle a combiné différentes technologies de laboratoire, ce qui a permis d'obtenir des résultats virtuels en 3D avec des caractéristiques détaillées et jusqu'ici inconnues des caillots sanguins. « Nous avons passé en revue des globules rouges individuels au moyen de la micro-tomographie 3D, avec une précision de l'ordre du micromètre »,



**OBSTACLE DUR**  
Au microscope électronique à balayage, le caillot sanguin apparaît homogène. Une technique radiographique spéciale, la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie, permet de voir à quel point le thrombus est calcifié (en violet).



**PIÉGÉ DANS LE CAILLOT SANGUIN**  
Le microscope électronique à balayage permet de détecter des globules rouges d'un diamètre de quelques micromètres.

explique Robert Zboray, chercheur à l'Empa. De telles tomographies utilisant des procédés à contraste de phase produisent un contraste plus fort. Les objets facilement pénétrables, comme les muscles, les tissus conjonctifs ou les caillots sanguins, peuvent ainsi être représentés avec des nuances particulièrement fines et dans leur extension spatiale.

## THROMBUS CALCIFIÉS

D'autres technologies comme la microscopie électronique à balayage et les procédés de diffraction et de diffusion des rayons X ont fourni des infor-

mations supplémentaires jusqu'aux structures atomiques. Il est apparu ici pour la première fois qu'un thrombus n'est pas seulement composé de cellules sanguines et de filaments de fibrine, mais qu'il peut même être parsemé de minéraux tels que l'hydroxyapatite, comme on le connaît des parois vasculaires dans la calcification des artères.

Ces informations détaillées sur les caractéristiques d'un caillot de sang arrivent toutefois trop tard, lorsque le thrombus a déjà été retiré chirurgicalement. De plus, les données nouvellement acquises ne peuvent pas être comparées au premier coup d'œil avec les images et les résultats habituels à l'hôpital. La numérisation de la médecine permet toutefois de modéliser les données de telle sorte qu'un algorithme pourrait à l'avenir lire les informations détaillées. « Pour ce faire, nous devons encore examiner un grand nombre de thrombus afin de pouvoir reconnaître, grâce au 'Machine Learning', de nouvelles caractéristiques et de nouveaux modèles d'image concernant la composition du caillot, qui pourront ensuite être transférés sur des images hospitalières et faciliter ainsi l'identification des types de thrombus », explique Robert Zboray.

Selon l'objectif des chercheurs, les images hospitalières traditionnelles pourraient alors être interprétées en très peu de temps comme si le caillot de sang dans la tête avait été examiné dans un laboratoire virtuel. En fin de compte, cela permet au patient victime d'une attaque cérébrale de bénéficier d'une thérapie plus précise et personnalisée en temps réel. ■

Plus d'informations ici : [www.empa.ch/web/s499](http://www.empa.ch/web/s499)

# DES VERRES MÉTALLIQUES EN APESANTEUR

En collaboration avec des chercheurs d'Ulm et de Neuchâtel, l'Empa va bientôt examiner des échantillons de matériaux à bord de l'ISS. Il s'agit d'alliages superdurs et résistants à la corrosion à base de palladium, de nickel, de cuivre et de phosphore – également appelés « verres métalliques ». Une entreprise high-tech de La Chaux-de-Fonds, qui fabrique des matériaux pour l'industrie horlogère, sera également à bord.

Texte : Rainer Klose



Photo : Airbus Defence and Space

## EN APESANTEUR PENDANT QUELQUES SECONDES

Des scientifiques de l'Université d'Ulm lors d'un test de fusion dans le Zero-G-Airbus exploité par Novespace.

Il a la couleur de l'or blanc, mais il est dur comme du verre de quartz et présente en même temps une grande élasticité. La surface lisse est exempte de structures cristallines et rend le matériau résistant aux sels et aux acides. Les pièces uniques – par exemple pour les implants médicaux – peuvent être fabriquées par impression 3D, tandis que les grandes séries – par exemple pour les boîtiers de montre – sont produites par moulage par injection. C'est à peu près ainsi que l'on décrit le matériau de rêve sur lequel

les scientifiques font actuellement des recherches. Il s'agit du « verre métallique ».

A l'Empa, Antonia Neels, la directrice du Centre d'analyse par rayons X de l'Empa, s'intéresse depuis une quinzaine d'années à ce matériau mystérieux. Son équipe étudie la structure interne du verre métallique à l'aide de différentes méthodes de rayons X et découvre ainsi des liens avec des propriétés telles que la déformabilité ou le comportement à la rupture. Même pour les professionnels de la science des matériaux, les

verres métalliques sont un casse tête : « Plus nous regardons les échantillons de près, plus les questions surgissent », explique Antonia Neels. L'ambition des chercheurs n'en est que plus grande.

## ENSEMBLE DANS L'ESPACE

Dans quelques mois, un échantillon de verre métallique sera examiné en microgravité dans la station spatiale internationale (ISS). Un groupe de chercheurs avec la participation de l'Empa a préparé les échantillons et les a inscrits auprès de l'agence spatiale européenne ESA pour le vol spatial. L'alliage spécial est fourni par l'entreprise PX Group de La Chaux-de-Fonds, qui fabrique des matériaux pour l'industrie horlogère et la technologie dentaire. Les chercheurs Markus Mohr et Hans-Jörg Fecht de l'« Institute of Functional Nanosystems » de l'Université d'Ulm ainsi que Roland Logé du « Laboratory of Thermomechanical Metallurgy » de l'EPFL à Neuchâtel font également partie de l'équipe.

La fabrication de verre métallique n'est pas si simple : par rapport au verre à vitres, les alliages métalliques spécialement sélectionnés doivent être refroidis jusqu'à cent fois plus vite pour que les atomes de métal ne s'assemblent pas en réseaux cristallins. Ce n'est que lorsque la masse fondue se solidifie extrêmement rapidement qu'elle forme un verre. Dans l'industrie, de fines feuilles de verre métallique sont produites en pressant la masse fondue entre des rouleaux de cuivre tournant à grande vitesse. Les chercheurs coulent parfois leurs échantillons dans des moules en cuivre massif, qui dissipe particulièrement bien la chaleur. Mais ces méthodes ne permettent pas de réaliser des pièces plus grandes et plus massives en verre métallique.

## L'IMPRESSION 3D PEUT AIDER

Une solution possible pour sortir de ce dilemme est l'impression 3D selon ▶

la méthode dite du lit de poudre. Une fine poudre de l'alliage souhaité est chauffée pendant quelques millisecondes par un laser. Les grains de métal fusionnent avec leurs voisins pour former une sorte de feuille. Une fine couche de poudre est alors posée par-dessus, le laser fusionne la poudre fraîchement déposée avec la feuille sous-jacente, et c'est ainsi que naît peu à peu une pièce tridimensionnelle à partir de nombreux grains de poudre brièvement chauffés.

Cette méthode nécessite un dosage fin de l'impulsion laser. Si le laser brûle trop faiblement la poudre, les particules ne fusionnent pas entre elles et la pièce reste poreuse. Si le laser brûle trop fort, il fait fondre à nouveau les couches inférieures. Cette fusion répétée permet aux atomes de se réorganiser et de former des cristaux – et c'en est fini du verre métallique.



