

# Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #79 II AVRIL 2023

FOCUS: DRONES

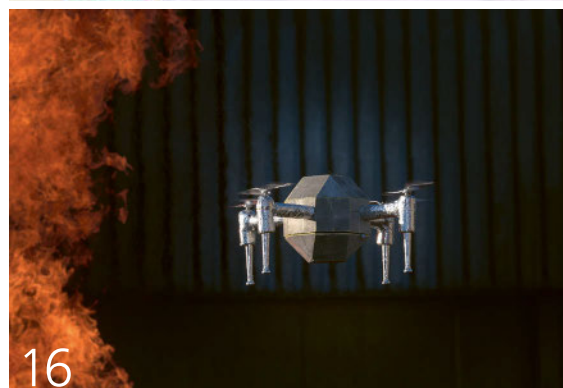
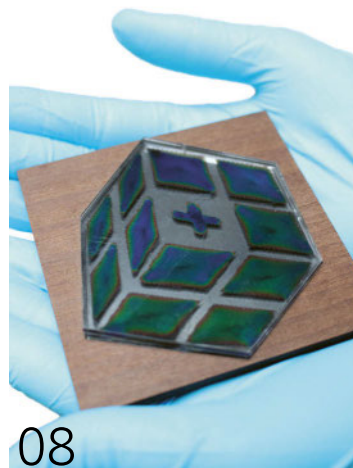
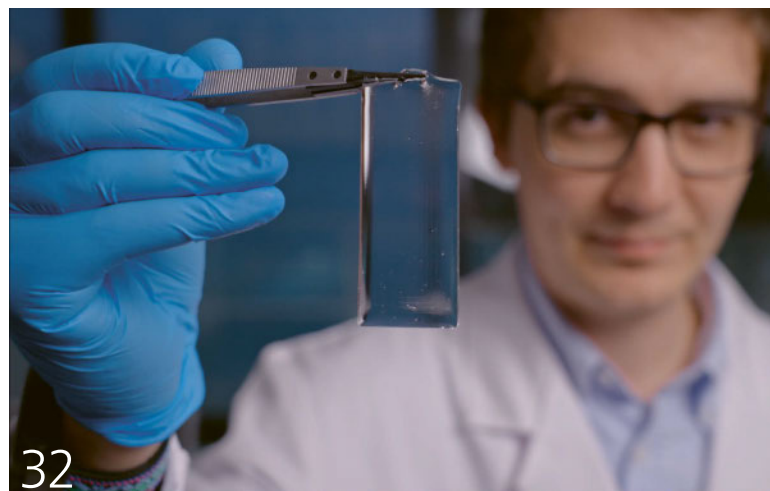
## LA MESURE DE L'ENVIRONNEMENT

VOL DANS L'ENFER  
TEST D'ACIDITÉ DANS LA FORÊT  
UN ESPION DANS LE VENTRE



# [ CONTENT ]

[ FOCUS : DRONES ]



Photos et illustrations : Empa (4), Schwarz Pictures

## [ FOCUS ]

**14** GRAPHIQUE  
Les drones dans leur élément

**16** « FIREDRONE »  
Il traverse le feu pour nous

**20** « DRONEHUB »  
Une volière pour la recherche sur les drones

**24** BIOPLANEURS  
Délicat, diligent, éphémère

**27** « SAILMAV »  
Une courte visite

## [ THÈMES ]

**08** BIODISPLAY  
L'effet caméléon

**10** TECHNOLOGIE QUANTIQUE  
Maîtres des défauts

**30** ISOLATION DES BÂTIMENTS  
Maçonnerie lumineuse

**32** TECHNOLOGIE MÉDICALE  
Un espion dans le ventre

## [ RUBRIQUES ]

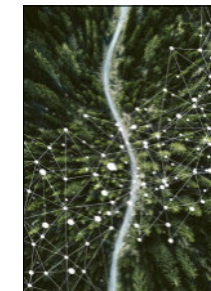
**04** LA PHOTO

**06** BRIÈVEMENT

**28** ZUKUNFTSFONDS  
« L'accélérateur de recherche »

**34** EN ROUTE

## [ COUVERTURE ]



Mesurer ce que l'on veut protéger : les drones du laboratoire «Sustainability Robotics» de l'Empa sont capables d'observer la nature de manière bien moins intrusive qu'un être humain. Certains d'entre eux se dissolvent et retournent ainsi d'eux-mêmes dans le cycle naturel dès que leur travail est terminé. (Voir p. 24.)  
Image : iStock, Empa

## [ IMPRESSUM ]

**ÉDITEUR :** Empa  
Überlandstrasse 129  
8600 Dübendorf, Schweiz  
[www.empa.ch](http://www.empa.ch)

**RÉDACTION :** Empa Kommunikation  
**DIRECTION ARTISTIQUE :**

PAUL AND CAT. [www.paul-and-cat.com](http://www.paul-and-cat.com)  
**CONTACT :** Tél. +41 58 765 47 33  
[redaktion@empa.ch](mailto:redaktion@empa.ch)  
[www.empaquarterly.ch](http://www.empaquarterly.ch)  
**PUBLICATION :**  
publié quatre fois par an  
**PRODUCTION**  
[anna.ettlin@empa.ch](mailto:anna.ettlin@empa.ch)



ISSN 2673-1746  
Empa Quarterly (édition française)

## EXTERNALISER LA RÉFLEXION? PAS UNE BONNE IDÉE!

Chère lectrice,  
cher lecteur



Le monde autour de nous devient de plus en plus intelligent : emballages, voitures, maisons, programmes de traitement de texte et d'image – alias « ChatGPT », « Midjourney » et autres. Il est donc temps de se détendre pendant que l'intelligence artificielle (IA) fait le travail à notre place? Pas vraiment; les performances de notre cerveau dépendent d'un entraînement constant. Et si les produits générés par ordinateur sont fascinants, ils présentent aussi des zones d'ombre. Car l'IA ne nous aide pas seulement à mieux comprendre notre monde; elle permet même de créer d'autres réalités – voir les « deepfakes ».

Nous devrions donc nous demander : où l'IA apporte-t-elle des avantages, où devons-nous être vigilants? Comprenons-nous suffisamment bien notre nouveau « jouet » pour le lâcher dans le monde sans « mode d'emploi »? Aucune IA, aussi intelligente soit-elle, ne peut se charger de ces réflexions à notre place. Nous ferions donc bien de maintenir notre organe de réflexion en forme à l'avenir – malgré tous les agréments que « ChatGPT » et autres nous offrent.

Quel est le rapport avec l'Empa? D'une part, nous développons des systèmes autonomes et les matériaux nécessaires pour que les drones puissent effectuer diverses tâches dangereuses, comme la surveillance des infrastructures, l'observation de l'environnement et la lutte contre les incendies – comme l'illustre le Focus actuel. D'autre part, nous étudions le pour et le contre des nouvelles technologies et explorons les multiples interactions entre l'homme et les systèmes autonomes dans le « DroneHub » prévu.

Bonne lecture!  
Votre MICHAEL HAGMANN



**LA COLOCATION DE L'HORREUR**

Dans cette habitat, l'hygiène est une priorité : Les bactéries de cette image prise au microscope électronique à balayage se sont réunies en une joyeuse société sur une racine dentaire (en beige). Les bactéries en bâtonnets (vert) et les cocci (jaune) recouvrent la racine de la dent et ses ouvertures pour l'approvisionnement en sang. Ce biofilm s'accroche obstinément aux dents à l'aide d'une matrice contenant des sucres. Selon la composition de la société bactérienne, le biofilm provoque des caries et des inflammations à la racine de la dent. Les chercheurs de l'Empa étudient les mécanismes de ces communautés et développent des matériaux biomédicaux afin de mettre un terme aux agents pathogènes.

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s404](http://www.empa.ch/web/s404)

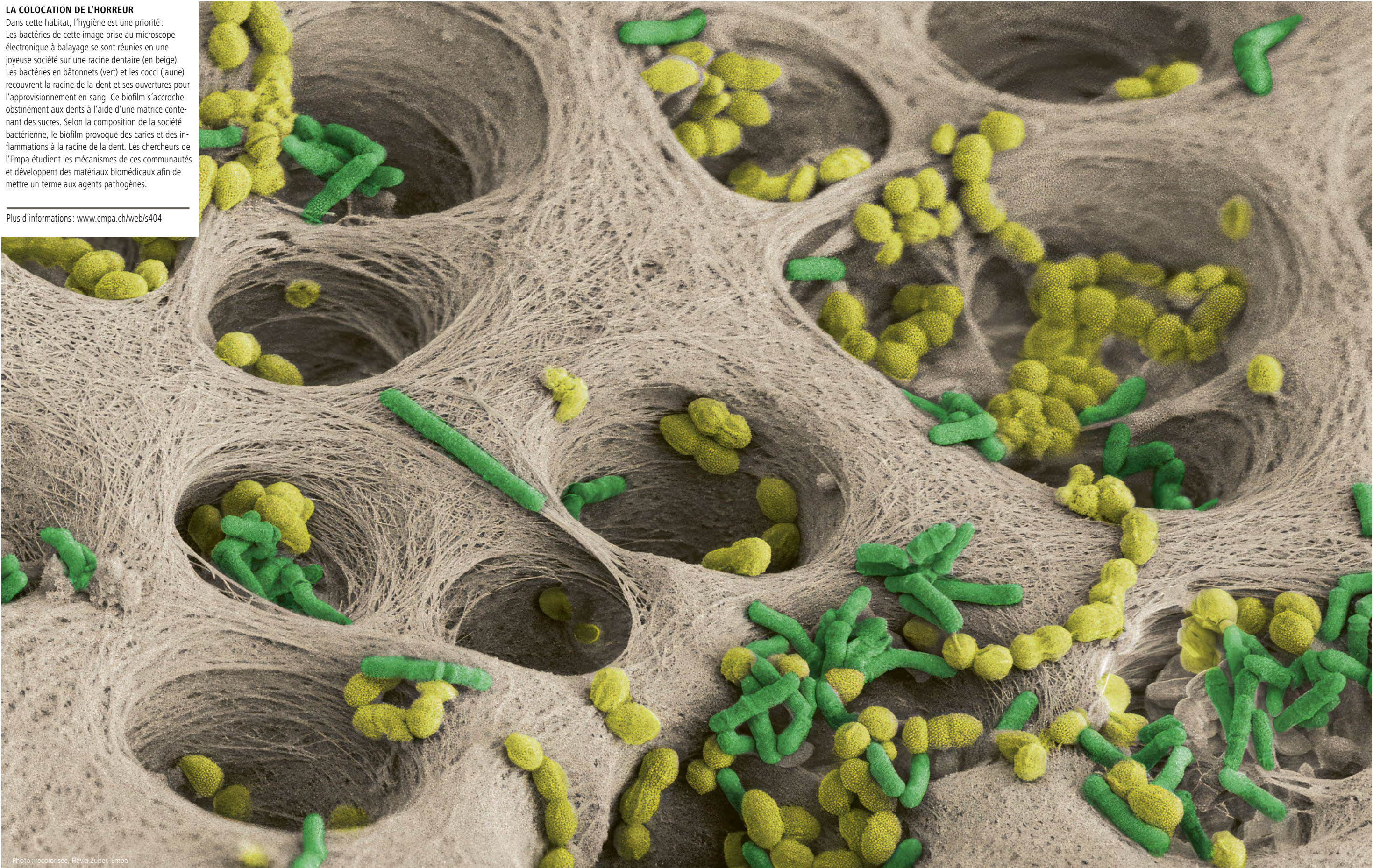


Photo : recolorisée, Flavia Zuber, Empa



## UN LIVRE POUR ENFANTS POUR L'AVENIR



### COLLABORATION

Des écoliers et des chercheurs élaborent ensemble un livre pour enfants sur l'économie circulaire.

Crise climatique, perte de biodiversité, augmentation des déchets, diminution des ressources : notre maison commune est en proie à une crise profonde. La recherche nous dit ce que nous devons faire pour construire une société durable : limiter la consommation de ressources, faire circuler les matériaux dans la technosphère et alimenter les cycles de matières durables en énergie renouvelable. Cependant, les conditions, les voies et les possibilités ne sont pas très tangibles. Pour changer cela, les chercheurs de l'Empa ont trouvé des partenaires de collaboration très particuliers : des écoliers. Accompagnés par la Haute école pédagogique de Saint-Gall (PHSG), ils veulent développer avec des élèves de l'école primaire des visions pour un avenir durable et les consigner dans un livre illustré pour enfants. Le Fonds national suisse (FNS) soutient le projet dans le cadre du programme Agora, en collaboration avec le fabricant d'appareils ménagers V-Zug et l'association économique SWICO.

