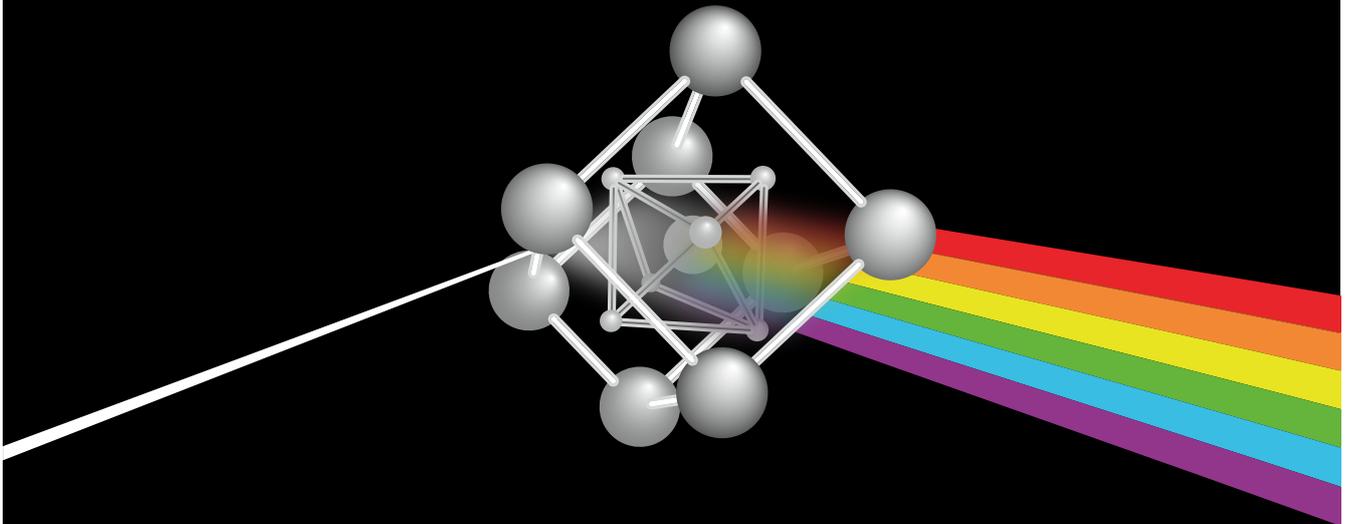


Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #83 II AVRIL 2024

FOCUS : PÉROVSKITES

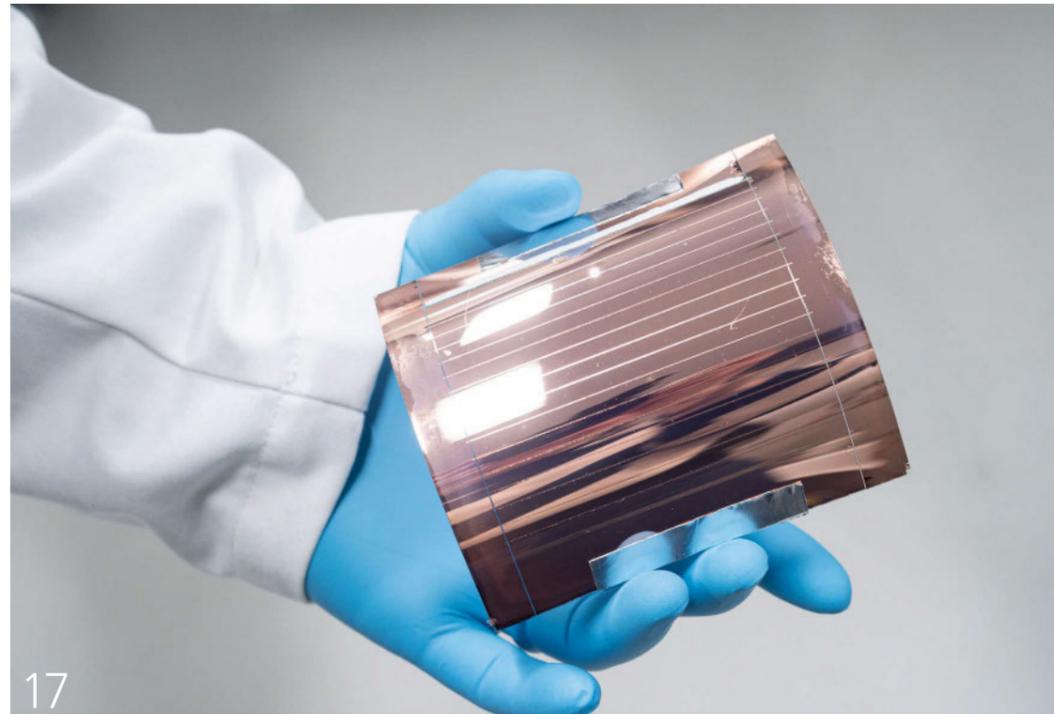
CRISTAL VERSATILE



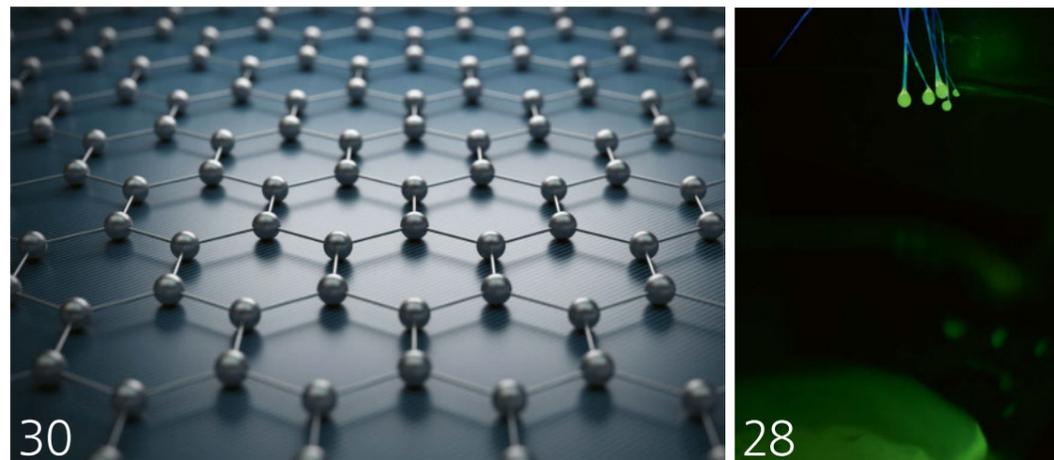
POINTS QUANTIQUES BRILLANTS
CELLULES SOLAIRES DOUBLES
TEXTILES ÉCOLOGIQUES

[CONTENU]

[FOCUS : PÉROVSKITES]