**LABORATOIRE SPATIAL**

L'astronaute allemand Alexander Gerst a installé le lévitateur électromagnétique (EML) en 2014 à l'ISS. Dans ce dispositif, des gouttelettes de verre flottent plus longtemps.



pent – afin de définir des processus de fabrication stables, explique la spécialiste en rayons X Neels. Les paramètres thermo-physiques de la fonte, comme la viscosité et la tension superficielle, fournissent des informations importantes. Les expériences menées sur l'ISS offrent des conditions idéales pour ces analyses. Des expériences préliminaires ont lieu lors de vols paraboliques.

Dès 2019, les premières gouttelettes de verre métallique ont flotté à titre expérimental. Un Airbus A310 de la société Novespace, spécialement aménagé, a effectué un vol en microgravité avec un échantillon de matériau. Des scientifiques d'Ulm et une petite gouttelette de verre métallique de la société PX Group de La Chaux-de-Fonds se trouvaient à bord. Le verre métallique étudié par le groupe de chercheurs est composé de palladium, de cuivre, de nickel et de phosphore. Dans l'expérience appelée TEMPUS (processus électro-magnétique sans creuset en microgravité), la gouttelette de verre a été maintenue en suspension à l'aide d'un champ magnétique et chauffée par induction jusqu'à 1500 degrés Celsius. Pendant la phase de refroidissement, deux courtes impulsions de courant d'induction ont fait vibrer la gouttelette incandescente. Une caméra a enregistré l'expérience. Après l'atterrissage, l'échantillon de matériau a été analysé au Centre d'analyse par rayons X de l'Empa.

**POURQUOI ALLER SUR L'ISS?**

L'analyse de la vidéo du vol parabolique permet de tirer des conclusions sur la viscosité et la tension superficielle de la gouttelette – des données importantes pour mieux contrôler la fabrication de verres métalliques aux propriétés spécifiques. Mais la période de microgravité pendant le vol ne dure que 20 secondes – trop peu pour une analyse détaillée. Cela n'est possible que sur l'ISS.

**LES MÉTHODES RAYONS X**

Au Centre d'analyse par rayons X de l'Empa, l'équipe d'Antonia Neels a déjà analysé plusieurs échantillons de ce type issus d'expériences d'impression 3D. Les résultats soulèvent toujours de nouvelles questions. « Certains éléments indiquent que les propriétés mécaniques des verres ne se détériorent pas, mais qu'elles s'améliorent au contraire lorsque l'échantillon contient de petites fractions cristallines », explique Antonia Neels. « Nous nous penchons maintenant sur la question de savoir quelle doit être la proportion de ces cristaux dans le verre, et quel type de cristaux doit se former pour augmenter par exemple la flexibilité ou la résistance aux chocs du verre à température ambiante ».

Pour suivre la trace de la croissance des cristaux dans un environnement par ailleurs amorphe, les experts de l'Empa utilisent différentes méthodes rayons X. « Avec des rayonnements de différentes longueurs d'onde, nous pouvons

en apprendre un peu plus sur la structure des parties cristallines, mais aussi déterminer les phénomènes de proche ordre des atomes dans l'échantillon – autrement dit, déterminer les propriétés des liaisons chimiques », explique Neels. De plus, l'analyse d'imagerie par rayons X, appelée micro-CT, révèle des informations sur les variations de densité dans l'échantillon. Cela indique une séparation des phases et la formation de cristaux. Les différences de densité entre les zones vitreuses et cristallines sont toutefois infimes. Il faut donc un traitement d'image détaillé pour pouvoir visualiser la répartition tridimensionnelle des parties cristallines.

**VOL PARABOLIQUE EN AIRBUS**

Mais les échantillons de matériaux issus de l'imprimante laser 3D ne suffisent pas à résoudre entièrement l'énigme des verres métalliques. « Nous devons savoir à quelles températures ces cristaux se forment, comment ils se dévelop-



**ÉQUIPE AU SOL**

Antonia Neels, chercheuse à l'Empa, est une experte des verres métalliques et analysera des échantillons provenant de l'ISS.

Ainsi, un échantillon du même matériau est désormais inscrit pour un vol dans le module européen COLUMBUS de l'ISS. Le four à lévitation électromagnétique ISS-EML y est installé depuis 2014. Chaque fois, 18 échantillons de matériaux voyagent avec lui, sont automatiquement échangés et peuvent être observés par les chercheurs sur Terre via un flux vidéo. Le verre métallique suisse partira dans l'espace avec le prochain lot d'échantillons.

Vers de nouveaux procédés A partir des données bien plus détaillées du vol spatial, les chercheurs veulent générer une simulation informatique de la fonte. Ainsi, toutes les réponses seront rassemblées dans un modèle unique grâce à une combinaison d'expériences sur Terre et dans l'espace : quelle est la viscosité et la tension superficielle à quelle température ? Quand se forment des cristaux de quelle composition, taille et orientation ?

Comment cette structure matérielle interne influence-t-elle les propriétés du verre métallique ? À partir de tous ces paramètres, les chercheurs veulent développer une méthode de fabrication en collaboration avec le partenaire industriel PX Group, afin de pouvoir produire le matériau tant convoité sous une forme définie. Dans les années à venir, les chercheurs en matériaux de toutes les équipes impliquées auront donc encore beaucoup à faire.

« Avec des rayons X de différentes longueurs d'onde, nous pouvons apprendre quelque chose sur la structure des parties cristallines. »

Photos : ESA

Photo : Empa

Plus d'informations ici : [www.empa.ch/web/s499](http://www.empa.ch/web/s499)

# LES TROUS NOIRS COMME PIÈGES À BRUIT

Ceux qui vivent dans un bâtiment ancien avec des planchers en bois connaissent le problème : même si les voisins se déplacent avec une élégance gracieuse, on les entend dans son propre appartement comme si l'on vivait sous un jeu de quilles. Même pour les bâtiments en bois les plus modernes, les bruits d'impact représentent un défi. Les scientifiques de l'Empa cherchent une solution.

Texte : Noé Waldmann

L'Empa achève actuellement des recherches sur une nouveauté mondiale en matière d'isolation acoustique des bâtiments en bois. En utilisant une théorie physique des années 1990 et les moyens de la numérisation, une équipe de recherche a développé de nouveaux éléments de plancher en panneaux de bois massif qui disposent de ce que l'on appelle des trous noirs acoustiques. L'idée de départ est venue de Stefan Schoenwald, le directeur du laboratoire d'acoustique du bâtiment de l'Empa à Dübendorf. Depuis sa première publication en 1987, il a rencontré la théorie des trous noirs acoustiques à plusieurs reprises lors de conférences et dans des publications scientifiques. Selon l'auteur russe M.A. Mironov de l'«Andreyev Acoustics Institute» à Moscou, une cavité parabolique dans un matériau peut absorber les vibrations comme le son et les faire résonner – autrement dit : les avaler. Les trous noirs acoustiques ont déjà été utilisés dans des voitures et des avions, et leur effet de réduction du bruit a été confirmé. Toutefois, la fabrication de matériaux très fins et durs n'est pas simple. Aucune expérience avec les trous de Mironov n'a jamais été réalisée, que ce soit dans la construction en bois ou dans l'acoustique du bâtiment. Le directeur du laboratoire Stefan Schoenwald et son collègue Sven Valley changent cela. Les deux chercheurs veulent améliorer l'isolation des bruits d'impact dans les constructions en bois grâce à des éléments en bois contreplaqué d'un nouveau genre. ▶