[www.empa.ch/web/s506](http://www.empa.ch/web/s506)

## RENCONTREZ LES ESPRITS BRILLANTS DE L'EMPA



### « BRIGHT MINDS »

La nouvelle série de vidéos donne un aperçu du parcours personnel des chercheurs de l'Empa.

Il n'est pas facile de développer des solutions qui changent la donne pour les défis les plus pressants de la société. Les scientifiques de l'Empa s'attellent à cette tâche – et ils y parviennent. Il est grand temps de mettre en lumière les visages qui se cachent derrière les nouveaux matériaux et technologies développés à l'Empa : Une nouvelle série de vidéos – « Bright Minds : Bold Ideas. Smart Materials » vous donnera un aperçu du parcours personnel d'un chercheur et de son chemin vers les découvertes jusqu'au passage de la recherche aux applications pratiques. Les vidéos révèlent également comment le travail en équipe interdisciplinaire à l'Empa fait progresser l'innovation. « Bright Minds » sera lancé en mai 2023, avec Mirko Kovac et Evgeniia Gilshtein, experts en robotique durable, au centre de l'attention.

[www.empa.ch/bright-minds](http://www.empa.ch/bright-minds)

Photo : Pixabay, illustration : Empa

Photo : PNRX/PEV, illustration : iStock

## UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE RÉVOLUTIONNE L'ANALYSE DES GLACES ANCIENNES



### HISTOIRE CONGELÉE

La glace vieille de 1,5 million d'années contient des bulles d'air du passé et constitue donc une archive climatique importante.

Le projet européen « Beyond EPICA », auquel participe l'Université de Berne, vise à analyser des glaces de l'Antarctique vieilles de 1,5 million d'années afin d'obtenir des données sur l'histoire climatique de la Terre. De telles carottes de glace constituent des archives climatiques importantes. Elles contiennent des bulles d'air dans lesquelles il est possible de mesurer directement les concentrations de gaz à effet de serre du passé. Cette mesure n'est toutefois pas triviale : 15'000 à 20'000 ans d'histoire climatique sont comprimés dans une carotte de glace d'un mètre seulement. En collaboration avec l'Université de Berne, des chercheurs de l'Empa ont élaboré une nouvelle méthode pour analyser avec précision une glace aussi ancienne. À cette fin, l'équipe de Lukas Emmenegger, directeur du département « Pollution de l'air/technique environnementale » de l'Empa, a développé un nouveau spectromètre laser capable de mesurer les gaz à effet de serre sur un échantillon de seulement 1,5 millilitre d'air.

[www.empa.ch/web/s503](http://www.empa.ch/web/s503)

## DES COMPOSANTS INFORMATIQUES INSPIRÉS DES CELLULES DU CERVEAU

Des chercheurs de l'Empa, de l'ETH Zurich et du « Politecnico di Milano » développent un nouveau type de composant informatique plus performant et plus simple à fabriquer que ses prédécesseurs. Sa particularité : il doit, à l'instar du cerveau humain, traiter de grandes quantités de données rapidement et avec une grande efficacité énergétique. Ce nouveau composant, que l'on appelle un memristor, est basé sur des nanocristaux d'halogénures de perovskite, un matériau semi-conducteur bien connu pour la fabrication de cellules solaires. Les chercheurs ont fabriqué les memristors en couches minces au « Thin Films and Photovoltaics Laboratory » et ont étudié leurs propriétés physiques au « Transport at Nanoscale Interfaces Laboratory » de l'Empa. Sur la base des résultats de mesure, ils ont ensuite simulé avec succès une tâche de calcul complexe correspondant à un processus d'apprentissage dans le cortex visuel du cerveau.

[www.empa.ch/web/s207](http://www.empa.ch/web/s207)



### PERFORMANCE

Aucun ordinateur ne fonctionne encore avec autant d'efficacité énergétique que le cerveau humain.



# L'EFFET CAMÉLÉON

Fabriquer des capteurs et des écrans biodégradables par impression 3D ? Des chercheurs du laboratoire « Cellulose & Wood Materials » de l'Empa ont mis au point un matériau à base de cellulose qui permet précisément de réaliser cela. Le mélange d'hydroxypropyl-cellulose, d'eau, de nanotubes de carbone et de nanofibres de cellulose change de couleur en fonction de la température et de l'étirement – et ce sans aucun ajout de pigments.

Texte : Anna Ettlin

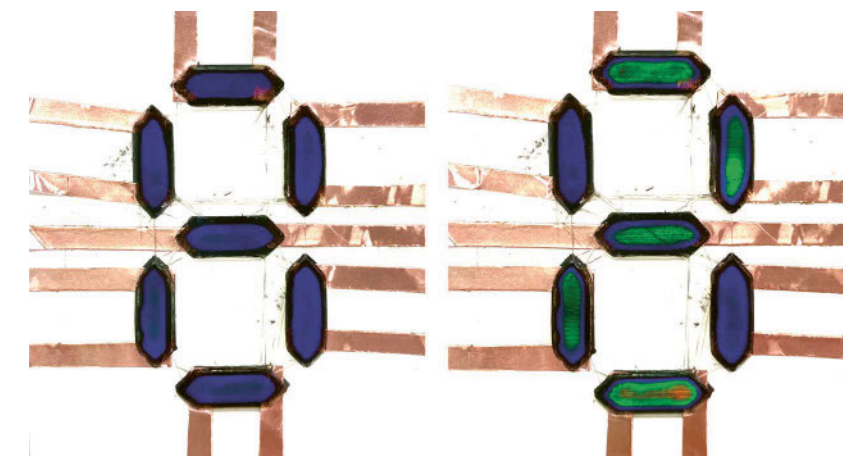


**CELLULOSE MULTICOLEURE**  
Le logo de l'Empa imprimé en 3D à partir du nouveau mélange HPC change de couleur lorsqu'il est chauffé.

Un matériau élastique qui change de couleur, conduit l'électricité, peut être imprimé en 3D et est en outre biodégradable ? Ce n'est pas seulement un vœu pieux de la science : c'est précisément cette solution miracle que les chercheurs de l'Empa du laboratoire « Cellulose & Wood Materials » à Dübendorf ont fabriquée à base de cellulose et de nanotubes de carbone.

Les chercheurs ont utilisé comme matière première de l'hydroxypropylcellulose (HPC), qui est notamment utilisée comme excipient dans les produits pharmaceutiques, les cosmétiques et les aliments. L'une des particularités de la HPC est qu'elle forme des cristaux liquides après l'ajout d'eau. Ces cristaux liquides ont une propriété remarquable : selon leur structure cristalline – qui dépend entre autres de la concentration en HPC – ils irisent dans les couleurs les plus diverses – bien qu'ils soient en fait sans couleur ou sans pigment. Ce phénomène, appelé coloration structurelle, est bien connu dans la nature : Les plumes de paon, les ailes de papillon et la peau du caméléon ne doivent pas tout ou partie de leur coloration multicolore à des colorants, mais à des structures microscopiques qui « divisent » la lumière du jour (blanche) incidente en ses couleurs spectrales et ne réfléchissent que certaines longueurs d'onde – c'est-à-dire certaines couleurs.

La couleur structurelle du HPC ne change pas seulement avec la concentration, mais aussi avec la température. Pour mieux exploiter cette propriété, l'équipe de Gustav Nyström a ajouté 0,1 % de nanotubes de carbone au mélange de HPC et d'eau. Cela rend le liquide conducteur d'électricité et permet aux chercheurs de contrôler la température – et donc la couleur



**BIODÉGRADABLE**  
L'écran est composé de sept segments conducteurs qui changent de couleur sous l'effet de la chaleur du courant.

des cristaux liquides – en appliquant une tension électrique. Bonus : Le carbone agit comme un absorbeur à large spectre, ce qui rend les couleurs plus intenses. Grâce à un autre additif, une petite quantité de nanofibres de cellulose, l'équipe de Gustav Nyström a en outre réussi à rendre le mélange imprimable en 3D sans compromettre la coloration et la conductivité.

**CAPTEURS ET ÉCRANS DURABLES**  
Grâce à l'impression 3D, les chercheurs ont fabriqué différents exemples d'applications à partir de ce nouveau mélange de cellulose. Parmi eux, un capteur de contrainte qui change de couleur en fonction de la déformation mécanique, ainsi qu'un simple écran composé de sept segments commandés électriquement. « Nous avons déjà développé dans notre laboratoire différents composants électroniques à base de cellulose, comme des batteries et des capteurs », explique Xavier Aeby, co-auteur de l'étude. « C'est maintenant la première fois que nous avons également pu développer un écran à base de cellulose ».

À l'avenir, l'encre à base de cellulose pourrait trouver de nombreuses applications très différentes, par exemple pour des capteurs de température et de déformation, pour le contrôle de la qualité des aliments ou pour le diagnostic biomédical. « Les matériaux durables qui peuvent être imprimés en 3D présentent un grand intérêt, notamment pour des applications dans l'électronique biodégradable et pour l'internet des objets », explique le directeur du laboratoire, Gustav Nyström. « Il y a encore beaucoup de questions ouvertes sur la manière dont la coloration structurelle se forme en fait et comment elle peut être modifiée par différents additifs ou par des influences environnementales ». C'est ce que Gustav Nyström et son équipe veulent continuer à explorer dans l'espoir de découvrir d'autres phénomènes et applications intéressants. ■

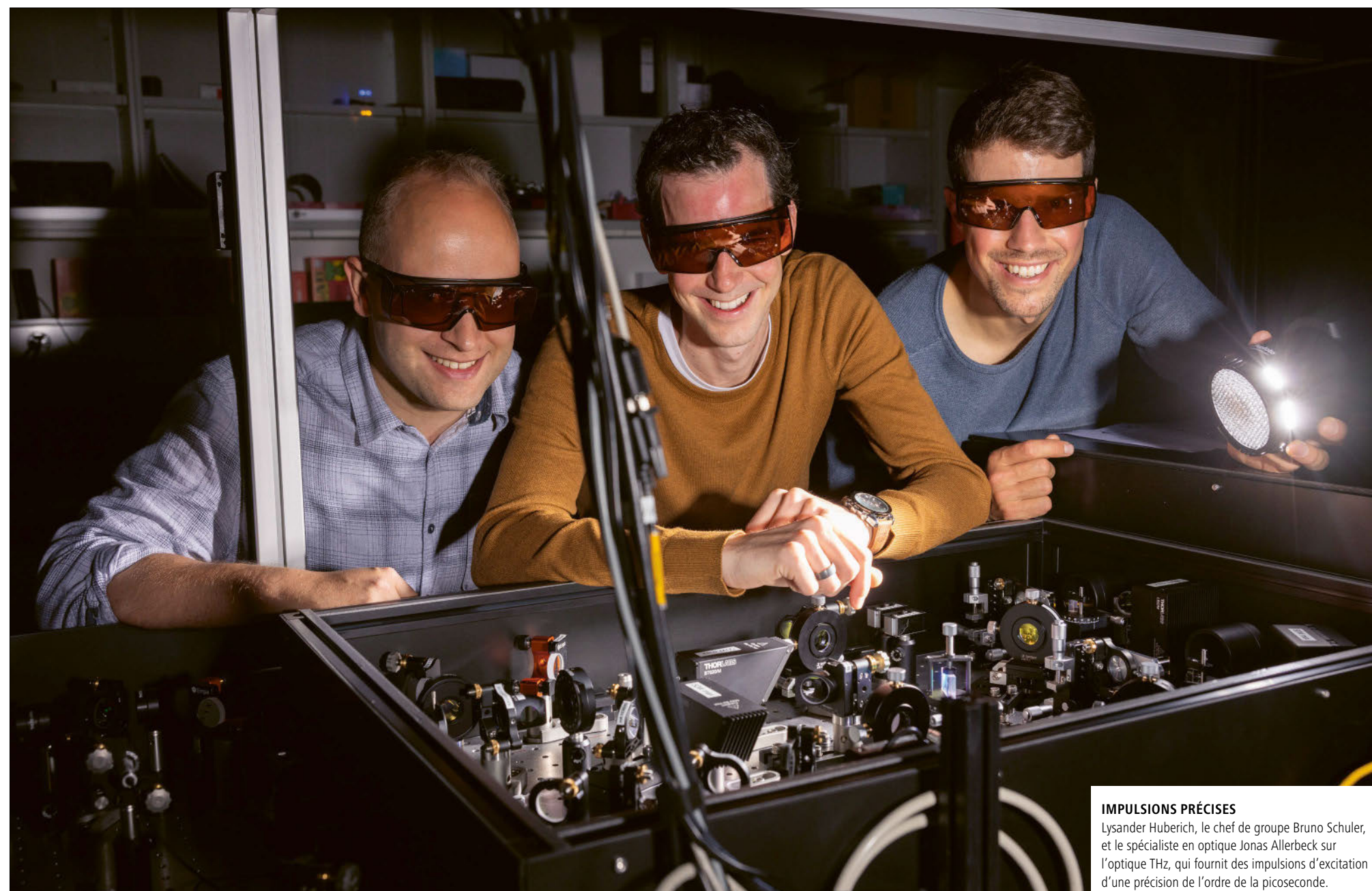
Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s302](http://www.empa.ch/web/s302)



# MAÎTRES DES DÉFAUTS

Bruno Schuler lance un projet de recherche ambitieux avec sa jeune équipe : il va créer des défauts ciblés dans des couches de semi-conducteurs de la taille d'un atome et tenter de mesurer et de contrôler leurs propriétés quantiques avec une résolution temporelle de l'ordre de la picoseconde, tout en étant précis à l'atome près. Il devrait en résulter des connaissances fondamentales pour les futurs ordinateurs quantiques.