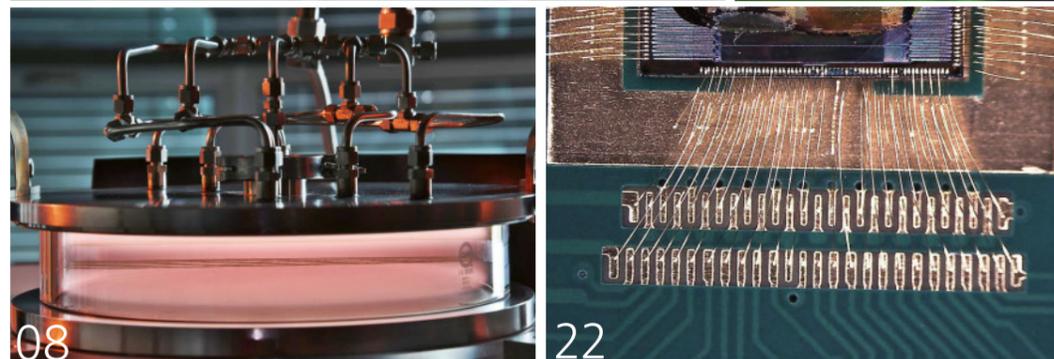


17



30

28



08

22

[FOCUS]

14 PÉROVSKITE
Des cristaux à tout faire

16 HISTOIRE
Une brève histoire des pérovskites

17 CELLULES SOLAIRES
Un peu plus, c'est possible

20 TECHNOLOGIE QUANTIQUE
Efficaces, brillants, rapides

22 CAPTEUR D'IMAGES
Pixels puissance trois

[THÈMES]

08 TEXTILES ÉCOLOGIQUES
Enfin propre

11 SPIN-OFF
La machine verte

26 NANOPLASTIQUE
On peut toujours faire plus petit : tout n'est pas nanoplastique

28 POLYMÈRES MÉDICAUX
Valeurs internes

30 INITIATIVE DE RECHERCHE
Graphène : pas de risque élevé

33 ÉNERGIE
Chaleur de l'ordinateur

[RUBRIQUES]

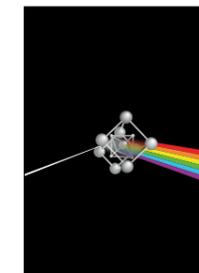
04 LA PHOTO

06 BRIÈVEMENT

24 ZUKUNFTSFONDS
Scrutés dans l'obscurité

34 EN ROUTE

[COUVERTURE]



Les pérovskites possèdent une structure cristalline unique qui leur confère des propriétés intéressantes, notamment dans leurs interactions avec la lumière. Telle une version plus puissante du prisme de la couverture de « The Dark Side of the Moon » de Pink Floyd, les pérovskites pourraient un jour nous aider à émettre, capturer et utiliser la lumière.
Image : Empa

[IMPRESSUM]

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



ISSN 2673-1746
Empa Quarterly (édition française)