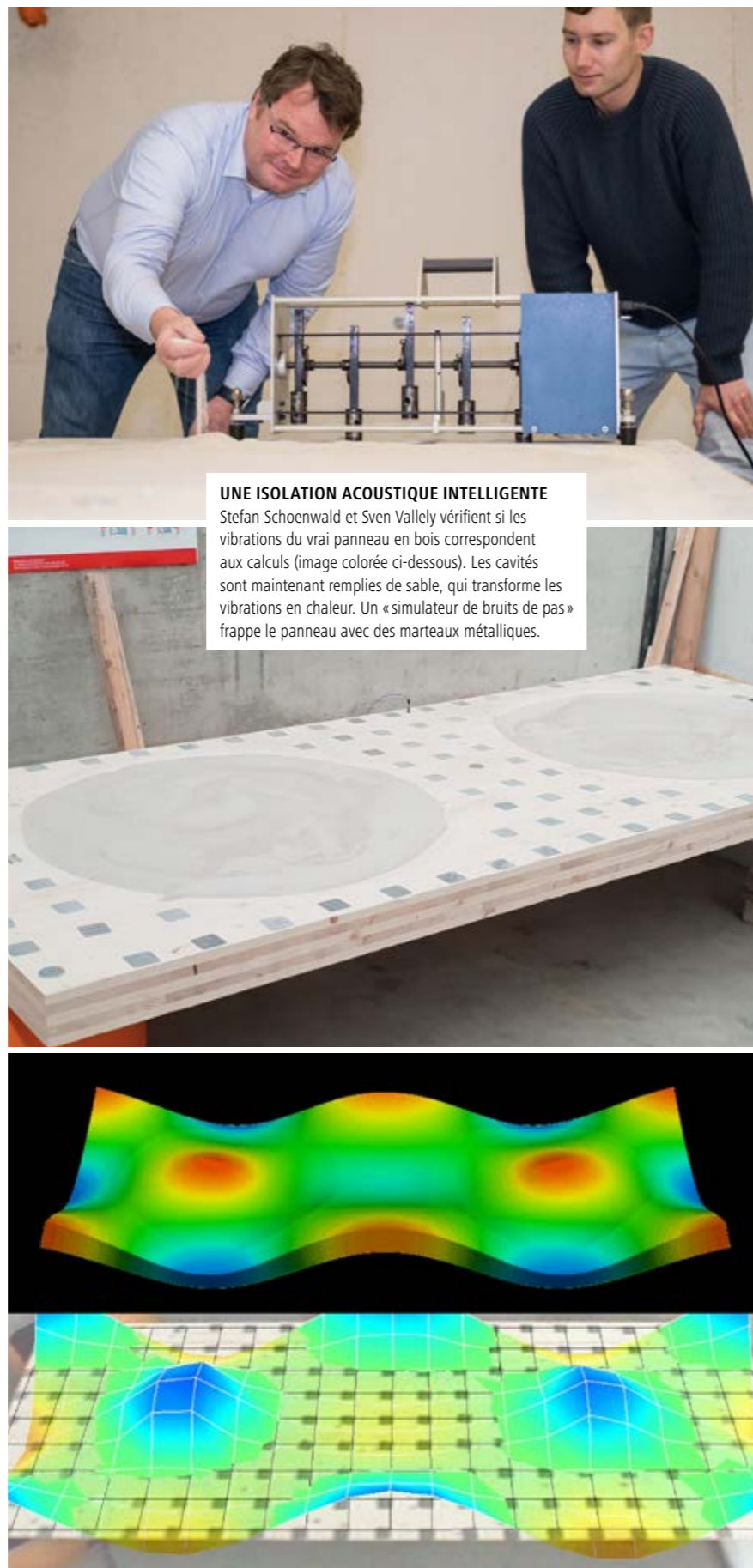


Photo: Strüby Konzept AG

**PRÉCISION**  
Alex Belmont de Strüby AG à Seewen a fraisé les creux calculés mathématiquement dans un panneau de contreplaqué.

Tout comme il existe des ondes sonores dans l'air, il existe des ondes sonores dans les matériaux, appelées ondes sonores solidiennes. «Lorsque l'on marche sur un sol, c'est comme si l'on jetait une pierre dans un étang: Dans le matériau, des ondes sonores se propagent dans toutes les directions», explique Stefan Schoenwald. Lorsqu'un creux en forme de lentille est fraisé dans le matériau selon une fonction mathématique spécifique, les ondes sonores se propagent dans cette zone. Les amplitudes s'amplifient alors de plus en plus, tandis que la longueur d'onde des vibrations diminue. «Si l'on pouvait rendre les plaques infiniment fines au niveau de ces creux, les ondes sonores s'éteindraient effectivement d'elles-mêmes dans ces 'trous noirs', plus rien ne sortirait donc de la lentille», explique Stefan Schoenwald. La question était toutefois de savoir si l'effet de réduction du son se produisait également en cas de profondeur limitée de l'évidement – car les «épaisseurs de matériau infiniment fines», comme l'exigerait la théorie mathématique, ne sont pas réalisables dans la pratique.

L'idée d'expérimenter des trous noirs acoustiques dans des constructions en bois est venue à Stefan Schoenwald pendant son travail. Il a demandé à son collègue Sven Vallely de simuler et de calculer l'effet de réduction du bruit sur ordinateur. Afin d'éliminer les doutes statiques, il a demandé à Andrea Frangi, un expert en construction en bois de l'EPF de Zurich, de donner son avis. Non seulement son avis, mais aussi la modélisation de la réduction du bruit sur ordinateur étaient prometteurs. Stefan Schoenwald a donc commandé un prototype et un panneau de contrôle normal dans le même matériau à l'entreprise de construction en bois Strüby AG à Seewen. A l'aide d'une machine CNC, Alex Belmont, spécialiste de la construction en bois, a fraisé sur mesure la cavité lenticulaire dans un



**UNE ISOLATION ACOUSTIQUE INTELLIGENTE**  
Stefan Schoenwald et Sven Vallely vérifient si les vibrations du vrai panneau en bois correspondent aux calculs (image colorée ci-dessous). Les cavités sont maintenant remplies de sable, qui transforme les vibrations en chaleur. Un «simulateur de bruits de pas» frappe le panneau avec des marteaux métalliques.

panneau de contreplaqué. «Une telle commande n'est certes pas très difficile, mais elle est d'autant plus passionnante», dit le machiniste, «je n'ai encore jamais fabriqué quelque chose sur lequel on fait ensuite de la recherche».

#### LES TECHNIQUES DE CALCUL LES PLUS RÉCENTES LE PERMETTENT

Les deux plaques – l'une avec, l'autre sans trous noirs acoustiques – ont été soumises à une analyse vibratoire à l'Empa. Lors de cette mesure, le son est envoyé sous forme de vibration dans le corps d'essai sur l'ensemble du spectre sonore pertinent. Un laser mesure la vibration des plaques d'essai à plusieurs endroits sous forme de grille. Les valeurs mesurées permettent ensuite de calculer comment la vibration se déplace à travers la plaque – et de savoir si les creux fraisés «capturent» réellement le son et le laissent se dissiper sous forme de chaleur.