Texte : Rainer Klose



## IMPULSIONS PRÉCISES

Lysander Huberich, le chef de groupe Bruno Schuler, et le spécialiste en optique Jonas Allerbeck sur l'optique THz, qui fournit des impulsions d'excitation d'une précision de l'ordre de la picoseconde.

Le terme de bisulfure de molybdène est peut-être familier à certains automobilistes et mécaniciens. Rien d'étonnant à cela : cette substance, découverte par le chimiste américain Alfred Sonntag dans les années 1940, est encore utilisée aujourd'hui comme lubrifiant haute performance dans les moteurs et les turbines, mais aussi pour les boulons et les vis. Cela est dû à la structure chimique particulière de ce solide, dont les

différentes couches de matériau peuvent facilement coulisser les unes sur les autres. Le bisulfure de molybdène ( $\text{MoS}_2$  chimique) ne fait pas que bien lubrifier, il est également possible d'exfolier une seule couche atomique de ce matériau ou de la faire croître synthétiquement à l'échelle d'une plaquette. L'isolation contrôlée d'une monocouche de  $\text{MoS}_2$  n'a été réalisée qu'il y a quelques années, mais elle est déjà considérée comme une percée dans la science des

matériaux avec un énorme potentiel technologique. C'est précisément avec cette classe de matériaux que l'équipe de l'Empa veut maintenant travailler.

Sa structure stratifiée en couches atomiques individuelles rend cette substance intéressante pour les physiciens à la recherche de matériaux de base pour les nano-ordinateurs de la prochaine génération. Le  $\text{MoS}_2$  – et ses parents chimiques, appelés dichalcogénures de

métaux de transition (TMD) – est l'un des sujets les plus « chauds » dans toute une série de matériaux bidimensionnels (2D). Les TMD sont des semi-conducteurs 2D et ont une bande interdite directe, mais uniquement lorsqu'ils sont en monocouche, ce qui les rend particulièrement intéressants pour les circuits électroniques miniaturisés ultimes ou les détecteurs optiques. Les propriétés mécaniques quantiques robustes des matériaux 2D font également l'objet de ►

Photo : Gian Vaitl, Empa



recherches intensives pour une utilisation dans la métrologie quantique, la cryptographie quantique et la technologie de l'information quantique.

Ce n'est pas seulement le matériau de base qui compte, mais aussi et surtout la gestion des défauts : Comme pour le dopage des semi-conducteurs « classiques » dans les circuits intégrés ou les ions étrangers dans les lasers à l'état solide, les défauts atomiques sont la partie intéressante, en particulier pour les matériaux 2D, selon Bruno Schuler.

#### DES ORDINATEURS QUANTIQUES ULTRAMINCES ?

Le chercheur de l'Empa veut caractériser les défauts atomiques dans les TMD à l'aide d'un instrument de mesure d'un nouveau genre et étudier leur aptitude à servir d'émetteurs quantiques. Les émetteurs quantiques constituent l'interface entre deux mondes : le spin de l'électron – le pendant du couple de l'électron en mécanique quantique – qui se prête au traitement de l'information quantique, et les photons, c'est-à-dire les particules de lumière, à l'aide desquels on peut transmettre des informations quantiques sur de longues distances sans perte. Les matériaux 2D présentent le grand avantage que les échelles d'énergie pertinentes sont beaucoup plus grandes que pour les matériaux 3D, de sorte qu'il sera probablement possible d'utiliser cette technologie au-dessus d'un environnement cryogénique – idéalement même à température ambiante. De plus, les défauts se trouvent obligatoirement à la surface du matériau 2D, ce qui les rend beaucoup plus faciles à repérer et à manipuler.

Mais il s'agit d'abord de repérer les défauts dans la couche bidimensionnelle de  $\text{MoS}_2$  et d'étudier avec précision ses propriétés électroniques et optiques. Précis, cela signifie dans ce

cas que l'endroit étudié est exploré à un angström près. A titre de comparaison, 1 angström correspond à un mètre, comme 4 cm à la distance Terre-Lune (400 000 km). Et l'instantané qui enregistre l'excitation électronique du point quantique doit être précis à une picoseconde (ps) près – 1 ps est une fraction de seconde aussi petite que 2 jours par rapport à l'âge de la planète Terre (5 milliards d'années). Ces mesures ultracourtes et précises à l'échelle atomique fournissent alors une image très détaillée des processus dynamiques qui se déroulent à l'échelle atomique et de ce qui influence ces processus.

#### UN APPAREIL COMPOSÉ DE DEUX MOITIÉS

L'appareillage dans lequel les expériences doivent avoir lieu se trouve déjà dans une pièce au sous-sol du bâtiment des laboratoires de l'Empa à Dübendorf – là où le sol est le plus stable mécaniquement. « Nous avons investi plus d'un an et demi de préparation et de développement pour finaliser notre montage expérimental », explique Bruno Schuler. « En octobre 2022, nous avons relié les deux moitiés de notre installation et avons pu mesurer pour la première fois des courants induits par des ondes lumineuses. Le principe fonctionne ! C'est une énorme étape dans le projet ».

Les deux moitiés avec lesquelles l'équipe de Bruno Schuler va maintenant travailler sont d'une part un microscope à effet tunnel (STM). La surface atomique de l'objet d'expérience est scannée à l'aide d'une pointe ultrafine. Les scientifiques positionnent la pointe pour l'expérience à un endroit défectueux, c'est-à-dire un défaut ou un atome « étranger » dans la structure.

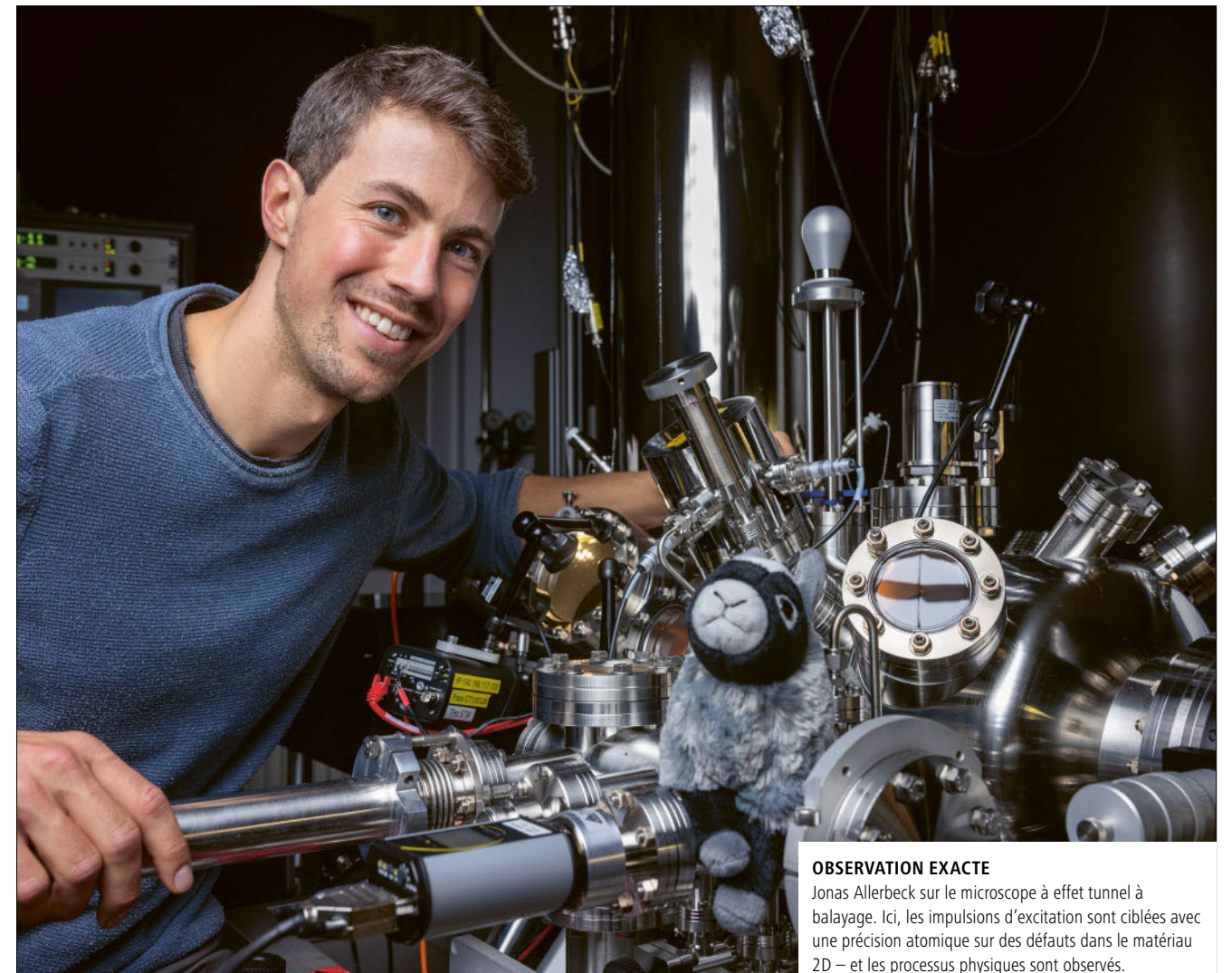
C'est alors que la deuxième moitié de l'installation, mise en place par le collègue de Bruno Schuler Jonas Allerbeck, entre en action : Un laser infrarouge

de 50 watts envoie des impulsions laser ultracourtes sur un cristal de niobate de lithium optiquement non linéaire. Cela permet de générer une impulsion électromagnétique stable en phase dans la gamme de fréquences des térahertz. Cette impulsion a la particularité de ne durer qu'une seule oscillation lumineuse et, grâce à une optique spéciale, elle peut être divisée en une paire d'impulsions d'excitation et de balayage – qui se succèdent toutes deux avec un délai variable et permettent de mesurer la dynamique des électrons de manière stroboscopique.

#### UN ÉLECTRON « SAUTE » SUR LE DÉFAUT

Les deux impulsions sont alors envoyées dans le STM et dirigées vers la pointe de l'échantillon. La première impulsion détache un électron de la pointe, qui « rebondit » sur le défaut de la couche bidimensionnelle de  $\text{MoS}_2$  et y déclenche une excitation électronique. « Il peut s'agir soit d'une charge électrique, d'une excitation de spin, d'une oscillation du réseau ou d'une paire électron-trou que nous créons à cet endroit », explique Bruno Schuler. « Avec la deuxième impulsion, nous regardons ensuite quelques picosecondes plus tard comment notre défaut a réagi à l'impulsion d'excitation, et nous pouvons ainsi étudier les processus de décohérence et le transfert d'énergie dans le matériau support ».

Bruno Schuler est ainsi l'un des rares spécialistes au monde à combiner une résolution temporelle picoseconde avec une méthode capable de « voir » les atomes individuels. Pour ce faire, l'équipe utilise la localisation intrinsèque des états dans le système de matériaux 2D afin de retenir les excitations plus longtemps au même endroit. « Le microscope à balayage ultrarapide à ondes lumineuses nous ouvre de nouvelles perspectives fascinantes sur les processus de la mécanique quantique à l'échelle atomique,



#### OBSERVATION EXACTE

Jonas Allerbeck sur le microscope à effet tunnel à balayage. Ici, les impulsions d'excitation sont ciblées avec une précision atomique sur des défauts dans le matériau 2D – et les processus physiques sont observés.

et les matériaux 2D constituent une plate-forme matérielle unique pour générer ces états de manière contrôlée », explique le chercheur de l'Empa.

#### UN « ERC STARTING GRANT »


Bruno Schuler et son équipe, le spécialiste en optique Jonas Allerbeck et le doctorant Lysander Huberich, qui travaille sur le microscope à balayage à effet tunnel, sont soutenus par des subventions du « European Research Council ». L'« ERC Starting Grant » encourage les jeunes scientifiques particulièrement talentueux – la « Champions League » de la communauté scientifique européenne. Bruno Schuler a bénéficié des meilleures conditions : Il a étudié la physique à

l'EPF de Zurich et s'est spécialisé lors de son doctorat dans le lieu de naissance de la microscopie à balayage à effet tunnel, le laboratoire de recherche d'IBM à Rüschlikon. En tant que post-doctorant puis chef de groupe au « Lawrence Berkeley National Lab » aux États-Unis, il a effectué ses premières recherches sur des matériaux 2D et a coordonné une équipe de recherche internationale.