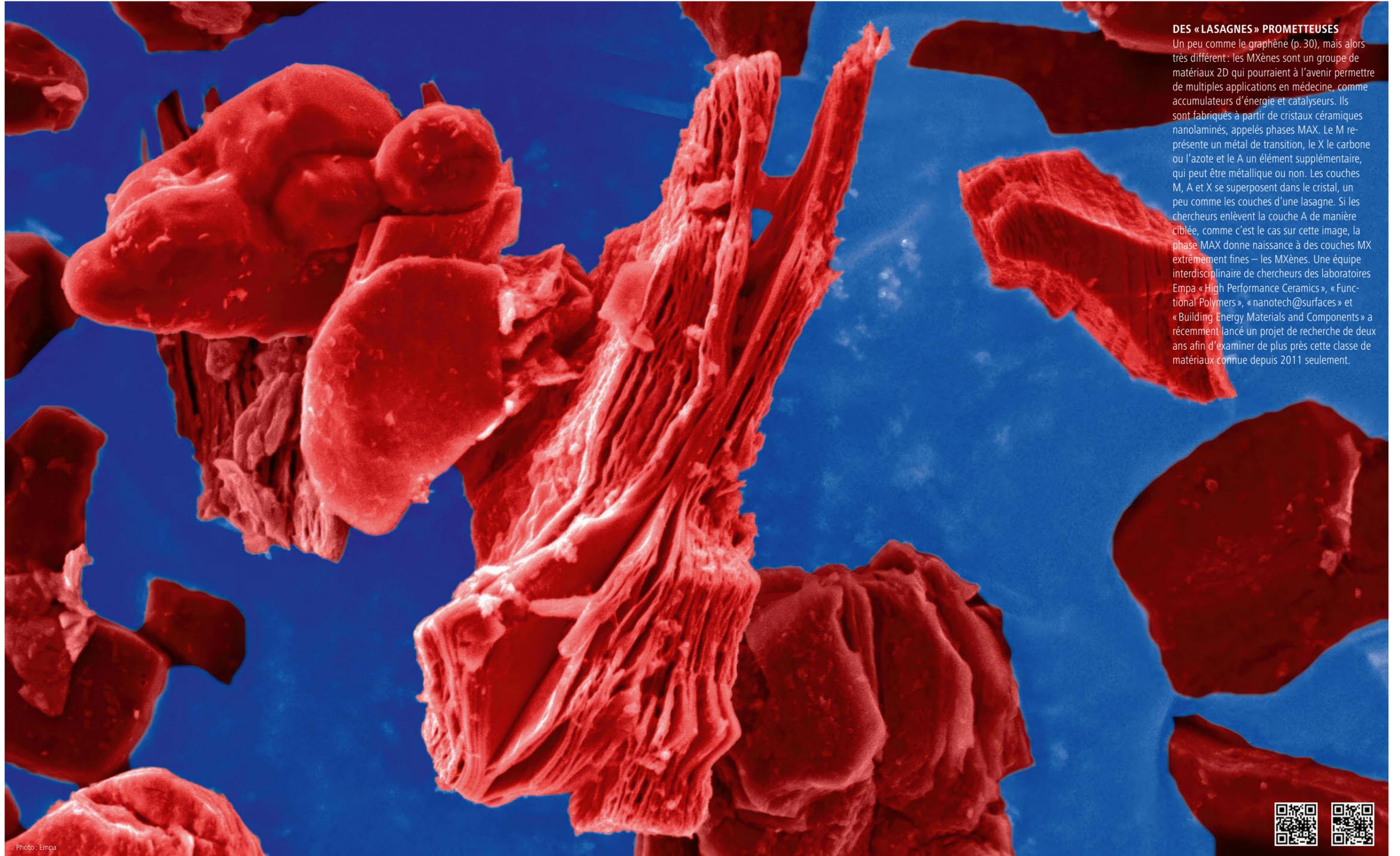
L'INGRÉDIENT ESSENTIEL

Chère lectrice, cher lecteur,



Environ deux innovations techniques sur trois reposent sur de nouveaux matériaux, comme le silicium, sans lequel la microélectronique omniprésente aujourd'hui serait impensable, ou les batteries lithium-ion, qui alimentent actuellement tout, des smartphones aux voitures électriques. Ou encore – et cela nous amène à ce numéro de Quarterly – les pérovskites. Péro-quoi? Cette classe de substances extrêmement variée se caractérise par sa structure cristalline particulière et peut être élargie pratiquement à volonté en modifiant légèrement la « recette » chimique. Ainsi, les « points quantiques » des nanocristaux de pérovskite n'émettent de la lumière qu'à une certaine longueur d'onde et conviennent par exemple pour les nouveaux types d'écrans et d'affichages (p. 20) ; les pérovskites conviennent également pour les capteurs d'images (p. 22) et les cellules solaires tandem ultra-efficaces (p. 17). Un autre « matériau miracle » est le graphène, des couches de carbone d'une épaisseur d'une seule couche atomique, que les chercheurs de l'Empa étudient pour des applications dans la technologie quantique et la nanoélectronique. Mais pour les nouveaux matériaux, il faut aussi étudier dès le début les effets possibles sur l'homme et l'environnement. C'est précisément ce que les chercheurs de l'Empa ont fait dans le cadre du projet « Graphene Flagship » de l'UE (p. 30). Les personnes qui souhaitent découvrir en direct le monde fascinant des matériaux sont cordialement invitées à la journée portes ouvertes du 14 septembre sur notre nouveau campus de recherche à Dübendorf – nous vous en dirons plus dans le prochain Quarterly.

Bonne lecture!
Votre MICHAEL HAGMANN



DES « LASAGNES » PROMETTEUSES

Un peu comme le graphène (p. 30), mais alors très différent : les MXènes sont un groupe de matériaux 2D qui pourraient à l'avenir permettre de multiples applications en médecine, comme accumulateurs d'énergie et catalyseurs. Ils sont fabriqués à partir de cristaux céramiques nanolaminés, appelés phases MAX. Le M représente un métal de transition, le X le carbone ou l'azote et le A un élément supplémentaire, qui peut être métallique ou non. Les couches M, A et X se superposent dans le cristal, un peu comme les couches d'une lasagne. Si les chercheurs enlèvent la couche A de manière ciblée, comme c'est le cas sur cette image, la phase MAX donne naissance à des couches MX extrêmement fines – les MXènes. Une équipe interdisciplinaire de chercheurs des laboratoires Empa « High Performance Ceramics », « Functional Polymers », « nanotech@surfaces » et « Building Energy Materials and Components » a récemment lancé un projet de recherche de deux ans afin d'examiner de plus près cette classe de matériaux connue depuis 2011 seulement.



CROISSANCE POUR LE LABORATOIRE ÉDUCATIF



FAIRE LE PLEIN DE SOLEIL
Les enfants apprennent la physique dans le Smartfeld avec de tels démonstrateurs construits à l'Empa.

Avec le soutien de l'offensive de formation IT, le laboratoire de formation Smartfeld élargit son offre. Désormais, les élèves des régions Werdenberg-Sarganserland et Zürichsee-Linth peuvent suivre des ateliers STEM sur place à Buchs et Rapperswil-Jona, en plus du site du Switzerland Innovation Park OST à Saint-Gall. L'initiative de formation interdisciplinaire a été co-initiée en 2018, entre autres, par l'Empa. Des chercheurs de l'Empa développent des démonstrateurs STEM pour Smartfeld, qui sont ensuite fabriqués à l'Empa en collaboration avec les apprentis. En 2023, Smartfeld a attiré plus de 4000 élèves et plus de 300 enseignants pour des ateliers et des cours.



COMPRENDRE LE MAL DE DOS DE MANIÈRE DYNAMIQUE

Les maladies de l'appareil locomoteur sont la deuxième cause de handicap dans le monde. Pour les traiter à temps et efficacement, nous devons mieux comprendre l'interaction entre les processus biochimiques complexes et la biomécanique du corps. En effet, les douleurs n'apparaissent souvent que lorsque les patients sont en mouvement – et pourtant, le diagnostic se fait principalement au moyen d'images statiques. Une équipe de l'Empa veut changer cela dans le cadre d'un projet d'une durée de deux ans qui vient d'être lancé. Y participent des scientifiques du laboratoire « Mechanical Systems Engineering », du « Center for X-Ray Analytics » et de « Scientific IT » ainsi que des partenaires cliniques de Inselspital à Berne. L'objectif est d'améliorer le diagnostic d'une maladie dégénérative douloureuse de la colonne vertébrale, la sténose spinale lombaire, en combinant des biomarqueurs, des radiographies en mouvement et l'imagerie 3D des muscles et des ligaments. Les chercheurs souhaitent en outre développer une plateforme sécurisée pour la gestion des données cliniques.

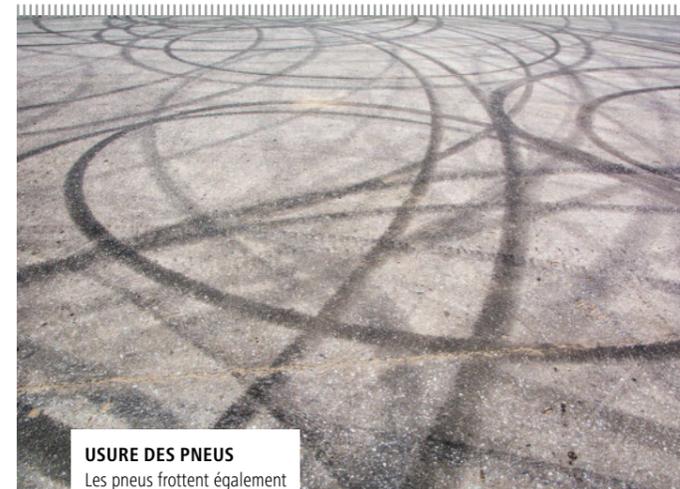


APPROCHE GLOBALE
Des chercheurs de l'Empa veulent améliorer le diagnostic de la sténose spinale lombaire.



Photo: Empa, graphique: Adobe Stock

LES PNEUS, SOURCE DE MICROPLASTIQUES



USURE DES PNEUS
Les pneus frottent également contre la chaussée lors d'une conduite normale.



Si vous freinez brusquement en voiture, vous laissez une trace noire sur la route. Cependant, cette usure des pneus ne se produit pas seulement lors de manœuvres extrêmes, mais également lors de chaque trajet « normal »; même à vitesse constante, les pneus frottent contre la surface de la route, libérant ainsi du matériau de pneu. Ces matériaux représentent une grande partie des microplastiques rejetés dans l'environnement. Dans un rapport de base publié récemment en réponse à un postulat, des chercheurs de l'Empa et de l'entreprise wst21 ont résumé les résultats de différentes études et présenté des approches permettant de réduire cette abrasion.

« SAVE THE DATE » : JOURNÉE PORTES OUVERTES À L'EMPA



« SAVE THE DATE »
Le 14 septembre 2024, l'Empa Dübendorf ouvrira ses portes.