Il y a dix ans encore, une telle série d'essais n'aurait pas été réalisable. La modélisation de la vibration d'une petite bande passante était déjà une thèse de doctorat du point de vue de l'effort de calcul. Aujourd'hui, Stefan Schoenwald et Sven Vallely calculent l'ensemble du spectre acoustique en un après-midi et rendent les vibrations immédiatement visibles sous forme de visualisation. L'objectif de l'expérience est d'examiner si les résultats simulés correspondent aux valeurs mesurées. En effet, si le modèle informatique correspond à la réalité, tous les paramètres possibles peuvent être modifiés presque gratuitement sur l'ordinateur, sans qu'il soit nécessaire de fabriquer à chaque fois une nouvelle plaque d'essai. Il est ainsi possible d'optimiser la réduction du bruit pour des éléments en bois de toutes les tailles et géométries possibles, sans avoir recours à des expériences coûteuses.

#### UNE MEILLEURE PERFORMANCE D'ISOLATION POUR UN POIDS RÉDUIT

Résultat des analyses: Les valeurs mesurées correspondent très bien au calcul du modèle. Avec un écart de seulement 5 pour cent environ, Stefan Schoenwald est très satisfait. Cet écart s'explique par la fabrication des panneaux et la variation naturelle du bois, ajoute Sven Vallely. Viennent maintenant les prochains essais avec les panneaux test fabriqués à Seewen: «Actuellement, nous en sommes aux mesures du bruit de choc, que nous effectuons selon les normes internationales. La prochaine étape consistera à confirmer les propriétés antiincendie et statiques», explique Stefan Schoenwald. Ces autres examens doivent garantir que les panneaux en bois lamellécroisé n'isolent pas seulement le bruit au moins au niveau habituel du marché, mais qu'ils obtiennent également toutes les certifications nécessaires à leur utilisation dans la construction.

#### VOICI COMMENT CELA FONCTIONNE

Stefan Schoenwald décrit le fonctionnement des panneaux comme suit. «Pour l'isolation des bruits d'impact, je dois garder à l'esprit trois caractéristiques à la fois: la masse de l'élément de construction d'une part, sa rigidité et l'amortissement d'autre part. La rigidité et l'amortissement s'opposent – un élément de construction souple peut être bien amorti, un élément de construction rigide moins bien». Stefan Schoenwald cite un exemple: «Les planchers classiques en bois massif sont à la fois légers et rigides – ici, deux propriétés défavorables se combinent donc». Une solution possible est d'augmenter la masse de l'élément de construction. Dans les maisons en bois modernes, les architectes intègrent donc d'épaisses couches de gravier pour les lester. Ainsi, les planchers en bois vibrent moins facilement si un adulte marche dessus ou si un enfant saute à travers la maison. Stefan

Schoenwald et Sven Vallely ont opté pour une autre solution. «Nous rendons les planchers en bois particulièrement souples à certains endroits afin qu'ils puissent vibrer particulièrement fort à cet endroit. À ces endroits, nous amortissons les vibrations de manière ciblée avec une petite quantité de sable ou de gravier», explique Stefan Schoenwald. Le même matériau, à savoir le gravier, remplit ici un tout autre objectif: «Chez nous, le gravier n'est pas là pour lester. Il doit au contraire bouger et transformer la vibration en chaleur grâce à son frottement interne». Résultat: un plancher en bois avec des trous noirs acoustiques est beaucoup plus léger qu'un plancher traditionnel, tout en atténuant nettement mieux les bruits d'impact. La rigidité de l'ensemble de la structure du plancher, avantageuse pour la construction, est ainsi conservée.

#### IL NE MANQUE PLUS QUE LE PARTENAIRE INDUSTRIEL

La recherche sur les trous noirs acoustiques est soutenue financièrement par la promotion des technologies environnementales de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). De l'idée initiale aux résultats actuels, l'ensemble du projet n'a duré que 24 mois environ. Une fois les séries d'essais terminées, les scientifiques veulent encore développer un procédé qui indiquerait automatiquement la meilleure disposition et la meilleure forme des trous noirs acoustiques en fonction de la taille et de la forme du sol souhaitées. Ainsi, la méthode serait également disponible aux architectes et aux ingénieurs en bâtiment qui souhaitent utiliser directement la méthode d'amortissement révolutionnaire dans des maisons nouvellement construites. Il ne manque plus qu'un partenaire industriel intéressé par la production et la distribution de trous noirs acoustiques pour les bâtiments modernes en bois. ■

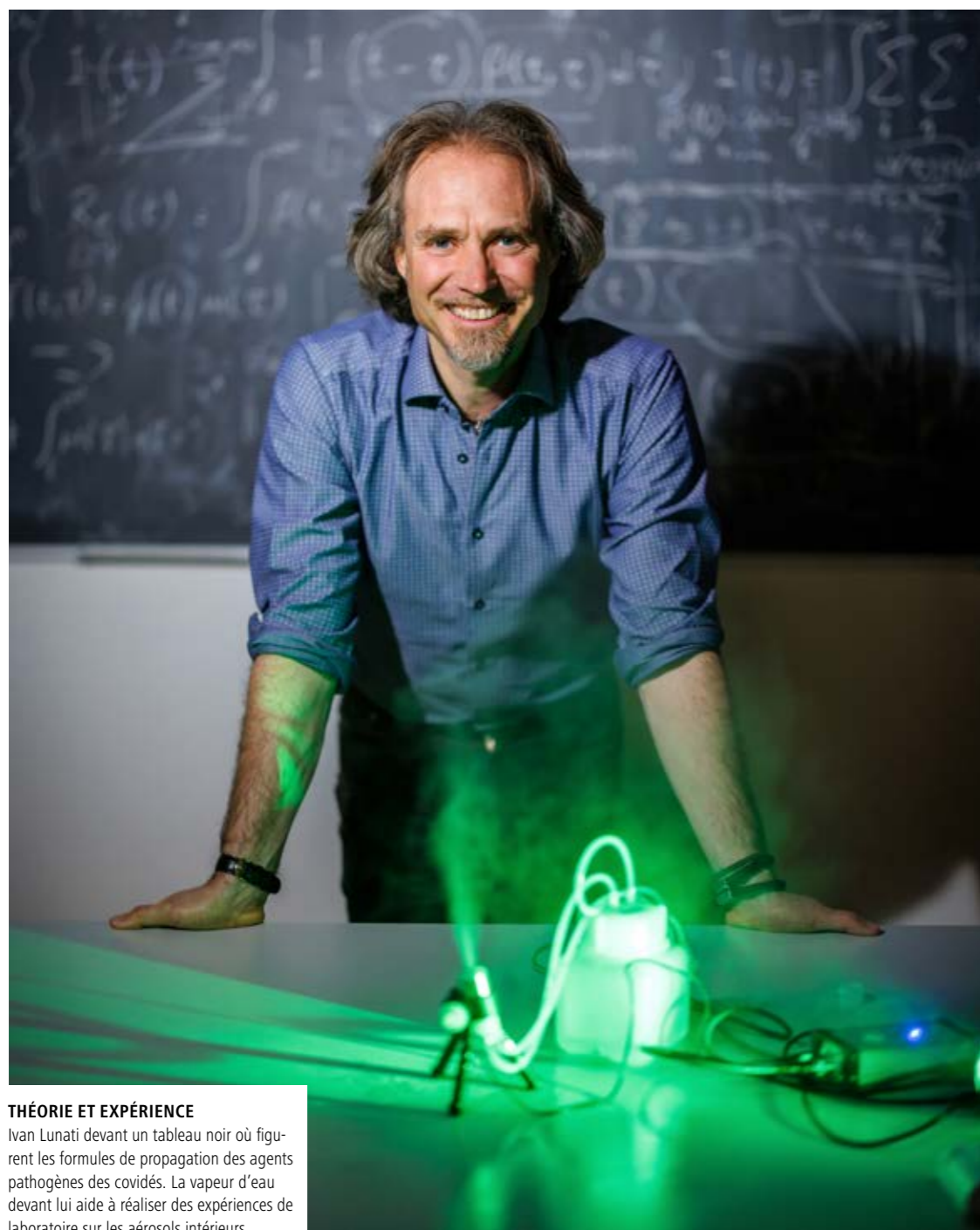
Plus d'informations: [www.empa.ch/web/s509](http://www.empa.ch/web/s509)