Il veut maintenant utiliser cette expérience pour renforcer et développer l'Empa en tant que site de recherche en nanotechnologie quantique. « Avec ce projet, nous avons le privilège de nous aventurer en terre scientifique inconnue et d'observer pour la première fois des

choses qu'aucun être humain n'a jamais vues auparavant », explique Bruno Schuler. A l'Empa, le groupe de recherche de Bruno Schuler fait partie du laboratoire « nanotech@surfaces » dirigé par Roman Fasel. Ce groupe de renommée internationale mène des recherches sur les effets quantiques dans les nanostructures organiques et inorganiques de faible dimension, qui pourraient constituer une base pour les ordinateurs quantiques de la prochaine génération. ■


Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s205/2d-quantum-materials](http://www.empa.ch/web/s205/2d-quantum-materials)





## Feu

Feux de brousse indomptables ou bâtiments en flammes : le pouvoir destructeur du feu est énorme. Pour les pompiers, y faire face signifie risquer leur vie à chaque fois. Grâce à des matériaux résistants à la chaleur, le «FireDrone» peut examiner de près un foyer d'incendie sans être endommagé. Le robot volant peut fournir des informations décisives aux pompiers afin d'optimiser la stratégie d'intervention (page 16). Les drones peuvent également intervenir là où des bâtiments détruits doivent être réparés ou remplacés : En tant qu'essaim de robots coopératifs, ils peuvent créer des structures sur place par impression 3D et soutenir les travaux de construction.

Plus d'informations






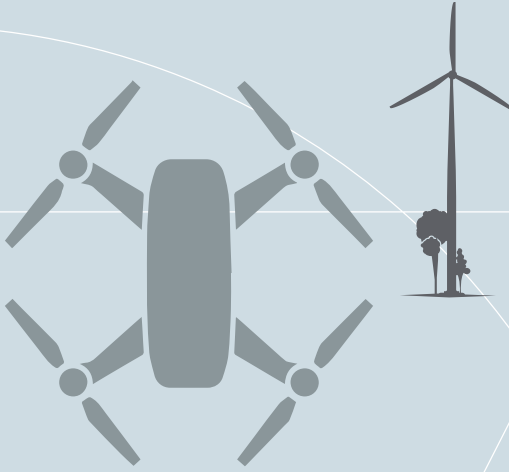



## Air

De nouveaux drones d'inspection explorent l'état des infrastructures telles que les éoliennes et les ponts depuis le ciel. Pour les mesures stationnaires sur une longue période, ils peuvent s'installer sur place et travailler de manière plus économe en énergie. Pour les conditions environnementales complexes, le «ProteusDrone» est également en cours de développement à partir de matériaux flexibles et intelligents. Il sera capable de changer de forme, à l'instar de Proteus, le dieu de la mer de la mythologie grecque, considéré comme un maître de la métamorphose. Cela devrait permettre d'utiliser le drone dans des environnements difficiles comme l'Arctique. Il utilise l'élément air non seulement pour voler, mais aussi pour naviguer à la surface de l'eau. Véritable artiste de la métamorphose, le «ProteusDrone» apprendra même à plonger.

Plus d'informations










## Eau

Le drone «MEDUSA» aide à prédire l'apparition d'algues bleues toxiques ou à surveiller la qualité de l'eau des lacs de montagne. L'engin volant se pose sur l'eau et libère une capsule sous-marine mobile équipée d'une caméra et de capteurs, qui prélève des échantillons d'eau jusqu'à dix mètres de profondeur. L'objectif est de collecter des informations sur les changements climatiques mondiaux en enregistrant des données sur la température de l'eau, les courants, la salinité et l'acidité, même dans des régions difficiles d'accès.

Plus d'informations






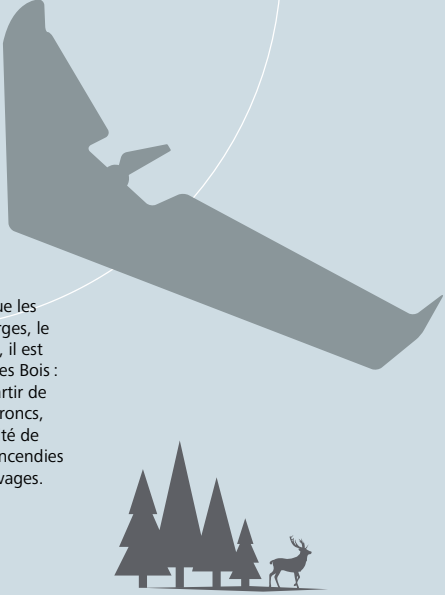


## Terre

L'état de la terre est un indicateur important de la santé de l'écosystème forestier. Pour que les données puissent être analysées même dans des régions inaccessibles comme les forêts vierges, le bioplaneur (page 24) sert de solution durable et peu coûteuse. Après avoir pris ses mesures, il est décomposé par les microbes du sol. Le bioplaneur est assisté par un robot volant à la Robin des Bois : le drone, équipé de flèches de détection, peut fournir des données environnementales à partir de couches plus élevées de la forêt. Il envoie ses flèches de détection avec précision dans les troncs, d'où les capteurs peuvent déterminer la température, la qualité de l'air et le taux d'humidité de l'environnement. À l'avenir, il est également prévu de surveiller les attaques de parasites, les incendies de forêt, l'influence de l'activité humaine sur la forêt et le comportement des animaux sauvages.

Plus d'informations





# Les drones dans leur élément

C'est tout un univers de drones que les chercheurs du laboratoire «Sustainability Robotics» de l'Empa développent en collaboration avec l'Aerial Robotics Laboratory de l'Imperial College London. Ces drones ne se contentent pas de voler, ils peuvent aussi nager, plonger et prêter main forte aux pompiers. Grâce à des propriétés inspirées de la biologie et à des matériaux intelligents, ces robots durables devraient combiner l'intelligence numérique des ordinateurs avec l'intelligence physique des systèmes biologiques. Que ce soit dans le feu, l'eau, la terre ou l'air, ces drones sont toujours dans leur élément.

Graphique : Empa

14 | EMPA QUARTERLY II AVRIL 2023 II # 79

# 79 II AVRIL 2023 II EMPA QUARTERLY | 15



# IL TRA- VERSE LE FEU POUR NOUS

Des chercheurs de l'Empa développent un drone résistant à la chaleur qui, en cas d'incendie, peut analyser le foyer de danger de très près. Les pompiers peuvent ainsi optimiser la stratégie d'une intervention à haut risque avant d'entrer dans la zone dangereuse.

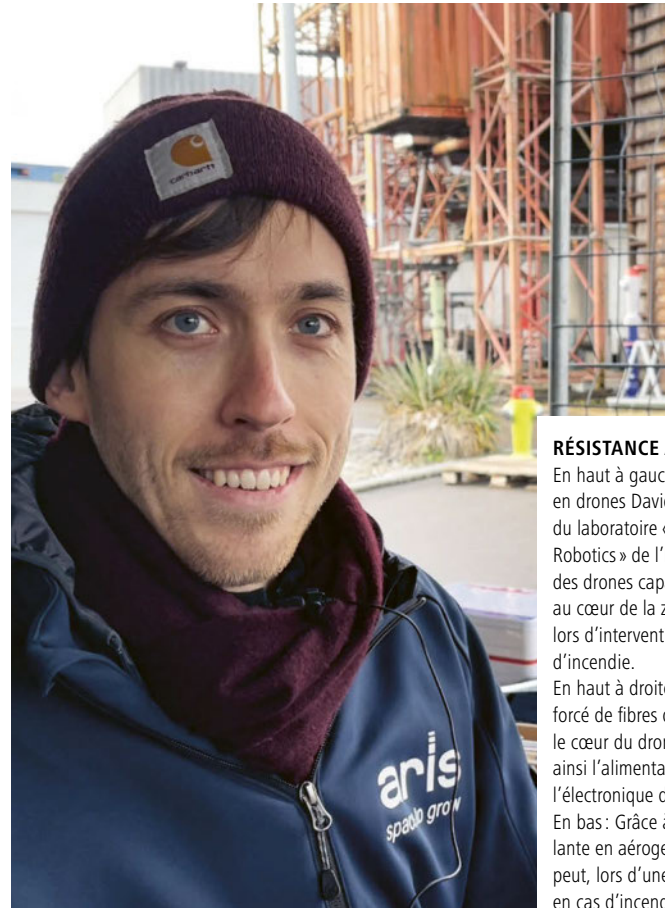
Texte: Andrea Six



Photo: Empa

**VOL DE FEU**  
Sur le terrain d'essai du centre de formation d'Andelfingen du canton de Zurich, le « FireDrone » peut prouver ses capacités dans une situation aussi réelle que possible.





#### RÉSISTANCE À LA CHALEUR

En haut à gauche : Le chercheur en drones David Häusermann du laboratoire « Sustainability Robotics » de l'Empa développe des drones capables de voler au cœur de la zone dangereuse lors d'interventions en cas d'incendie.

En haut à droite : L'aérogel renforcé de fibres de verre entoure le cœur du drone et protège ainsi l'alimentation électrique et l'électronique de la chaleur.

En bas : Grâce à sa gaine isolante en aérogel, le « FireDrone » peut, lors d'une intervention en cas d'incendie, saisir et transmettre des données sur le déroulement de l'incendie, même en cas de forte chaleur.



Photos : Empa

Lorsqu'à d'autres sortent en courant, eux doivent entrer : lors d'interventions de sauvetage, les pompiers se mettent dans des situations dangereuses – parfois au milieu d'une mer de flammes. L'année dernière, les sapeurs-pompiers suisses sont intervenus à quelque 12 660 reprises pour lutter contre les incendies. Comme il peut régner des températures mortelles d'environ 1 000 degrés Celsius dans un bâtiment en feu, il faut éviter tout risque inutile. Des robots volants pourraient soutenir de telles interventions : Les chercheurs de l'Empa développent actuellement un drone résistant à la chaleur qui peut fournir les premières données du foyer de danger. Sur la base de ces informations, les hommes et les femmes de l'équipe d'intervention peuvent optimiser leur stratégie avant de s'aventurer dans l'enfer.

#### TROP CHAUD POUR LES DRONES NORMAUX

« La chaleur extrême dégagée par un incendie est trop importante pour les drones traditionnels », explique David Häusermann, chercheur à l'Empa au laboratoire « Sustainability Robotics » de Dübendorf. Près du feu, le cadre fond et l'électronique cède. « Il n'est pas possible de faire plus que des prises de vue aériennes du lieu de l'incendie à une distance sûre avec les drones disponibles dans le commerce », explique David Häusermann. L'objectif du chercheur en robotique était donc de développer un drone capable de résister à la chaleur et de fournir ainsi des données rapides et précises depuis le centre du foyer de danger.

#### ULTRALÉGER ET RÉSISTANT

David Häusermann a déterminé avec les pompiers les exigences d'un drone en cas d'incendie et s'est mis à la recherche d'un matériau qui pourrait entourer le cœur du drone – les moteurs, les batteries et l'électronique – pour le

protéger. Il a trouvé ce qu'il cherchait auprès de ses collègues du laboratoire « Building Energy Materials and Components » de l'Empa : les chercheurs de Shanyu Zhao et Wim Malfait ont pu synthétiser un matériau isolant qui résiste à des températures élevées et rend ainsi le drone plus résistant au feu.

#### ADAPTÉ AUX COMBINAISONS SPATIALES

Il s'agit d'un aérogel, un matériau ultraléger composé presque entièrement de pores remplis d'air et entourés d'un soupçon de substance polymère. Dans ce cas, les chercheurs en matériaux ont choisi un aérogel à base d'une matière plastique polyimide. Les aérogels de polyimide sont également étudiés par la NASA, par exemple pour l'isolation des combinaisons spatiales. Shanyu Zhao n'a toutefois pas misé sur le polyimide seul pour la synthèse de l'aérogel : le matériau composite est composé de polyimide et de silice et est en outre renforcé par des fibres de verre. « Des analyses en laboratoire ont montré que ce matériau relativement résistant au feu se prête particulièrement bien à l'utilisation dans les drones », explique Shanyu Zhao, chercheur en aérogel.

#### VOL DANS L'ENFER

Lors des premiers tests effectués dans l'arène de vol de l'Empa à Dübendorf, le prototype du « FireDrone » a déjà obtenu de bons résultats. Les caractéristiques de vol et la maniabilité du drone d'une cinquantaine de centimètres étaient excellentes, même avec la gaine isolante en aérogel. Le design a pu convaincre lors de cet « exercice à sec ».