Le samedi 14 septembre 2024, l'Empa à Dübendorf vous invite à une journée portes ouvertes. Les visiteurs pourront découvrir le nouveau campus de l'Empa et de l'Eawag, « co-operate », et se plonger dans le monde de la recherche de l'Empa. Il y aura de nombreux postes, des démonstrateurs et des conférences pour petits et grands sur les thèmes principaux « Changement climatique », « Tournant énergétique », « Ressources en diminution », « Matériaux fascinants » et « Vie saine, environnement sain ». En outre, les visiteurs auront un aperçu des démonstrateurs « ehub », « move », NEST, « WaterHub » ainsi que des apprentissages de l'Empa. Vous êtes intéressé? Vous en saurez plus sur cette manifestation en ligne et dans le prochain numéro de l'Empa Quarterly.



Photo: Adobe Stock, graphique: Empa

ENFIN PROPRE

Vestes de pluie, maillots de bain ou tissus d'ameublement : les textiles aux propriétés hydrofuges nécessitent une imprégnation chimique. Les produits chimiques à base de PFAS contenant du fluor sont certes efficaces, mais ils nuisent à la santé et s'accumulent dans l'environnement. Les chercheurs de l'Empa développent maintenant un procédé avec des substances alternatives qui permet de produire des fibres textiles hydrofuges respectueuses de l'environnement. Les premières analyses le montrent : les « bonnes » fibres repoussent davantage l'eau et séchent plus rapidement que celles des produits traditionnels.

Texte : Andrea Six

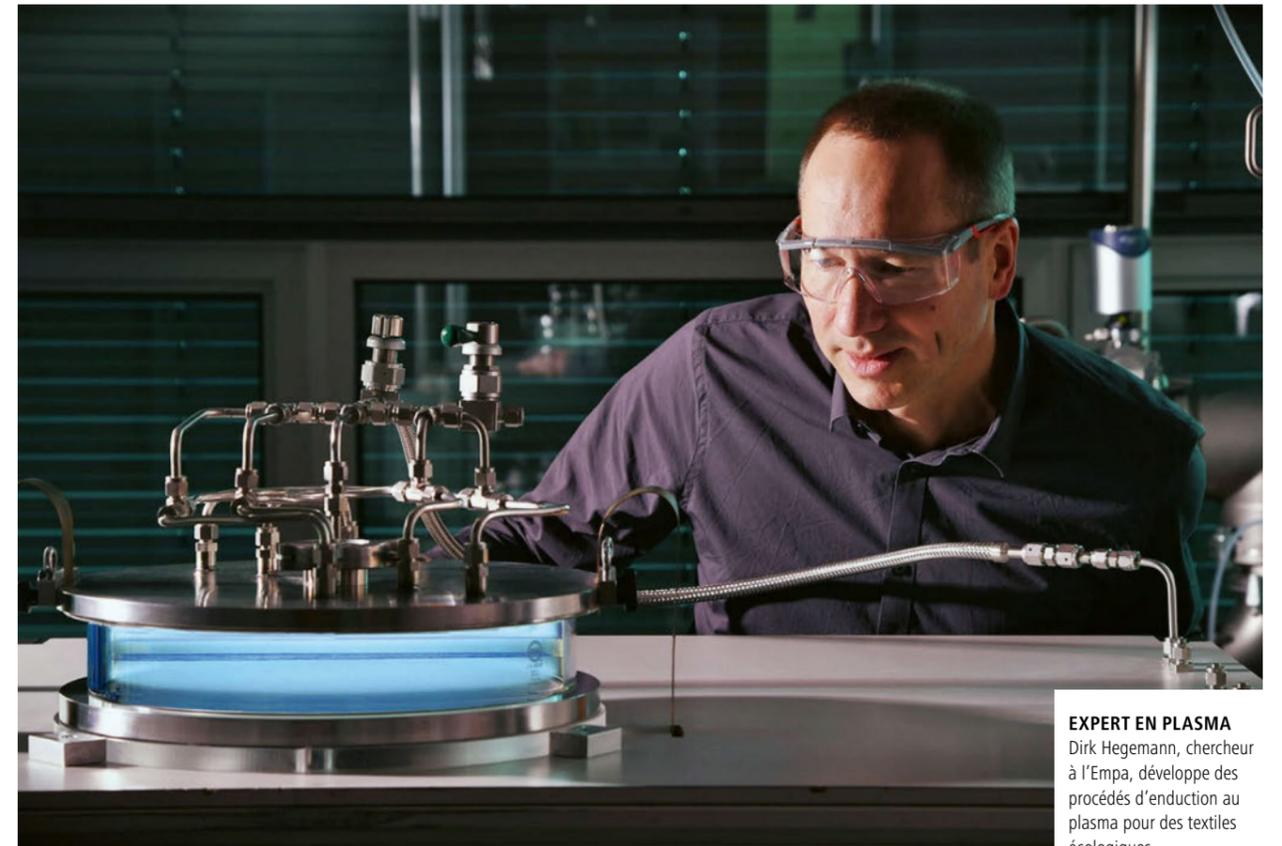
Si un maillot de bain doit conserver sa forme après la baignade et sécher rapidement, il doit combiner deux caractéristiques : Il doit être élastique et ne doit pas s'imbiber d'eau. Dans l'industrie textile, un tel effet hydrofuge peut être obtenu en traitant les textiles avec des produits chimiques qui confèrent au vêtement élastique des propriétés dites hydrophobes. Dans les années 1970, on a commencé à utiliser à cet effet de nouveaux composés fluorés synthétiques – des composés qui semblaient offrir d'innombrables possibilités d'application, mais qui se sont révélés par la suite extrêmement problématiques. En effet, ces composés fluorocarbonés, ou PFAS, s'accumulent dans l'environnement et nuisent à la santé (voir encadré). C'est pourquoi les chercheurs de l'Empa développent, en collaboration avec des entreprises textiles suisses, des procédés alternatifs respectueux de l'environnement qui permettent de rendre toutes les fibres hydrofuges. Dirk Hegemann, du laboratoire « Advanced Fibers » de l'Empa à Saint-Gall, explique

le projet soutenu par Innosuisse : « Nous utilisons ce que l'on appelle des siloxanes hautement réticulés, qui produisent des couches semblables à celles du silicone et qui – contrairement aux PFAS contenant du fluor – sont inoffensifs ».