# « JE VEUX DÉCRIRE LE MONDE »

Lors de la création de son nouveau département de recherche, la pandémie de Covid a rendu le travail d'Ivan Lunati beaucoup plus difficile – tout en lui fournissant des questions de recherche passionnantes. À l'avenir, lui et son équipe entendent continuer à se pencher sur des sujets variés – en tant que théoricien passionné ayant un penchant pour les applications pratiques.

Texte : Norbert Raabe



## THÉORIE ET EXPÉRIENCE

Ivan Lunati devant un tableau noir où figurent les formules de propagation des agents pathogènes des covidés. La vapeur d'eau devant lui aide à réaliser des expériences de laboratoire sur les aérosols intérieurs.

Les deux mondes dans lesquels Ivan Lunati se sent chez lui sont visibles sur le mur de gauche de son bureau : des photos sur lesquelles il dévale les pentes de la poudreuse près de Verbier. Et juste à côté, un tableau blanc avec des notes, des croquis, des intégrales, des différentielles... – un « mur de la pensée », car le travail de recherche créatif est plus facile pour lui lorsqu'il est en mouvement.

Le physicien, qui dirige le laboratoire nouveau de l'Empa depuis février 2020, a suffisamment de tâches délicates à accomplir. Par exemple, les questions de savoir où et comment les coronavirus se propagent – que ce soit dans les télécabines de ski et les salles de classe ou dans toute la Suisse et l'Allemagne. Les résultats de cette recherche ont suscité un grand écho – et de nombreuses apparitions dans les médias avec le chercheur Hossein Gorji de son équipe. Un sujet qui a certainement facilité le lancement du nouveau laboratoire.

## LA PANDÉMIE COMME SOURCE D'IDÉES

Mais pourquoi les scénarios Covid, sur lesquels se penchent tant de chercheurs depuis le début de la pandémie ? Par curiosité ! Ivan Lunati a étudié la littérature scientifique sur la propagation du virus dans l'air et a trouvé des questions ouvertes. « Ma vie était tellement influencée par les masques et les règles d'hygiène et de distance », dit-il, « je voulais comprendre pourquoi mon monde était en train de s'effondrer ». Et rendait également le quotidien professionnel plus difficile : Home Office et autres mesures n'ont en tout cas pas facilité la mise en place du laboratoire, selon Ivan Lunati.

Entre-temps, son équipe a pris forme : trois chercheurs expérimentés plus des post-doctorants, des étudiants et des techniciens chevronnés pour les futurs points forts du laboratoire, qui

comprend également une soufflerie d'eau et une soufflerie de vent – de grands appareils pour des expériences permettant d'explorer des phénomènes d'écoulement complexes.

Par exemple pour la recherche Covid. Pour mieux comprendre comment les gouttelettes contenant des agents pathogènes se déplacent et se propagent dans l'air, l'équipe a développé une « machine à tousser ». Comme des poumons, deux tuyaux envoient de l'air comprimé à travers une « bouche » ; avec une humidité relative et une température comme celles d'un être humain. Deux caméras enregistrent la manière dont les gouttelettes se déplacent dans la soufflerie. Grâce à de minuscules particules qui rendent les mouvements de l'air visibles, il est possible de développer des modèles pour décrire d'une manière plus précise la propagation des virus dans l'environnement.

Un terrain inconnu pour Ivan Lunati et son équipe, qui ont d'autant plus d'expérience dans d'autres domaines. Les milieux poreux sont son domaine de prédilection depuis de nombreuses années. Et la question : Comment peut-on modéliser mathématiquement les le comportement des différents fluides et leurs interactions avec la matrice poreuse ? Une image sur la page d'accueil du laboratoire de recherche illustre à quel point c'est compliqué : ce qui apparaît comme un enchevêtrement de tubes de vers colorés montre la forme de l'air qui pénètre dans un grès troué avec de minuscules pores, explique le physicien d'un geste du doigt – et déplace ainsi l'eau qui s'y trouvait auparavant.

Des idées complexes avec une valeur pratique : il y a des années déjà, Ivan Lunati a aidé à rendre de telles connaissances utilisables pour les eaux souterraines, le stockage des déchets

radioactifs, les gisements de pétrole ou les problèmes environnementaux. « Les entreprises investissent beaucoup dans les méthodes numériques », explique le physicien, « il faut pouvoir décrire comment l'eau, le pétrole ou le gaz se déplacent dans les réservoirs souterrains du plus petit pore de la roche à l'échelle du kilomètre ». De telles connaissances pourraient également aider à protéger le climat en stockant en profondeur et en toute sécurité le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

Depuis une vingtaine d'années, le physicien s'intéresse à la « modélisation multi-échelle », comme on appelle ce domaine spécialisé sur lequel travaillent des groupes de chercheurs du monde entier : Des simulations de l'infiniment petit à l'infiniment grand – par exemple de l'échelle quantique à la structure visible à l'œil nu, en passant par les liaisons atomiques et moléculaires. De tels modèles pourraient également être utiles pour de nouveaux matériaux. Prenons l'exemple des aérogels : ces matériaux extrêmement poreux devraient servir à l'avenir à fixer les molécules de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Pour savoir comment manipuler un aérogel en détail, l'équipe de Ivan Lunati va se mettre en réseau avec des spécialistes d'autres laboratoires de l'Empa.

## TRANSMETTRE DES THÈMES ET LES METTRE EN RÉSEAU

Les médias poreux, porteurs d'espoir ? Apparemment difficile à faire comprendre aux profanes, mais Ivan Lunati l'a un jour fait découvrir à des enfants – lors d'une journée portes ouvertes à l'Université de Lausanne. En prenant l'exemple de la production d'eau potable, raconte-t-il avec un sourire malicieux, « j'ai joué avec du sable, de l'eau et des matériaux poreux, issus d'une imprimante 3D. Tout simplement pour stimuler les enfants à s'intéresser à la recherche ».



## IVAN LUNATI

**PARCOURS** Post-doctorat à l'EPF de Zurich, Institute of Fluid Dynamics, Senior Scientist à l'EPF de Lausanne, professeur SNSF à l'Université de Lausanne, Institut des sciences de la Terre. Depuis février 2020, chef de laboratoire à l'Empa.

**SCIENCE** Études de physique à l'université de Milan, doctorat à l'EPF de Zurich, recherche sur les milieux poreux, la dynamique des fluides, la modélisation multi-échelle, la science des données et autres domaines avec de nombreuses publications. Membre de nombreux comités d'experts et paneliste pour des agences de financement.