Mais pour savoir si l'engin volant résisterait également à l'épreuve du feu, il fallait procéder à des essais dans des conditions aussi réelles que possible, typiques d'une intervention en cas d'incendie. L'équipe de l'Empa a pu utiliser un tel « scénario réel » sur

le terrain d'entraînement du centre de formation d'Andelfingen. Pendant que Stefan Keller, coordinateur de la formation des sapeurs-pompiers de l'assurance immobilière du canton de Zurich, et l'équipe logistique du centre de formation allumaient un feu de gaz dans une coque métallique surdimensionnée, les pilotes de drones pilotaient leur appareil au cœur de l'enfer.

Résultat : le prototype « FireDrone » a survécu à plusieurs vols d'essai. Le chercheur en drones David Häusermann dresse un bilan satisfaisant : « Même après plusieurs vols, l'électronique du 'FireDrone' est intacte et prête pour d'autres tests ». La prochaine étape serait maintenant de tester le « FireDrone » dans un feu qui, contrairement à la flamme de gaz relativement propre, présente un fort développement de suie.

A l'avenir, le « FireDrone » pourrait par exemple filmer avec une caméra thermique ou transmettre des mesures de capteurs sur la nature des gaz et des fumées, ce qui permettrait de mieux évaluer les risques. Stefan Keller, expert des pompiers, est lui aussi impressionné par les résultats : « Si un drone effectue la première reconnaissance de la situation, nous ne devons pas envoyer immédiatement les pompiers dans la zone de danger. Pour nous, ce progrès est extrêmement intéressant ».

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s799](http://www.empa.ch/web/s799) // [www.empa.ch/web/s312](http://www.empa.ch/web/s312)





**L'HOMME ET LA MACHINE**  
 Dans le « DroneHub » du NEST, il s'agit de poser, en collaboration avec l'industrie, les jalons d'une future coexistence entre l'homme et les drones.

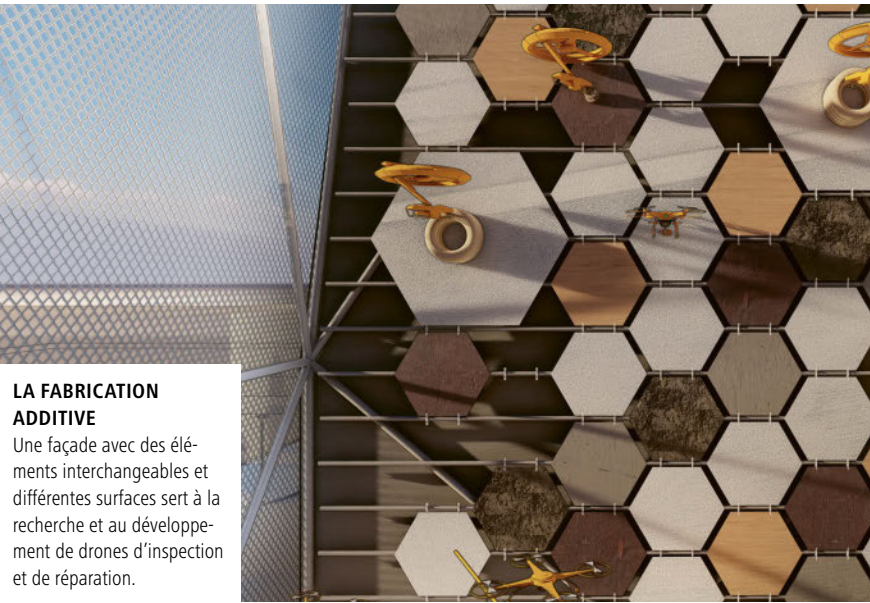
# UNE VOLIÈRE POUR LA RECHERCHE SUR LES DRONES

Illustration: Empa

Ils entretiennent et réparent des bâtiments, observent des phénomènes naturels et transportent des marchandises : les drones et les robots pourraient jouer un grand rôle dans notre vie à l'avenir. Avec le « DroneHub », une sorte de volière doit être créée dans le bâtiment de recherche et d'innovation NEST sur le campus de l'Empa à Dübendorf, dans laquelle les chercheurs de l'Empa étudient et développent l'interaction entre les drones, l'infrastructure et la nature en collaboration avec des partenaires industriels et académiques.

Texte: Stephan Kälin

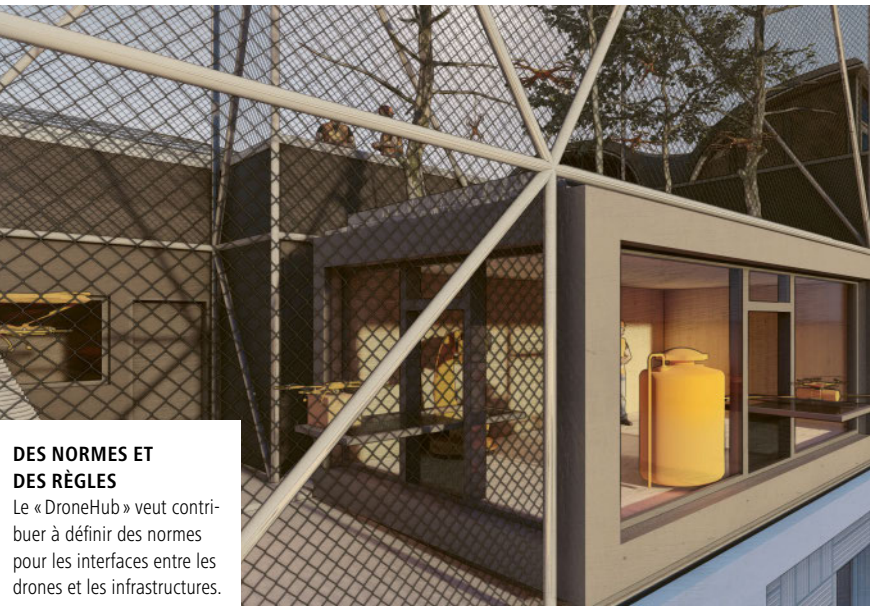




**LA FABRICATION ADDITIVE**  
Une façade avec des éléments interchangeables et différentes surfaces sert à la recherche et au développement de drones d'inspection et de réparation.



**CAPTEURS ENVIRONNEMENTAUX ROBOTIQUES**  
Un environnement de biosphère sert à tester la technologie des capteurs et des drones en matériaux biodégradables.



**DES NORMES ET DES RÈGLES**  
Le « DroneHub » veut contribuer à définir des normes pour les interfaces entre les drones et les infrastructures.

Tout comme le système immunitaire protège notre corps humain, les drones devront à l'avenir entretenir nos bâtiments et notre infrastructure.

Ils détectent par exemple les dommages et effectuent eux-mêmes les travaux de réparation et d'entretien. C'est l'image qu'évoque le chercheur en drones Mirko Kovac lorsqu'il parle de sa vision de l'interaction entre les robots volants autonomes et notre environnement bâti. La comparaison avec la biologie et le corps humain n'est pas fortuite : en tant que directeur du laboratoire de recherche de l'Empa « Sustainability Robotics » et directeur de l'« Aerial Robotics Lab » à l'« Imperial College London », Mirko Kovac et son équipe s'inspirent de la nature dans leurs recherches. Il en résulte des drones qui entrent et ressortent de l'eau comme des oiseaux aquatiques et qui s'envolent en quelques secondes, ou des drones qui s'accrochent aux murs et aux plafonds et qui descendent en rappel sur de fins fils comme des araignées. Ou encore, des essaims entiers de bourdons, inspirés des colonies d'abeilles, sont capables de « construire » en se répartissant le travail et en utilisant des procédés d'impression 3D. Parallèlement, les chercheurs travaillent sur des robots volants biohybrides qui, une fois leur travail terminé, se décomposent biologiquement dans la nature et ne laissent aucune trace.

De tels systèmes de drones et d'autres sont aujourd'hui développés et testés dans des arènes de vol à l'Empa à Dübendorf et à l'« Imperial College London ». En complément et pour rendre les conditions de développement encore plus réalistes, une volière doit maintenant être construite sur le bâtiment de recherche et d'innovation NEST, qui pourra être utilisée comme environnement de test extérieur permanent pour différentes applications. « Avec le ' DroneHub ' au NEST, nous

voulons notamment mieux comprendre les besoins de l'industrie et les intégrer dans notre recherche », explique Mirko Kovac, qui invite donc explicitement les entreprises intéressées à collaborer.

**IMPRESSION 3D EN VOL**  
Le « DroneHub » est une sorte de cage pouvant atteindre onze mètres de haut et un volume de 1 000 mètres cubes. Il se compose d'une structure tubulaire et d'un treillis et se situe sur la plate-forme supérieure du NEST, entre les deux unités existantes « DFAB HOUSE » et « HiLo ». Une fois achevé, le « DroneHub » offrira des environnements de test pour trois domaines de recherche. Côté nord, il d'agit d'une façade expérimentale. Le mur est équipé d'éléments interchangeables avec différentes surfaces et sert au développement de drones capables

« L'intégration des drones dans le quotidien urbain nécessite des règles et des normes technologiques. »

d'effectuer des travaux d'inspection et de réparation à la verticale. Il s'agit notamment de procédés d'impression 3D par voie aérienne – « Aerial Additive Manufacturing » dans le jargon. « Les drones peuvent par exemple détecter et réparer des fissures sans nécessiter d'échafaudages coûteux ni mettre en danger la sécurité des personnes », explique Mirko Kovac. La disponibilité permanente des drones augmente la vitesse à laquelle les dommages peuvent être réparés – ce qui permet de minimiser les éventuelles pannes de l'infrastructure. « Cela peut être particulièrement pertinent pour les installations énergétiques telles que les éoliennes ou les barrages », poursuit l'expert en drones. Le fait que le « DroneHub » se

trouve à l'air libre, mais en même temps à l'intérieur d'une structure de bâtiment, offre des conditions réalistes en ce qui concerne le vent et les intempéries et les turbulences qui en résultent.

**UNE BIOSPHERE POUR LES CAPTEURS ENVIRONNEMENTAUX**  
Le deuxième domaine de recherche met l'accent sur l'interaction entre les drones et la nature. La recherche climatique actuelle est tributaire des données de capteurs et de surveillance de l'environnement. « Les drones sont des fournisseurs de données optimaux, en particulier dans les zones difficiles d'accès et très étendues. Ils peuvent placer des capteurs ciblés dans la nature et relever les données grâce à des vols réguliers », explique Mirko Kovac. L'important est que les systèmes de capteurs et de drones eux-mêmes n'aient pas d'influence néfaste sur l'environnement (voir page 24). Et c'est précisément de cela qu'il s'agit dans le « DroneHub » : dans un environnement aménagé naturellement avec des arbres et un sol forestier, il est possible de réaliser des tests avec des matériaux de drones et de capteurs biodégradables. Une partie de cette biosphère doit en outre servir de « serre » pour des structures robotiques biohybrides – c'est-à-dire pour cultiver des composants de drones en matériaux renouvelables et biodégradables, par exemple.

**RÈGLES POUR LA COEXISTENCE DE L'HOMME ET DE LA MACHINE**  
Pour le troisième domaine de recherche, le « DroneHub » doit être complété par des interfaces avec le monde extérieur. « Si nous imaginons un avenir dans lequel les drones seront intégrés de manière naturelle dans le quotidien urbain et où les robots et les humains coexisteront, nous avons besoin pour cela de règles et de normes technologiques », explique Mirko Kovac. Cela commence par exemple déjà par les

**LA RÉGION DE ZURICH ASSUME UN RÔLE DE LEADER DANS LA RECHERCHE SUR LES DRONES**

La recherche sur les drones de l'Empa est fortement mise en réseau au niveau national et international – entre autres par des collaborations avec l'EPFL et l'« Imperial College London ». De plus, des activités liées aux drones se développeront également dans les prochaines années sur le parc d'innovation de Zurich, situé à proximité. Soutenue par l'initiative cantonale de numérisation, une infrastructure de test pour les véhicules et les avions autonomes est en train de voir le jour sous la direction de l'Université de Zurich, de la Haute école zurichoise des sciences appliquées (ZHAW) et de la Haute école des arts de Zurich (ZHdK). L'objectif à long terme du projet récemment lancé sous le nom de « LINA » est d'établir un organisme de certification pour les drones utilisés à des fins commerciales. Les chercheurs de l'Empa sont en train d'échanger avec « LINA » afin de promouvoir des activités complémentaires et de faire de la région de Zurich un véritable « hotspot » de la recherche suisse sur les drones. Au lieu de la graine, le bioplaneur porte un capteur de données environnementales.

zones d'atterrissage sur ou près des bâtiments que les drones doivent atteindre de manière autonome – ou par les stations de recharge auxquelles les drones de transport se ravitaillent en énergie de manière autonome pour le prochain vol. Au « DroneHub », les chercheurs en drones s'occuperont du développement et de l'établissement de directives techniques pour de telles interfaces entre les bâtiments et les robots volants – et contribueront à ce que la cohabitation entre l'homme et la machine ne reste pas de la « science-fiction ».