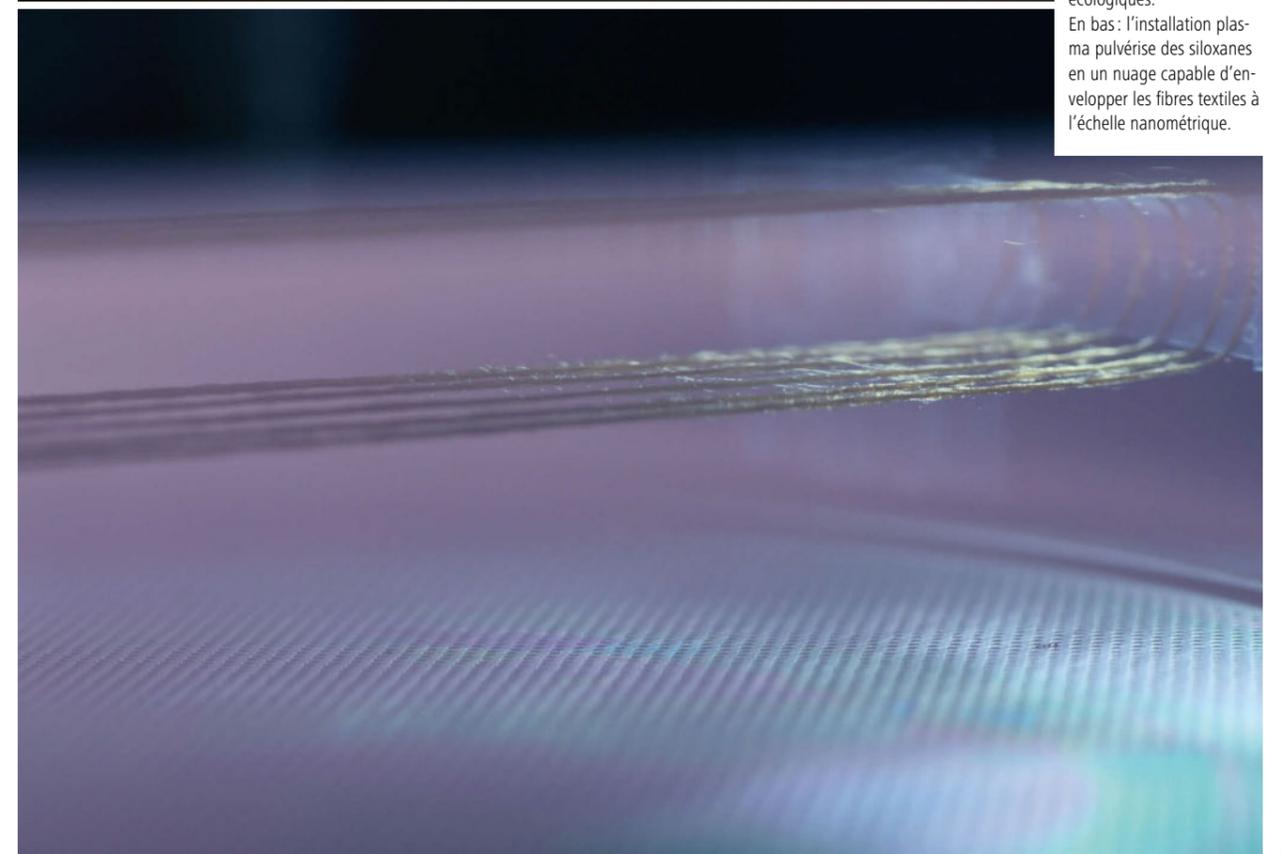
ENVELOPPÉ DANS UN NUAGE DE PLASMA

Les installations de revêtement par plasma de l'Empa vont des modèles de table pratiques aux appareils qui remplissent toute la pièce. Pour le revêtement des fibres, les siloxanes sont pulvérisés et activés dans un gaz réactif. De cette manière, ils conservent leurs propriétés fonctionnelles et entourent les fibres textiles d'une enveloppe hydrofuge de seulement 30 nanomètres d'épaisseur. Les fibres ainsi enduites peuvent ensuite être transformées en textiles hydrofuges de toutes sortes, par exemple en vêtements ou en textiles techniques comme les tissus d'ameublement.

L'avantage par rapport aux procédés chimiques humides traditionnels : Même dans le cas de textiles à structure complexe, la répartition sans faille des



EXPERT EN PLASMA
Dirk Hegemann, chercheur à l'Empa, développe des procédés d'enduction au plasma pour des textiles écologiques.
En bas : l'installation plasma pulvérise des siloxanes en un nuage capable d'envelopper les fibres textiles à l'échelle nanométrique.



Photos : Empa

substances hydrophobes est garantie jusque dans toutes les spires des fibres entrelacées. C'est un point central, car il suffirait d'un minuscule endroit mouillable pour que l'eau s'infilte dans les profondeurs d'un maillot de bain et empêche ainsi le séchage rapide du vêtement. « Nous avons même réussi à imprégner durablement des fibres élastiques plus exigeantes avec ce nouveau procédé, ce qui n'était pas possible jusqu'à présent », explique le chercheur de l'Empa Dirk Hegemann.

GRAND INTÉRÊT DE L'INDUSTRIE

Dans les premières analyses de laboratoire, les textiles fabriqués à partir des nouvelles fibres avec un revêtement respectueux de l'environnement donnent déjà des résultats légèrement meilleurs que les tissus traditionnels enduits de PFAS. La quantité d'eau absorbée est plus faible, le temps de séchage est plus court. Mais les propriétés miraculeuses de l'enduction sans fluor n'apparaissent vraiment qu'après plusieurs lavages des textiles : alors que textiles extensibles avec une imprégnation PFAS traditionnelle souffrent déjà nettement, la fibre sans fluor reste à

PFAS CONTENANT DU FLUOR : UN POISON ÉTERNEL

Les PFAS, composés alkylés per- et polyfluorés, sont un groupe de produits chimiques synthétiques qui, grâce à leur capacité à repousser l'eau, l'huile et la graisse, ont de multiples applications. Depuis les années 1970, ils sont par exemple utilisés dans la production de vêtements fonctionnels, d'extincteurs et de poêles à frire. Comme les substances à base de carbone et de fluor ne se dégradent pas, mais s'accumulent dans l'environnement et finalement dans le corps humain, on les appelle « produits chimiques éternels ». Chez l'homme et l'animal, ces substances sont soupçonnées de provoquer divers problèmes de santé, comme le cancer, les maladies cardiovasculaires, l'obésité ou les troubles du développement. Certains PFAS sont déjà interdits, d'autres pourraient suivre.

économiquement viables. « L'industrie est très intéressée par la recherche d'alternatives durables aux PFAS », explique Dick Hegemann. Les entreprises textiles suisses Lothos KLG, beag Bäumlin & Ernst AG et AG Cilander sont donc déjà à bord lorsqu'il s'agit de développer des textiles écologiques sans fluor. « Une collaboration réussie qui combine les matériaux, la technologie des fibres et l'enduction plasma pour aboutir à une solution innovante, durable et efficace », déclare par exemple Dominik Pregger de Lothos. Bernd Schäfer, CEO de beag, ajoute : « La technologie est respectueuse de l'environnement et dispose en même temps d'un potentiel économique intéressant. » ■



un niveau élevé. Elle est ainsi deux fois plus déperlante malgré les sollicitations et sèche beaucoup plus efficacement.