« mur de la pensée » dans son bureau ne sera presque jamais vierge. Tout comme le « tableau noir » classique dans le hall commun lumineux de son laboratoire : parsemé de formules mathématiques – devant, une longue table pour les discussions en équipe. Enfin, Ivan Lunati veut aussi transmettre un mode de pensée : une certaine intuition pour simplifier et ne pas se noyer dans des masses de données – ne pas seulement trouver une formule quelconque, mais une solution simple et, oui, belle aussi.

« En ce sens, je suis déjà un scientifique à l'ancienne », avoue-t-il, « je veux décrire le monde ». Réduire les choses complexes – pour des solutions et des idées qui peuvent ensuite être utilisées pour une multitude de questions. C'est ainsi qu'il souhaite que son laboratoire soit : diversifié, mais en même temps suffisamment focalisé pour que son travail puisse être résumé en une phrase. Et oui : il doit encore s'agrandir. « Sur un sprint de 100 mètres, nous en serions maintenant à 50 mètres », dit-il, « mais en fait, c'est un marathon ».

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s305](http://www.empa.ch/web/s305)

Rendre des choses complexes « compréhensibles » lui procure un plaisir palpable – et n'est pas du tout en contradiction avec l'idée qu'il se fait de lui-même. « Je suis une personne théorique », dit certes Ivan Lunati, « la théorie est importante pour moi ». Mais cela ne veut pas dire qu'il néglige le regard sur la pratique – au contraire : « Si je travaille sur les bases de nouveaux modèles, ils pourront être utilisés plus tard par d'autres personnes – dans les domaines les plus divers ».

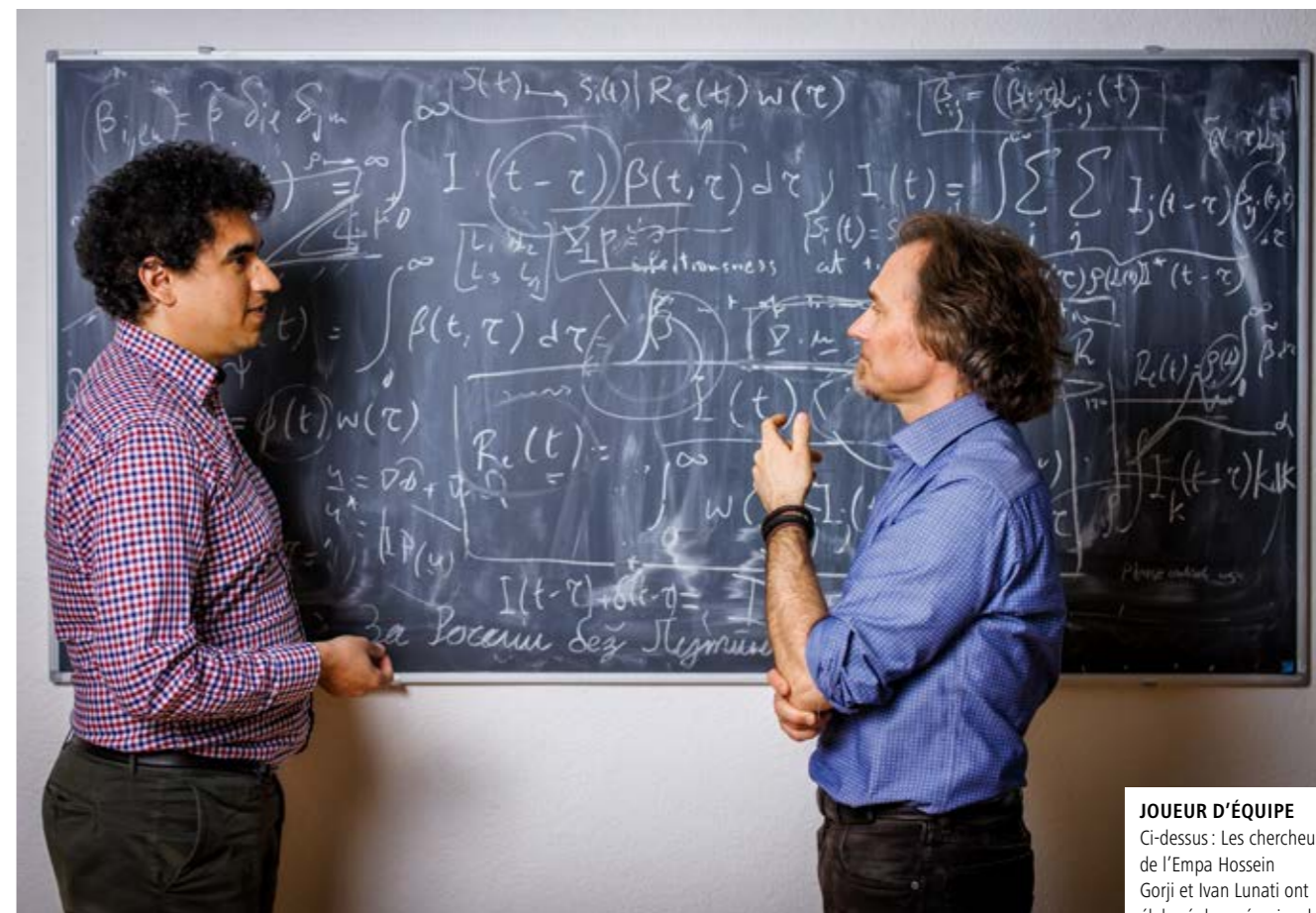
Il nourrit également cet espoir pour d'autres thèmes. Exemple « Embodied machine learning » : des drones, sur lesquels travaillent des spécialistes de l'Empa, pourraient être équipés avec de capteurs de mesure et des nouveaux algorithmes pour devenir intelligents en apprenant autant qu'ils interagissent avec leur environnement. Exemple de la propagation du Covid : au lieu des modèles de calcul habituels qui simulent

la propagation des coronavirus dans de différents groupes de population, les modèles futurs pourraient même mettre en réseau des personnes individuelles sur la base de données.

Ivan Lunati se saisit d'un imprimé sur la table du bureau : sous une carte de la Suisse, un réseau circulaire d'innombrables points noirs reliés par des traits pâles. « Ces points pourraient décrire des personnes et toutes ces lignes leurs contacts », explique-t-il. Un tel réseau ne résulte pas de statistiques « classiques », mais d'une analyse intelligente de données. En même temps, de tels procédés pourraient aussi révéler des interactions inconnues – donc de nouvelles perspectives qui permettraient à leur tour d'affiner les modèles traditionnels.