Plus d'informations : [nest.empa.ch/drone-hub](http://nest.empa.ch/drone-hub)

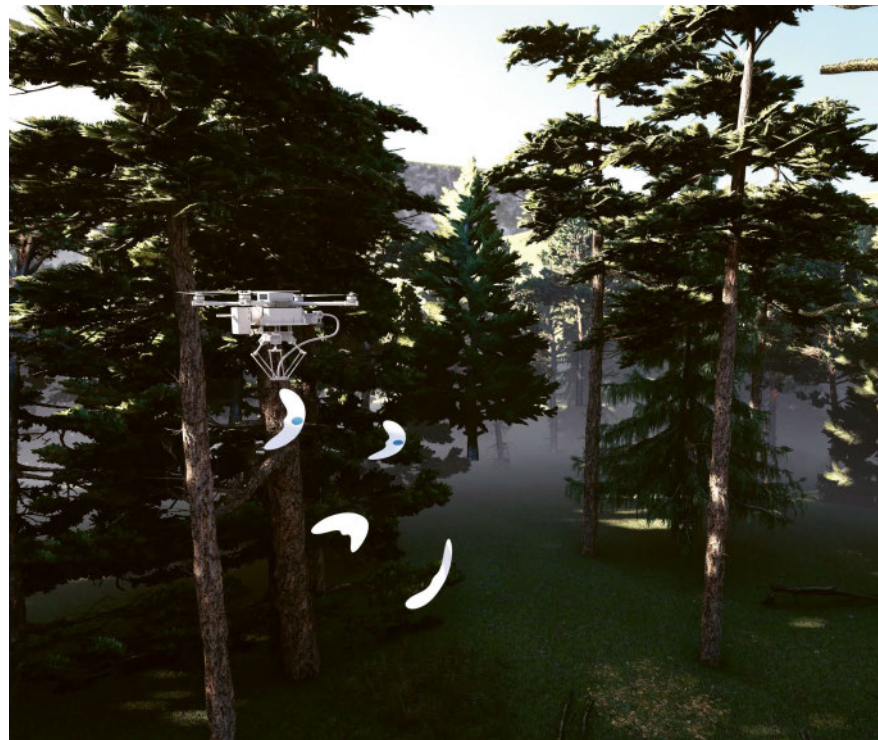
Illustrations : Empa



# DÉLICAT, DILIGENT, ÉPHÉMÈRE

Ils sont censés enregistrer l'état des écosystèmes, par exemple dans le sol des forêts – et tomber en poussière une fois leur travail terminé : Des bioplaneurs sur le modèle Alsomitra macrocarpa, qui fait voler ses graines à plusieurs mètres dans les airs. Des chercheurs de l'Empa ont développé ces capteurs de vol durables à partir de féculé de pomme de terre et de déchets de bois.

Texte : Andrea Six



## CAPTEURS VOLANTS

Les bioplaneurs sont dispersés dans la forêt par un drone. Lorsqu'ils atteignent le sol, ils envoient des données environnementales jusqu'à ce qu'ils soient finalement décomposés par des organismes du sol.

Alexander von Humboldt, Charles Darwin et Ernest Shackleton ont entrepris de longues années de voyages d'exploration et de privation afin de recueillir des impressions spectaculaires et jusqu'alors inconnues. Les précurseurs de l'observation moderne de l'environnement doivent aujourd'hui être suivis par des collecteurs de données plus rapides et plus modernes, qui enregistrent des paramètres écologiques importants en temps réel et sans risque. C'est pourquoi les chercheurs de l'Empa du laboratoire « Sustainability Robotics » de Dübendorf développent des capteurs et des appa-

reils volants durables et bon marché, capables de collecter des données environnementales de manière économique, dense et autonome, même dans des zones inaccessibles, des « bioplaneurs ». Prenez : des pommes de terre, un peu de déchets de bois et un lichen colorant.

## TEST D'ACIDITÉ DANS LA FORÊT

Comme les feuilles qui vacillent vers le sol en automne, ils voguent silencieusement vers le sol de la forêt : les bioplaneurs avec capteurs intégrés. Le label « bio » s'applique à double titre à ces appareils volants élanés : ils s'inspirent de la biologie, puisqu'ils s'inspirent des graines volantes de *Alsomitra macrocarpa*, et ils

sont en outre biodégradables. Lorsqu'un drone a libéré les graines intelligentes, elles transmettent des données sur l'humidité et l'acidité du sol jusqu'à ce qu'elles se décomposent et ne fassent plus qu'un avec le sol de la forêt.

Le chercheur de l'Empa Fabian Wiesemüller et l'équipe de Mirko Kovac du laboratoire « Sustainability Robotics » veulent utiliser les données des graines intelligentes pour surveiller l'état du sol forestier et son équilibre biologique et chimique. Un premier capteur sert maintenant à mesurer le pH à l'aide d'un test classique à l'aide d'un papier tournesol. Dans ce cas,

le colorant obtenu à partir du lichen réagit à l'acide en passant du violet au rouge. « Le changement de couleur du capteur sur le sol de la forêt est ensuite enregistré par un drone qui survole la zone », explique Fabian Wiesemüller.

## UN CAPTEUR FLEURISSANT

Pour que le capteur soit protégé jusqu'à son utilisation et ne collecte des données qu'au moment décisif, il est recouvert d'un film protecteur. Il s'agit d'une « contre-capuche » astucieuse qui libère le capteur dès que la pluie tombe : pendant les pauses de travail, elle adopte une position de protection robuste. En revanche, dès que le capteur doit com-

mencer à fonctionner, le film de protection réagit de manière très sensible. S'il y a de la pluie dans l'air, il s'ouvre comme une fleur. En collaboration avec l'équipe de Gustav Nyström du laboratoire « Cellulose & Wood Materials » de l'Empa, les chercheurs ont développé ce mécanisme de protection à base de cellulose nanofibrillée provenant de restes de bois, qui a été transformée avec de la gélatine en un fin film polymère réagissant à l'humidité de l'air. Une fois que les nuages de pluie se sont dissipés, la fleur de polymère se referme après environ 30 minutes jusqu'à la prochaine utilisation. Pour que la « fleur » s'ouvre de manière symétrique, le film polymère

est en outre recouvert d'une couche très fine de gomme-laque, une substance résineuse naturelle sécrétée par les pucerons des plantes. Elle empêche le matériau polymère de se dilater de manière irrégulière en présence d'humidité.

## DES AILES DE LA POMME DE TERRE

Le biocapteur utilise comme véhicule de transport un planeur dont le matériau est constitué d'amidon de pomme de terre classique, comparable à du papier alimentaire. Il est donc facile d'imprimer le planeur et de lui donner la forme de la graine de *Alsomitra macrocarpa*. L'engin volant ne pèse que 1,5 gramme avec le capteur et a une envergure de



ROBOTS BIO-INSPIRÉS

Ils doivent réparer des bâtiments et mesurer la pollution de l'environnement dans des régions inaccessibles – pour ces tâches, les assistants artificiels doivent s'inspirer de la nature. Les objets volants bio-inspirés ont encore beaucoup à apprendre de leurs modèles pour pouvoir agir de manière autonome dans un environnement complexe. Après tout, la nature a eu des centaines de millions d'années pour perfectionner les caractéristiques des êtres vivants. Pour le capteur-planeur biodégradable, les chercheurs de l'Empa se sont inspirés de *Alsomitra macrocarpa*. Cette liane asiatique laisse le vent disperser ses graines grâce à ses ailes transparentes. Les graines sensorielles intelligentes ont – comme l'original – une envergure de 14 centimètres. Au lieu de la graine, le bioplaneur porte un capteur de données environnementales.

14 centimètres. « Le design inspiré de la biologie doit permettre au planeur de voler le plus longtemps possible », explique le chercheur en robotique Fabian Wiesemüller pour expliquer le

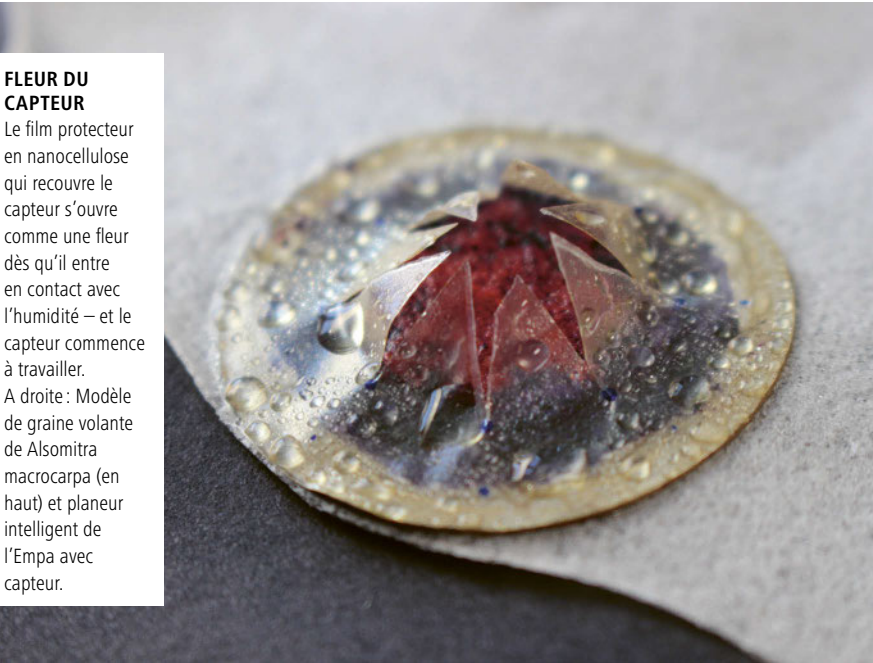
choix de la géométrie du planeur. Dans les arènes de vol de drones de l'Empa à Dübendorf et de l'« Imperial College London », Fabian Wiesemüller a finalement pu optimiser le comportement en vol et la stabilité des premiers prototypes. Dans l'arène de vol, le bioplaneur parvient à atteindre une finesse de 6. Cela correspond à une distance horizontale de 60 mètres lorsque le planeur décolle d'une hauteur de 10 mètres.

Lorsque l'appareil de mesure ultraléger atteint le sol, une course contre la montre commence. Alors que le capteur mesure le pH à chaque averse, la nature s'en mêle. Après sept jours dans des conditions de laboratoire, les organismes du sol ont déjà décomposé les ailes. Après trois semaines supplémentaires, le capteur se désagrège. Les composants naturels du bioplaneur retournent ainsi dans la nature. Le capteur mesurant l'acidité ne représente qu'une première « preuve de concept », qui sera suivie par d'autres types de capteurs qui détermineront par exemple l'état des arbres, des eaux et des sols en temps réel, selon Fabian Wiesemüller.

DE LA POUSSIÈRE À LA POUSSIÈRE

Actuellement, les chercheurs vont encore un peu plus loin. Leur objectif est de saisir les effets du changement climatique sur différents habitats à l'aide de drones capteurs entièrement biodégradables. Dans l'esprit d'une « écologie numérique », de tels robots permettent de faire des prévisions précises sur l'état de l'environnement et de prendre les mesures de prévention correspondantes, pour ensuite se décomposer dans la nature en leurs matériaux de base. Jusqu'à présent, toutes les pièces de ces drones environnementaux ne sont pas encore disponibles dans des versions biodégradables de haute qualité. Les chercheurs de l'Empa travaillent désormais en équipes interdisciplinaires sur des drones volants dotés d'une structure respectueuse de l'environnement à base de matériaux cellulotiques et gélatineux hautement poreux. Les connaissances acquises dans le cadre du projet Bioplaneur y sont également intégrées. ■

Plus d'informations : [robotics.empa.ch](https://robotics.empa.ch)



FLEUR DU CAPTEUR

Le film protecteur en nanocellulose qui recouvre le capteur s'ouvre comme une fleur dès qu'il entre en contact avec l'humidité – et le capteur commence à travailler. A droite : Modèle de graine volante de *Alsomitra macrocarpa* (en haut) et planeur intelligent de l'Empa avec capteur.



Photos : Scott Zona, Empa

Photo : Empa / Imperial College London

# UNE COURTE VISITE

Grâce à ses ailes pliables, le drone « SailMAV » peut voler et naviguer sur l'eau. Sa conception particulière lui permet en outre d'enregistrer le comportement des animaux sauvages, car il n'est pas perçu comme un intrus.