Dick Hegemann et son équipe s'emploient maintenant à faire évoluer le procédé de laboratoire sans fluor vers des processus industriels performants et



HYDROFUGE

Là où l'eau ne peut pas mouiller : même les fibres étirées font perler la goutte d'eau (en bleu). (Microscopie, agrandissement 20 fois)

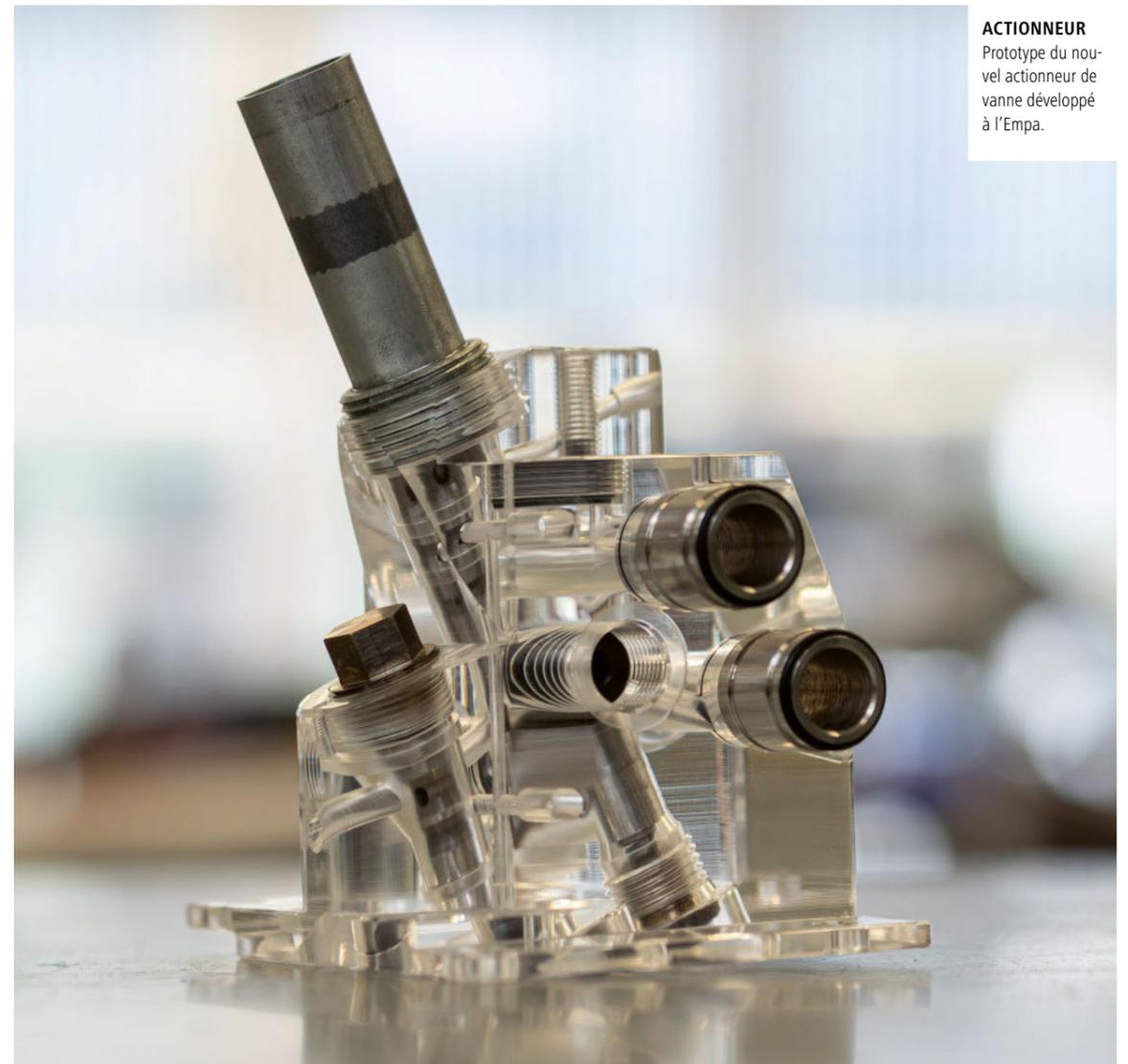


UNIFORME

Les fibres textiles peuvent être rendues hydrofuges de manière uniforme grâce à un revêtement plasma. Même les fibres élastiques plus exigeantes (rouge) restent durablement imprégnées grâce à ce nouveau procédé. (Microscopie électronique à balayage, colorisée.)

Photos : AG Cilander / Empa

Photo : Empa



ACTIONNEUR
Prototypage du nouvel actionneur de vanne développé à l'Empa.

LA MACHINE VERTE

Les rejets thermiques industriels sont une mine d'or inexploitée : ils sont produits en grande quantité, mais ne sont guère utilisés de manière efficace. Une nouvelle machine conçue par des experts de l'Empa et leurs partenaires, issue d'une technologie de moteur innovante, pourrait changer la donne – notamment grâce à une « Empa Entrepreneur Fellowship », qui a récemment récompensé le chercheur et jeune entrepreneur de l'Empa Andyn Omanovic.

Texte : Norbert Raabe

Les bonnes idées font parfois des chemins surprenants. Pendant des années, des spécialistes de l'Empa ont travaillé sur une commande de soupapes innovante pour les moteurs à combustion – à l'aide de soupapes à commande électrohydraulique, qui permettent d'organiser le changement de gaz de manière beaucoup plus flexible qu'avec la technologie traditionnelle des arbres à cames. Dans un moteur à essence, la consommation de carburant a ainsi pu être réduite d'environ 20% en fonctionnement normal typique pour les voitures de tourisme. Entre-temps, cette approche est développée pour les moteurs flexibles de véhicules utilitaires en collaboration avec un fabricant de camions.

Mais cette technologie pourrait désormais permettre des progrès dans un autre domaine. L'Empa a attribué à son ancien doctorant Andyn Omanovic

une « bourse d'entrepreneur » pour mettre sur le marché un nouveau type de moteur à piston équipé de cette commande. La commercialisation sera assurée par etavalve GmbH, une spin-off de l'Empa et de l'ETH Zurich, cofondée par l'expert en hydraulique Wolfgang Schneider, qui a participé au développement de la technologie.

L'idée est d'utiliser la chaleur résiduelle des processus de l'industrie métallurgique ou du ciment et d'autres domaines de manière plus efficace qu'avec les méthodes actuelles qui utilisent des turbines. Comme le cylindre et le piston forment un espace fermé, la compression et l'expansion du processus s'effectuent de manière presque idéale, ce qui permet un rendement énergétique extrêmement élevé : la chaleur perdue est transformée en force mécanique par les pistons, avec laquelle de l'électricité est finalement produite. Mais ce

processus n'est réalisable que grâce à la nouvelle commande flexible des vannes, explique Andyn Omanovic.