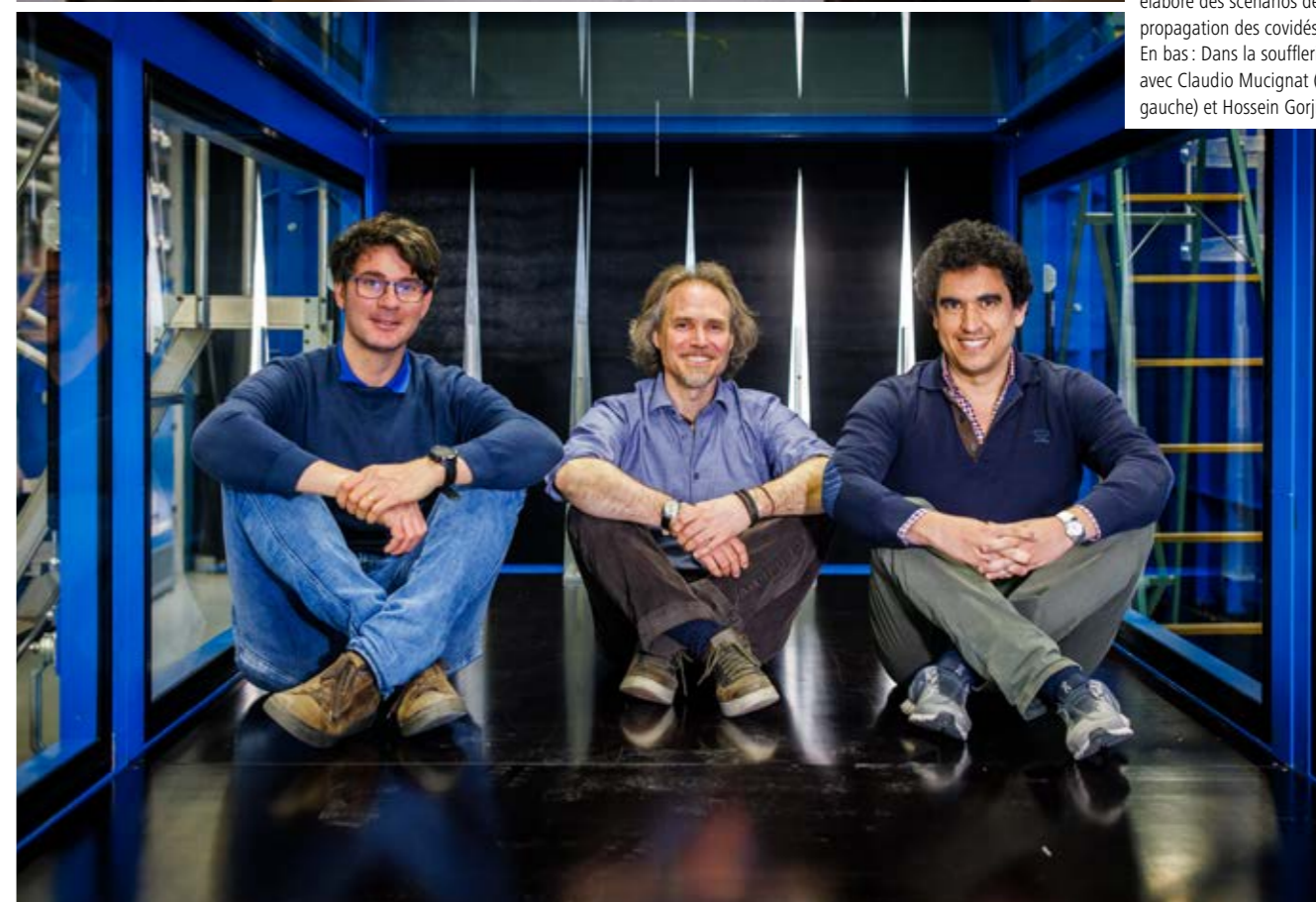
### L'INTUITION COMME VERTU DE LA RECHERCHE

Lorsque le modélisateur raconte, on sent son enthousiasme pour les idées ... – le



#### JOUEUR D'ÉQUIPE

Ci-dessus : Les chercheurs de l'Empa Hossein Gorji et Ivan Lunati ont élaboré des scénarios de propagation des covidés. En bas : Dans la soufflerie avec Claudio Mucignat (à gauche) et Hossein Gorji.



Photos: Nicolas Zonvi / Empa

# JE SUIS AUSSI UN CHAUFFAGE

Un centre de données récemment installé dans le bâtiment de recherche NEST ne sert pas seulement au traitement des données, mais contribue également au chauffage de l'ensemble du bâtiment. L'installation de serveurs fait partie du projet de recherche européen « ECO-Qube », qui étudie l'intégration des centres de données dans les systèmes de bâtiments et leur fonctionnement efficace sur le plan énergétique.

Texte : Stephan Kälin

« La tendance à l'Internet des objets signifie que nous devons à nouveau traiter les données localement, là où elles sont créées. »



#### CALCULER DE MANIÈRE ÉCOLOGIQUE

Le centre de données « ECO-Qube » du NEST fait à la fois partie de l'infrastructure informatique et de la technique du bâtiment.

Photo : Empa

Un clic en ligne laisse des traces. Non seulement sur le web lui-même, mais aussi sous la forme d'une empreinte écologique importante. En effet, même si toutes nos données semblent flotter dans le cloud, leur traitement et leur stockage nécessitent des centres de données physiques qui consomment d'énormes quantités d'énergie, dont une grande partie pour le refroidissement des installations. Les grands géants de la technologie sont désormais parfaitement conscients de leur responsabilité, investissent généreusement dans les énergies renouvelables et cherchent des moyens d'optimiser l'efficacité énergétique de leurs fermes de serveurs. L'une de ces voies mène par exemple au cercle polaire, où se trouvent désormais quelques-uns des plus grands centres de données au monde. Les températures froides qui y règnent contribuent à réduire les dépenses énergétiques pour le refroidissement des installations.

Mais avec les dernières tendances numériques comme l'intelligence artificielle (IA), la « réalité augmentée » ou l'« Internet des objets » (IoT), les prochains défis arrivent : Les quantités de données à traiter augmentent de manière incommensurable, tandis que des réactions en temps réel sont exigées – sans latence. Pour cela, le lieu de traitement des données doit à nouveau être beaucoup plus proche de leur lieu de création. Par exemple sous la forme d'un micro-centre de données dans le quartier. Dans le meilleur des cas, ce centre de données local ne sert pas seulement au traitement des données, mais est également utilisé pour le chauffage des bâtiments, en étant relié à l'alimentation en énergie. Un test sur le terrain avec des micro-centres de calcul dans le bâtiment de recherche NEST à l'Empa et sur deux autres sites en Turquie et aux Pays-Bas vise à explorer le potentiel de cette idée.

#### REFROIDIR INTELLIGEMMENT

Le projet, baptisé « ECO-Qube », est soutenu par le programme de financement de l'UE « Horizon 2020 » et réunit des partenaires de recherche et partenaires industriels de Suisse, de Turquie, d'Espagne, d'Allemagne, des Pays-Bas et de Suède. « Notre objectif est de réduire à la fois les besoins énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub> des petits centres de calcul d'un cinquième chacun », explique Çağatay Yılmaz, directeur de l'innovation chez Lande, fournisseur turc de solutions informatiques, et responsable du projet « ECO-Qube ». Selon la Sustainable Digital Infrastructure Alliance, un autre partenaire du projet, les centres de données traditionnels ne fonctionnent souvent qu'à un taux d'utilisation d'environ 15 pour cent. Malgré cela, les serveurs ont constamment besoin d'électricité et sont refroidis. Pour remédier à ce problème, le refroidissement des centres de données « ECO-Qube » est rendu intelligent : les données des capteurs des différents composants informatiques sont accumulées dans des structures de big data et contribuent à ce que la répartition de la chaleur au sein de l'installation soit enregistrée avec précision à tout moment. L'intelligence artificielle combine ces données avec des simulations de flux d'air, de sorte que le refroidissement peut être utilisé de manière très ciblée. Parallèlement, les charges de calcul sont réparties dans les trois centres de calcul test en Suisse, en Turquie et aux Pays-Bas de manière à ce que les trois installations puissent être exploitées de la manière la plus efficace possible sur le plan énergétique.

#### UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

Les trois centres de données sont directement intégrés dans les systèmes énergétiques des quartiers environnants et doivent être alimentés autant que possible par de l'énergie renouvelable. Dans le NEST, par exemple, l'électricité

nécessaire au fonctionnement du centre de données provient entre autres des installations photovoltaïques des unités NEST et du démonstrateur de mobilité move. La chaleur résiduelle du centre de calcul est transférée au réseau à moyenne ou basse température existant. En hiver, elle alimente ainsi directement le chauffage du bâtiment et, tout au long de l'année, elle sert en même temps de source pour une pompe à chaleur qui fournit l'eau chaude sanitaire.

« Pour nous, il est intéressant de considérer le microcentre de calcul non seulement comme un consommateur électrique, mais aussi comme un composant dynamique dans le système global, que nous pouvons utiliser de manière à ce que les calculs aient lieu lorsque cela a un sens sur le plan écologique. Le couplage du monde électrique et thermique avec l'infrastructure informatique et le traitement des données offre un grand potentiel d'optimisation vers une exploitation durable », explique Philipp Heer, directeur de l'« Energy Hub » (ehub) à l'Empa.

Le projet durera environ trois ans. Une fois terminé, l'équipe souhaite pouvoir fournir des directives aux planificateurs et aux exploitants de bâtiments afin de les aider à intégrer les centres de données dans les bâtiments et les quartiers de manière efficace sur le plan énergétique. ■

Plus d'informations : <https://eco-qube.eu/>

## UN CHERCHEUR DE L'EMPA DEVIENT PRÉSIDENT DE L'EUROPEAN CERAMIC SOCIETY

Thomas Graule, chef du département «High Performance Ceramics» de l'Empa, a été élu président de la Société européenne de la céramique ECerS – l'organisation faitière de 28 associations nationales qui s'occupe de la formation des chercheurs, organise des conférences internationales et encourage l'échange de publications scientifiques dans le domaine de la recherche sur la céramique. L'ECerS représente également les intérêts de l'industrie européenne de la céramique et fait le lien entre la recherche académique et l'application des matériaux céramiques. Thomas Graule assurera la présidence de l'ECerS de 2023 à 2025.

<https://ecers.org>



**COORDINATEUR**  
Thomas Graule met en relation les chercheurs en céramique de toute l'Europe.

## MEMBRE DU RÉSEAU DE RECHERCHE INFORMATIQUE MARVEL



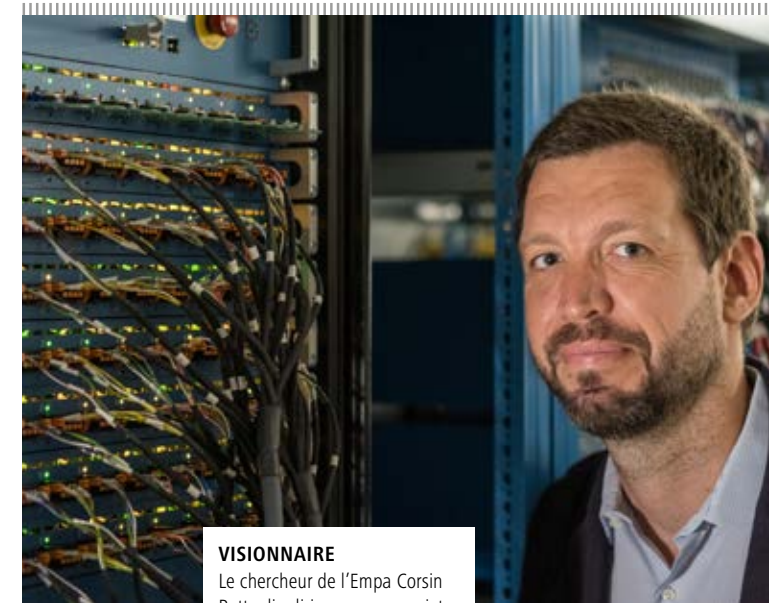
**DES SOLUTIONS COMPLEXES**  
Daniele Passerone est expert en simulations informatiques.

L'ETH Zurich a nommé Daniele Passerone, chercheur à l'Empa, professeur titulaire en mars 2022. Il fait de la recherche à l'Empa depuis 2006, où il dirige l'équipe «Atomistic Simulations» du laboratoire «nanotech@surfaces». Les activités de l'équipe «Atomistic Simulations» vont de la modélisation de la microscopie atomique, électronique et à effet tunnel à l'étude des nanostructures de surface en passant par la thermodynamique de la croissance et les propriétés structurales et électroniques des clusters, des matériaux et des films. Depuis peu, le groupe de Daniele Passerone participe également au Centre national de compétence pour le développement de nouveaux matériaux à l'aide de l'ordinateur (NCCR MARVEL).

<https://nccr-marvel.ch/research/ii/design-and-discovery/low-dimensional-materials>

Photos: Empa

## «CIRCUBAT» AMÉLIORE L'ÉCOBILAN DE L'E-MOBILITÉ



**VISIONNAIRE**  
Le chercheur de l'Empa Corsin Battaglia dirige un sous-projet du projet de recherche CircuBAT.

Le projet de recherche CircuBAT vise à boucler la boucle entre la production, l'utilisation et le recyclage des batteries lithium-ion issues de la mobilité. Pour ce faire, sept institutions de recherche suisses ainsi que 24 entreprises cherchent ensemble des possibilités d'optimisation. Parmi les sept sous-projets, trois sont dirigés par des chercheurs de l'Empa. Le sous-projet «Fabrication de cellules de batteries» vise à rendre le processus de fabrication plus économe en énergie. L'étape de loin la plus gourmande en énergie lors de la fabrication d'une cellule de batterie lithium-ion est le séchage de l'électrode de la batterie après le revêtement. Un revêtement sec de l'électrode supprimerait cette étape, ce qui permettrait de réaliser d'importantes économies d'énergie et de coûts. Corsin Battaglia dirige ce sous-projet.

<https://circubat.ch>

Photo: Empa

## SÉMINAIRES DE L'ACADÉMIE DE L'EMPA (EN ALLEMAND ET EN ANGLAIS)

10. MAI 2022

**Tropical Day: Imaging and Image Analysis XIII**  
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/imaging](http://www.empa-akademie.ch/imaging)  
Online

20. MAI 2022

**Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion**  
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/korrosion](http://www.empa-akademie.ch/korrosion)  
Empa, Dübendorf

29. JUNI 2022

**Technology Briefing: Materials for CO<sub>2</sub> UNtdown – Mit innovativen Materialien zur CO<sub>2</sub>-Neutralität**  
Zielpublikum: Wirtschaft und Industrie  
[www.empa-akademie.ch/technology](http://www.empa-akademie.ch/technology)  
Empa, Dübendorf

01. JULI 2022

**Kurs: Hightech-Keramiken**  
Zielpublikum: Industrie und Forschung  
[www.empa-akademie.ch/ht-keramik](http://www.empa-akademie.ch/ht-keramik)  
Empa, Dübendorf

13. – 15. SEPTEMBER 2022

**Biointerfaces International Conference (BIC) 2022**  
Zielpublikum: Industrie und Wissenschaft  
[www.biointerfaces.ch](http://www.biointerfaces.ch)  
ETH, Zürich

Vous trouverez la liste complète des événements sur:  
[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



**Empa**

Materials Science and Technology