Texte : [Andrea Six](#)



**ECONOME EN ÉNERGIE**  
« SailMAV » navigue au gré du vent jusqu'à sa destination.

Flotter tranquillement tout en arrivant à destination – la recherche peut être aussi simple que cela. Le drone ultraléger « SailMAV » se rend dans des eaux isolées et y navigue en silence et en économisant de l'énergie. Le petit robot volant (Micro Aerial Vehicle, ou MAV) peut ainsi collecter des données sur la biodiversité d'un lac de montagne alpin ou d'un fjord arctique. « Les oiseaux aquatiques ou les mammifères vivant sur la rive ne sont pas dérangés par le 'SailMAV', ce qui permet au drone de fournir des informations non faussées, par exemple sur les effets du changement climatique sur l'état de l'écosystème », explique André Farinha.

André Farinha fait partie des développeurs du drone, une équipe de chercheurs du laboratoire « Sustainability Robotics » de l'Empa à Dübendorf et

de l'« Aerial Robotics Laboratory » de l'« Imperial College London ». Son défi : apprendre au drone à voile à voler, bien que les principes de conception pour les mouvements sur l'eau et dans les airs soient contradictoires. André Farinha : « Après des modélisations mathématiques et la construction de quelques prototypes, nous avons finalement pu optimiser les propriétés aérodynamiques de manière à ce que 'SailMAV' puisse effectivement naviguer sur l'eau comme un catamaran et voler avec les ailes ouvertes ».

Pour que le petit drone puisse se déplacer d'un plan d'eau à l'autre, il replie les côtés de son aile haute performance en trois parties à l'horizontale en deux secondes, ce qui lui permet d'atteindre une envergure de près d'un mètre. L'équipe de Farinha a construit le robot

volant en mousse polymère avec une enveloppe en carbone d'une épaisseur de dixièmes de millimètre et l'a recouvert d'une couche de nanoparticules hydrofuges. Ainsi, « SailMAV » ne pèse que 520 grammes. Dans des conditions de laboratoire, ce drone rapide et maniable passe de l'eau à l'air en quelques secondes, depuis sa position de repos, sur une distance de moins de 10 mètres. Les chercheurs travaillent maintenant à ce que « SailMAV » puisse également le faire dans des conditions réelles de vent et de météo. A l'avenir, « SailMAV » devrait en outre être équipé de capteurs plus complexes qui permettront à cet ami des oiseaux discret de naviguer et de voler de manière autonome. ■

Plus d'informations : [robotics.empa.ch](https://robotics.empa.ch)



# « L'ACCÉLÉRATEUR DE RECHERCHE »

Le « Zukunftsfonds » de l'Empa recherche des investisseurs privés pour des projets de recherche exceptionnels qui ne sont pas (encore) soutenus. C'est le cas par exemple d'un projet du laboratoire « Surface Science and Coating Technologies » de l'Empa, qui vise à accélérer la recherche sur les couches minces multifonctionnelles, par exemple pour les composants électroniques ou les optiques haute performance, avec le soutien de la Fondation Helmut Fischer et Anni Walther.

Texte : Lars Sommerhäuser, Sebastian Siol

Les expériences dans les installations de revêtement sous ultravide sont souvent longues et coûteuses. Que se passerait-il donc si, au lieu de réaliser 50 expériences, on n'en faisait qu'une seule – tout en obtenant 50 échantillons de matériaux différents ? Et si l'on pouvait automatiser la caractérisation de ces échantillons et que les résultats des analyses étaient immédiatement disponibles pour être analysés dans une base de données ?

Telles sont les questions que s'est posées le groupe de recherche de l'Empa autour de Sebastian Siol. La réponse est claire : on pourrait développer beaucoup plus rapidement de nouvelles couches et de nouveaux systèmes de couches. Depuis quelques années, le groupe de recherche de Sebastian Siol met en place l'infrastructure nécessaire pour réaliser ce rêve. Dans le cadre d'un projet financé par la fondation Helmut Fischer et Anni Walther, cette infrastructure va maintenant être étendue et utilisée pour le développement de couches céramiques multifonctionnelles. Le contact avec la fondation a été établi par le « Zukunftsfonds » de l'Empa. La recherche sur les couches multifonctionnelles est également d'un grand intérêt pour la fondation : Le fondateur s'occupe



## EFFICACITÉ

Sebastian Siol teste 45 échantillons de matériaux différents en une seule fois.

depuis maintenant 70 ans de solutions intelligentes dans le domaine de la mesure de l'épaisseur des couches sur différents matériaux. La fondation s'est donc déclarée prête à financer une thèse de doctorat sur ce thème et à étendre en outre l'infrastructure de caractérisation automatique par un appareil d'essai de dureté pour couches minces.

La recherche sur les couches minces multifonctionnelles est très complexe et coûteuse, car les revêtements doivent aujourd'hui répondre à des exigences toujours plus élevées. Parallèlement, le nombre de couches utilisées doit être réduit. Souvent, les chercheurs doivent optimiser simultanément plusieurs propriétés difficiles à combiner, par exemple dans les couches à haute dureté et à faible réflexion.

Mais revenons au rêve de Sebastian Siol. Dans le « développement combinatoire de couches minces », son équipe fabrique des couches à gradient contrôlé à l'aide de procédés de dépôt spéciaux. Une seule expérience permet ainsi de couvrir de grandes plages de paramètres, par exemple en ce qui concerne la température du processus ou la composition chimique. Les couches ainsi obtenues sont ensuite analysées automatiquement.

Les « accélérateurs de recherche » tels que ces techniques à haut débit sont la clé du développement futur des matériaux. L'ordinateur permet aujourd'hui de prédire de nombreux nouveaux matériaux aux propriétés prometteuses. Avec les expériences conventionnelles, il est toutefois difficile de les fabriquer et de les étudier individuellement. Une infrastructure complète pour le développement combinatoire des matériaux pourrait accélérer considérablement ce processus. Grâce au soutien de la Fondation Helmut Fischer et Anni Walther, l'équipe de l'Empa fait un grand pas vers cet objectif. ■

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s208](http://www.empa.ch/web/s208)

Photos : Empa

Photos : Empa, AWEL

# Permettre aux ordinateurs de demain de faire des sauts quantiques.



Faites la différence!  
Soutenez le Zukunftsfonds  
« Nanotechnologie » de l'Empa.  
[empa.ch/zukunftsfonds](http://empa.ch/zukunftsfonds)

 **Empa**  
Zukunftsfonds



# MAÇONNERIE LUMINEUSE

Les briques de verre sont appréciées depuis longtemps dans l'architecture pour apporter plus de lumière dans les bâtiments. Mais jusqu'à présent, elles ne convenaient pas aux murs porteurs et n'isolaient pas bien. Une équipe de l'Empa a maintenant développé une brique de verre translucide et bien isolante grâce à l'aérogel, qui permet même de réaliser des éléments porteurs. Il est ainsi possible de construire des murs esthétiques et translucides qui réduisent le besoin d'éclairage artificiel à l'intérieur du bâtiment.

Texte : Remigius Nideröst

Les éléments de construction vitrés sont une méthode très appréciée en architecture pour faire entrer la lumière dans un bâtiment. Cela permet de mieux utiliser la lumière du jour, respectueuse de l'environnement, et de réduire la quantité d'éclairage artificiel nécessaire. Toutefois, pour maximiser cet avantage, les éléments en verre doivent, dans la mesure du possible, être utilisés pour construire des murs entiers pour l'enveloppe du bâtiment, ce qui suppose que les éléments disposent d'une isolation thermique efficace et qu'ils puissent supporter une certaine charge – une combinaison qui n'était pas disponible sur le marché jusqu'à présent.

## LES DEUX EXIGENCES SONT REMPLIES : HAUTEMENT ISOLANT ET TRANSLUCIDE

Les aérogels de silice sont des isolants thermiques haute performance qui sont de plus en plus répandus dans le secteur de la construction. Les plus courants sont les nattes et les enduits isolants opaques. Le chercheur de l'Empa Jannis Wernery et ses collègues du département « Building Energy Materials and Components » ont eu l'idée dès 2017 d'intégrer l'isolant directement dans un élément de construction et ont présenté une brique d'un nouveau genre remplie d'aérogel, appelée « Aerobrick ». Grâce à

son excellente isolation thermique, cette brique permet d'économiser des frais de chauffage – sans couche d'isolation supplémentaire appliquée sur la maçonnerie.

Mais l'aérogel peut aussi être presque transparent, ce qui permet d'obtenir un système de construction translucide et isolant. Pour en tirer parti et améliorer encore les performances d'isolation de « l'Aerobrick », Wernery, Michal Ganobjak et Cie ont mis au point un nouvel élément de construction modulaire à base de verre flotté et de granules d'aérogel de silice, qui combine les deux propriétés – il est translucide et isolant : le bloc de verre en aérogel.

Les briques de verre remplies de granules d'aérogel translucides permettent de construire des éléments de façade esthétiques et même porteurs, qui laissent entrer la lumière du jour sur une grande surface. Les chercheurs de l'Empa ont obtenu cette combinaison de résistance, d'isolation et de transmission de la lumière grâce à des entretoises décalées entre les feuilles de verre à l'intérieur de la brique de verre, qui garantissent la stabilité statique avec un transfert de chaleur minimal.

La brique de verre a une conductivité thermique mesurée de 53 mW/(m·K) et

une résistance à la compression de près de 45 MPa. Il s'agit de la plus grande capacité d'isolation d'une brique que l'on puisse trouver dans la littérature spécialisée, et a fortiori sur le marché. S'y ajoute en même temps la propriété de transmission de la lumière.

## DE MULTIPLES APPLICATIONS EN VUE

La brique de verre et d'aérogel convient aux applications qui exigent à la fois un apport élevé de lumière naturelle, une protection contre l'éblouissement et une protection de la vie privée, par exemple dans les bureaux, les bibliothèques et les musées. Un aspect important est qu'une enveloppe de bâtiment constituée de telles briques de verre relie l'intérieur du bâtiment à l'extérieur en ce qui concerne la lumière du jour. Cela peut avoir un effet positif sur le rythme circadien des utilisateurs du bâtiment. Les applications possibles sont par exemple

- les pièces qui ne doivent pas avoir de contact visuel avec l'extérieur, par exemple pour des raisons d'intimité, de sécurité ou pour éviter les perturbations, mais qui doivent néanmoins laisser pénétrer la lumière naturelle diffuse à l'intérieur, comme les bibliothèques, les galeries, les musées, les foyers, les bureaux, les noyaux de cages d'escalier, les gymnases, les salles polyvalentes, les maisons d'habitation ou les ateliers d'art

- les espaces où la lumière du jour est nécessaire à un rythme circadien sain, comme les foyers, les hôpitaux et les sanatoriums, mais aussi les zoos, les écuries et les élevages d'animaux, et voire les serres

- les lieux où il faut apporter un maximum de lumière naturelle et économiser de l'espace, par exemple dans les quartiers urbains densément construits avec des immeubles et de nombreux appartements en ville

- les éléments architecturaux tels que les murs Trombe dans l'architecture solaire, dans les cours intérieures ou les atriums, qui génèrent de la chaleur à partir du rayonnement infrarouge de la lumière du soleil.

Une analyse des coûts des matériaux montre que la brique de verre isolante peut être tout à fait compétitive dans de telles applications. La brique de verre offre donc à l'architecture de nouvelles possibilités de conception pour augmenter la lumière du jour dans les bâtiments – et ce aussi bien pour les nouvelles constructions que pour les rénovations. Les chercheurs ont entre-temps déposé une demande de brevet pour la brique de verre et d'aérogel et sont à la recherche de partenaires industriels potentiels.

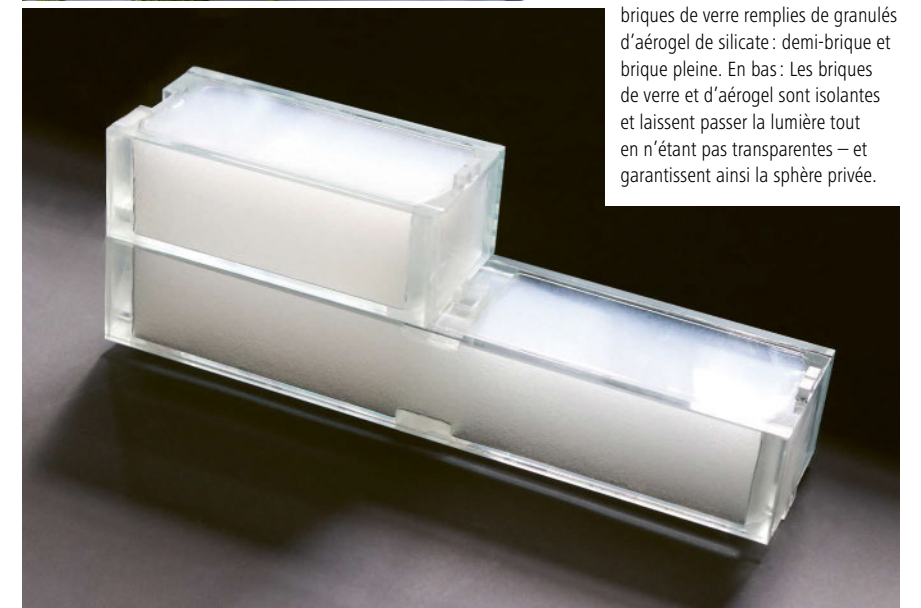
Le projet est soutenu par la Velux Stiftung, projet n° 1 440 sur le développement d'une brique de verre translucide hautement isolante pour l'apport diffus de lumière naturelle. L'idée du projet a été élaborée avec le soutien du programme Horizon 2020 Research and Innovation de l'Union européenne dans le cadre de l'action Marie Skłodowska-Curie, contrat n° 746992.