UN POTENTIEL ÉNORME

« Les turbines sont surtout efficaces pour les températures élevées et pour des exigences de puissance de plusieurs centaines de mégawatts », explique le chercheur de l'Empa, « mais pour les plages de température d'environ 500 à 900 degrés, pour lesquelles la chaleur perdue est irrégulière, et jusqu'à une plage de puissance de quelques mégawatts, notre machine à piston est mieux adaptée ». Le potentiel est élevé : pour l'Allemagne, la quantité de chaleur résiduelle industrielle supérieure à 300 degrés a été chiffrée en 2016 à environ 10 térawattheures par an. A titre de comparaison : en Suisse, selon l'Association des entreprises électriques suisses (AES), la consommation totale d'électricité s'élèverait à environ 57 térawattheures en 2022.

SOUTIEN DE L'EMPA À LA CRÉATION D'ENTREPRISES

L'« Empa Entrepreneur Fellowship » est attribué à des chercheurs de l'Empa qui souhaitent créer une start-up sur la base de leurs recherches. Les fellowships sont attribués dans le cadre d'un concours et comprennent un soutien financier pour une année. Un soutien supplémentaire est accordé aux spin-offs de l'Empa dans les deux incubateurs d'entreprises de l'Empa à Dübendorf et à Saint-Gall.

L'utilisation de la chaleur résiduelle des installations de pyrolyse, qui transforment la biomasse en charbon végétal afin de fixer durablement le carbone – un procédé sur lequel travaillent également des chercheurs de l'Empa – est également prometteuse. Ce procédé génère comme sous-produit des gaz dits faibles, qui contiennent du méthane et des polluants gazeux et qui doivent être

brûlés, conformément à la loi. « Cela se fait parfois souvent avec une torche à gaz sans aucune valorisation de l'énergie », explique Andyn Omanovic, « nous utilisons la chaleur qui en résulte pour produire de l'électricité avec notre machine à piston ».

AVANT DE PASSER À LA PRATIQUE

D'ici le début de l'année 2025, une machine pilote doit voir le jour pour le fournisseur d'énergie IWB à Bâle, qui fait avancer la construction d'installations de charbon végétal en Suisse – conçue et réalisée spécialement pour les propriétés spécifiques de la chaleur résiduelle produite lors de la pyrolyse. Environ un an plus tard, selon les concepteurs d'etavalve GmbH, une petite série de machines à piston devrait déjà être livrée à une entreprise spécialisée dans les installations de combustion de gaz faibles provenant de décharges ou de la préparation de biogaz. Des discussions à ce sujet sont déjà en cours.

Les experts d'etavalve GmbH sont donc confiants dans le fait que leur technologie pourrait arriver sur le marché dans un avenir proche et s'y imposer – malgré les défis qui restent à relever dans les détails techniques tels que les matériaux résistants à la température pour la machine et la stratégie de régulation pour le processus thermodynamique. D'autant plus que les calculs de rentabilité suscitent également des espoirs. « Notre première machine pilote peut déjà être fabriquée et exploitée en couvrant presque les coûts », dit Andyn Omanovic, « ce qui ne va pas du tout de soi pour une technologie innovante dans la construction mécanique coûteuse ». ■



ESPRIT D'INVENTION
De gauche à droite, Patrik Soltic, Andyn Omanovic et Wolfgang Schneider, les fondateurs d'etavalve.

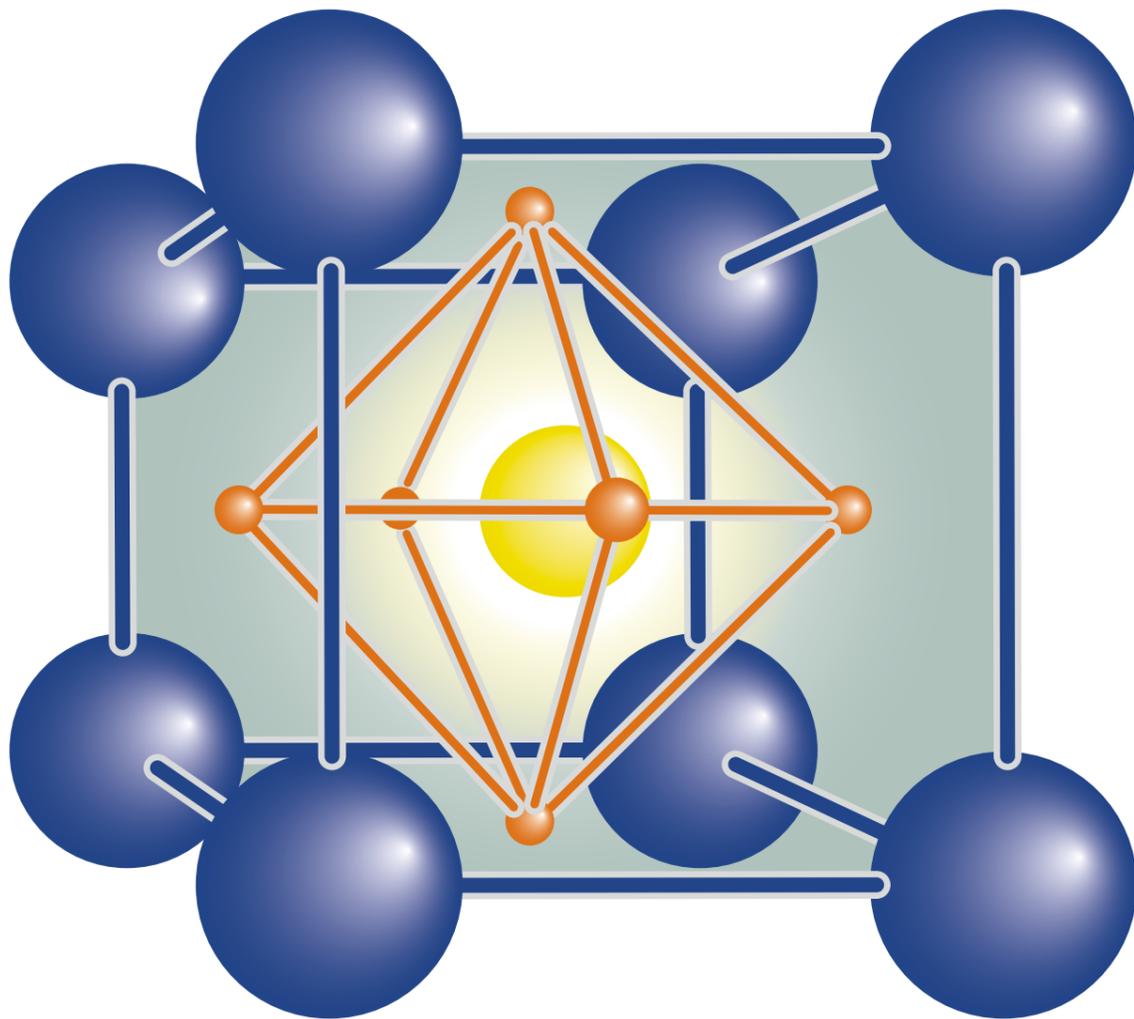


PIÈCE CENTRALE
Les pistons, tels qu'ils sont utilisés dans les moteurs à combustion, sont la partie centrale de la machine à piston.