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s312](http://www.empa.ch/web/s312)



### LUMIÈRE DU JOUR

En haut : Un mur entier en briques de verre et d'aérogel apporte la lumière du jour de l'extérieur à l'intérieur – ainsi que ses effets positifs sur les habitants – tout en étant hautement isolant. Au milieu : Deux briques de verre remplies de granules d'aérogel de silicate : demi-brique et brique pleine. En bas : Les briques de verre et d'aérogel sont isolantes et laissent passer la lumière tout en n'étant pas transparentes – et garantissent ainsi la sphère privée.





# UN ESPION DANS LE VENTRE

Pour que les plaies restent hermétiquement fermées après une opération dans l'abdomen, des chercheurs de l'Empa et de l'ETH Zurich ont développé un pansement doté d'une fonction de capteur. Le pansement en polymère signale les fuites dangereuses au niveau des sutures du tractus gastro-intestinal et referme les endroits de manière autonome. L'équipe a publié ses résultats dans la revue « Nature Communications ».

Texte : Andrea Six



## FLEXIBLE

Le matériau composite hydrogel du patch capteur a été développé pendant la thèse d'Alexandre Anthis sous la direction d'Inge Herrmann à l'Empa et à l'ETH Zurich.

Après une opération dans la cavité abdominale, elles sont particulièrement redoutées : les fuites au niveau des sutures, par lesquelles le contenu du tube digestif s'écoule dans la cavité abdominale. « Aujourd'hui encore, de telles fuites représentent une complication potentiellement mortelle », explique la chercheuse de l'Empa Inge Herrmann, qui occupe également la

chaire de systèmes nanoparticulaires à l'ETH Zurich. L'idée de sceller ensuite les tissus suturés dans la cavité abdominale avec un pansement a certes déjà fait son chemin dans la salle d'opération. Problème : le succès clinique n'est pas toujours optimal et varie en fonction des tissus collés. En effet, les pansements composés d'un matériau contenant des protéines se dissolvent trop rapidement au contact des sucs digestifs. Dans le cadre d'une coopération de longue

date, Inge Herrmann et Andrea Schlegel, chirurgienne à l'Hôpital universitaire de Zurich à Birmingham, ont donc eu l'idée de développer un pansement intestinal résistant, capable de signaler les fuites à temps grâce à des capteurs.

## APPRENDRE AU PANSEMENT DÉTECTER LES FUITES

L'équipe de Inge Herrmann et Alexandre Anthis du laboratoire « Particles-Biology Interactions » de l'Empa à Saint-Gall et

## JEUNE CHERCHEUR RÉCOMPENSÉ

L'équipe de chercheurs fonde actuellement la start-up « Veltist ». Spin-off de l'ETH Zurich et de l'Empa, la future entreprise de biotechnologie veut développer et commercialiser des matériaux qui, en chirurgie, contribueront à une fermeture optimale des plaies et à une meilleure guérison, et aideront ainsi à éviter les complications redoutées d'une septicémie ou d'une péritonite. En plus du « MaP 2022 Award » de l'ETH Zurich pour la meilleure thèse de doctorat dans le domaine « Materials and Processes », Alexandre Anthis a également reçu l'une des très convoitées « ETH Pioneer Fellowships », ainsi que le prix de recherche Empa.

du laboratoire « Nanoparticle Systems Engineering » de l'ETH Zurich a tout d'abord développé un pansement en hydrogel-polymère qui empêche les sucs digestifs très acides et les résidus alimentaires chargés de germes de s'échapper du canal intestinal et de déclencher une péritonite, voire une septicémie (empoisonnement du sang) potentiellement mortelle. Mais les chercheurs ont voulu aller encore plus loin : « Les chirurgiens nous ont rapporté qu'ils avaient certes une vue précise du champ opératoire pendant une intervention, aussi compliquée soit-elle, mais qu'une fois la cavité abdominale fermée, ils étaient 'aveugles' et ne remarquaient éventuellement les fuites que lorsqu'il était trop tard », explique Alexandre Anthis.

## UNE SUPER COLLE BIOCOMPATIBLE

Pour que le pansement hydrogel « apprenne à voir », l'équipe a donc élaboré une solution en collaboration avec des hôpitaux en Suisse et des partenaires de recherche internationaux : Le pansement est équipé de capteurs. Les chercheurs ont publié un article sur cette nouvelle technologie dans la célèbre revue « Nature Communications ».

Le nouveau matériau obtient sa « vision » grâce à une réaction sensible aux modifications du pH et à la présence de certaines protéines dans l'environnement de la plaie. Selon la localisation de la fuite, la réaction se produit en quelques minutes ou en quelques heures. Jusqu'à présent, le personnel de santé devait se fier à des réactions physiques nettement plus tardives des personnes concernées ou à des tests de laboratoire – ces deux indices fournissant parfois trop tard une indication claire de la présence d'une suture non étanche. En revanche,

du tube digestif », explique Alexandre Anthis. En outre, le patch peut même libérer des médicaments, par exemple des agents antibactériens, si nécessaire.

En outre, le matériau atteint les propriétés nécessaires à la fermeture des plaies : une liaison stable à la muqueuse, la formation de réseaux, la stabilité face aux sucs digestifs et l'imperméabilité. Ce super adhésif biocompatible et bon marché, composé en grande partie d'eau, pourrait ainsi non seulement réduire le risque de complications après



## BIOCOMPATIBLE

En haut : Le matériau synthétique en hydrogel est composé de quatre substances acryliques différentes.

En bas : Super-adhésif caoutchouteux : le patch capteur supporte plusieurs fois les conditions de pression dans l'abdomen.

le patch capteur permet, grâce à sa structure composite, de détecter le liquide digestif qui s'échappe en cas de fuite. Le suc gastrique acide, par exemple, réagit avec le matériau du capteur, de sorte que de très fines bulles de gaz apparaissent dans la matrice du patch. Ces bulles peuvent ensuite être rendues visibles par ultrasons. « Les patchs peuvent être équipés de capteurs sur mesure pour différents endroits

une opération abdominale, mais aussi raccourcir les séjours hospitaliers et économiser des frais de santé. « Le projet de pansement intestinal suscite déjà un grand intérêt de la part du corps médical », rapporte Inge Herrmann. Il s'agit maintenant de faire avancer l'application de cette innovation cliniquement pertinente dans la pratique. ■

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s403](http://www.empa.ch/web/s403)



## VISITE DE HAUT NIVEAU DE LA CORÉE



**BIENVENU**  
Pierangelo Gröning,  
membre de la  
direction de l'Empa,  
reçoit Jong-Ho Lee  
à l'Empa.

Le ministre coréen de la science et des TIC, Jong-Ho Lee, a rendu visite à l'Empa en janvier 2023, accompagné de représentants de son ministère et de diverses institutions de recherche coréennes. Pierangelo Gröning, membre de la direction de l'Empa, a accueilli la délégation et s'est entretenu avec ses hôtes du potentiel des nouveaux matériaux ainsi que du renforcement de la coopération entre la Suisse et la Corée. La visite comprenait également des visites de laboratoires, par exemple le laboratoire de technologie d'assemblage et de corrosion dirigé par Lars Jeurgens.

[www.empa.ch/web/empa/general-management](http://www.empa.ch/web/empa/general-management)

## L'EMPA À LA POWERFUEL WEEK



**L'INTERFACE**  
Christian Bach lors de la  
« Powerfuel Conference » 2022

Un approvisionnement énergétique sûr, une mobilité propre et des applications industrielles grâce aux technologies de l'hydrogène et aux carburants synthétiques : telle est la devise de la Powerfuel Week 2023, qui se déroulera du 13 au 21 mai au Musée suisse des transports à Lucerne. Cette manifestation, qui est à la fois une conférence, un salon et une exposition, vise à réunir et à promouvoir les technologies innovantes à l'interface entre la recherche, l'industrie et la politique. L'Empa soutient la tenue de la « Powerfuel Week », entre autres par des conseils sur le contenu et des conseils techniques. En outre, Christian Bach, chercheur à l'Empa et chef du département Automotive Powertrain Technologies, s'exprimera le 16 mai à la Powerfuel Conference sur l'état actuel de la recherche sur ces carburants synthétiques.

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

## PREMIÈRE JOURNÉE DE L'INNOVATION POUR LES PME À ZÜRICH



**DÉBUT**  
Carmen Walker Späh  
ouvre l'événement.

La première journée zurichoise de l'innovation pour les PME a eu lieu le 30 mars au parc d'innovation de Zurich. Les exposés introductifs, les ateliers et les discussions ont porté sur des thèmes tels que la numérisation et la durabilité ainsi que, de manière plus générale, la promotion de l'innovation et le transfert de technologie. L'Empa était également présente avec un stand d'information. Reto Largo, directeur du NEST, et Markus Kasper, de l'équipe de transfert de technologie de l'Empa, se sont entretenus avec les visiteurs sur la manière de transférer le plus efficacement possible les nouvelles connaissances issues de la recherche vers l'industrie.

[kmu-innovation.zuerich/anlaesse/zuercher-kmu-innovationstag](http://kmu-innovation.zuerich/anlaesse/zuercher-kmu-innovationstag)

## L'EMPA EN VISITE À LAUSANNE

Les 29 et 30 avril, l'EPFL organise ses « Portes ouvertes ». En tant qu'institut de recherche du Domaine des EPF, l'Empa sera également présent aux journées portes ouvertes de l'EPFL avec plusieurs thèmes de recherche. Dans le cadre de conférences, de démonstrateurs et de stands d'exposition, les chercheurs de l'Empa présenteront notamment les cellules solaires du futur, l'électronique respectueuse de l'environnement, les technologies de « fabrication avancée » ainsi que de nouvelles approches visant à réduire les nuisances sonores dues au trafic ferroviaire et aérien.

[www.epfl.ch/campus/events/fr/evenements/evenements-publics/portes-ouvertes](http://www.epfl.ch/campus/events/fr/evenements/evenements-publics/portes-ouvertes)



**PORTES OUVERTES**  
Cette année, l'Empa est également représenté aux « Portes ouvertes » de l'EPFL.

Photos: Empa, Jamani Cailliet EPFL

Photos: Quade & Zurlin AG, Alessandro Della Bella

## SÉMINAIRES DE L'ACADÉMIE DE L'EMPA

(en allemand et en anglais)

11. MAI 2023

**Workshop :** Introducing Empa's Virtual Lab  
**Zielpublikum :** Wissenschaft und Industrie  
[www.empa-akademie.ch/virtual-lab](http://www.empa-akademie.ch/virtual-lab)  
Empa, St. Gallen

15. MAI 2023

**Topical Day :** Imaging and Image Analysis XIV  
**Zielpublikum :** Wissenschaft und Industrie  
[www.empa-akademie.ch/imaging](http://www.empa-akademie.ch/imaging)  
Empa, Dübendorf

22. – 26. MAI 2023

**Konferenz :** 38<sup>th</sup> International Conference of the Polymer Processing Society  
**Zielpublikum :** Wissenschaft und Industrie  
[www.pps-38.org](http://www.pps-38.org)  
Empa, St. Gallen

31. MAI – 02. JUNI 2023

**Konferenz :** 2<sup>nd</sup> Aerogel Industry-Academia Forum  
**Zielpublikum :** Industrie und Wissenschaft  
[aia-forum.empa.ch](http://aia-forum.empa.ch)  
Empa, Dübendorf

14. JUNI 2023

**Symposium :** 1<sup>st</sup> Swiss Symposium on Materials Chemistry 2023  
**Zielpublikum :** Wissenschaft  
[matchem23.scg.ch](http://matchem23.scg.ch)  
Empa, Dübendorf

14. JULI 2023

**Technology Briefing :** Einsatz von Laubholz im Tragwerksbau – Chancen und Herausforderungen  
**Zielpublikum :** Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/technology](http://www.empa-akademie.ch/technology)  
Empa, Dübendorf

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