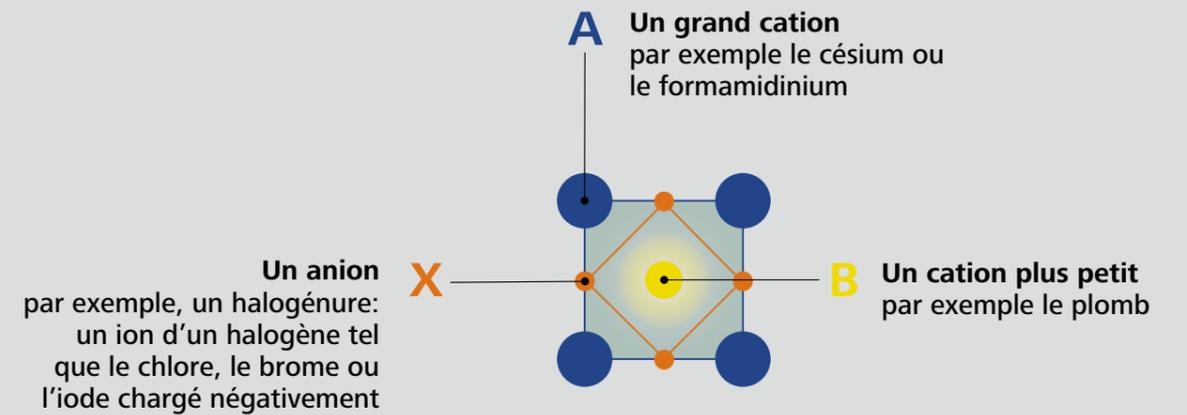
DES CRISTAUX À TOUT FAIRE

Les pérovskites sont un groupe de matériaux présentant une structure cristalline particulière. Cette structure leur confère des propriétés physiques inhabituelles, qui peuvent en outre être contrôlées avec précision en faisant varier la composition exacte de la pérovskite. Il n'est donc pas étonnant que les pérovskites fassent l'objet de recherches pour de nombreuses applications, en particulier dans le domaine de l'optoélectronique. Les chercheurs de l'Empa développent par exemple des cellules solaires, des capteurs d'images et des composants pour ordinateurs quantiques à base de pérovskites.

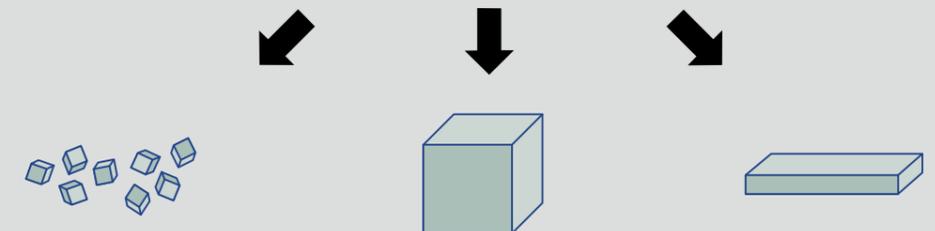
Graphiques : Empa



Structure cristalline



Applications



Nanocristaux

Les cristaux de pérovskite de l'ordre du nanomètre présentent une photoluminescence et des effets quantiques et pourraient être utilisés dans de nouvelles applications électroniques.

Monocristaux

Les grands monocristaux de pérovskite (d'une taille pouvant atteindre 1 centimètre) peuvent servir de détecteurs de lumière ou de rayons x.

Couches minces

Les couches minces de pérovskite ont des applications prometteuses dans la fabrication de cellules solaires flexibles.

UNE BRÈVE HISTOIRE DES PÉROVSKITES

Le mot « pérovskite » décrit un minéral naturel, mais aussi toute une série de composés synthétiques hautement spécialisés qui ont des applications prometteuses, notamment dans l'électronique et le photovoltaïque. Mais quel est leur point commun et qui les a découverts à l'origine ?

Texte : Anna Ettlín

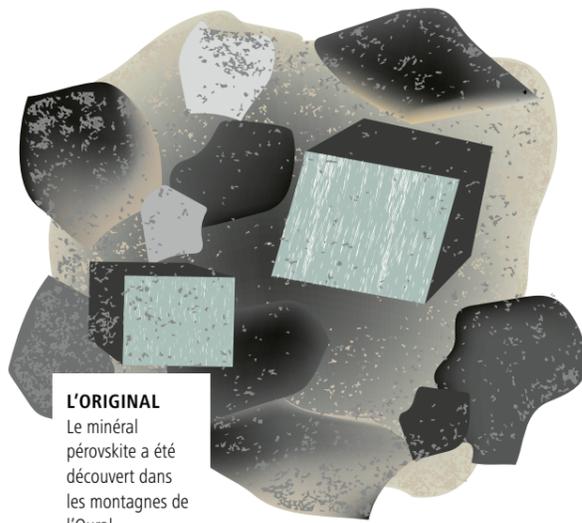
En 1839, le minéralogiste allemand Gustav Rose a reçu un étrange échantillon de roche des montagnes de l'Oural.

Un cristal cubique d'environ sept millimètres de diamètre, composé d'un minéral jusqu'alors inconnu, était incrusté dans la pierre. Il a appelé le minéral nouvellement découvert pérovskite, du nom de son parrain, le noble et minéralogiste russe Lev Perovski.

La remarquable structure cristalline de la pérovskite a été décrite en 1926 par le scientifique helvético-norvégien Victor Goldschmidt. Elle est basée sur la formule chimique ABX_3 , où A et B sont des ions chargés positivement – des cations. X est un anion chargé négativement. Dans la pérovskite originale, l'oxyde de calcium et de titane, A et B sont respectivement des cations de calcium et de titane, X est un anion d'oxygène.

Mais il est également possible de fabriquer des pérovskites à partir d'autres composants A, B et X. Les pérovskites dites à l'halogénure de plomb sont particulièrement connues. Elles contiennent du plomb au niveau du site B et X est un anion halogène comme le chlorure, le bromure ou l'iode. Le site A contient

un grand cation, généralement du césium ou un cation organique comme le méthylammonium ou le formamidinium. Les pérovskites à l'halogénure de plomb sont de bons semi-conducteurs dont les propriétés peuvent être contrôlées en faisant varier leur composition



L'ORIGINAL
Le minéral pérovskite a été découvert dans les montagnes de l'Oural.

exacte. Elles peuvent être fabriquées à partir de produits chimiques et de solvants simples ainsi qu'à partir de masses fondues, par exemple en couches minces ou en grands monocristaux.

Les chercheurs de l'Empa qui développent différentes applications pour les pérovskites à l'halogénure de plomb tirent parti de leurs propriétés uniques. En 2014, Maksym Kovalenko et son

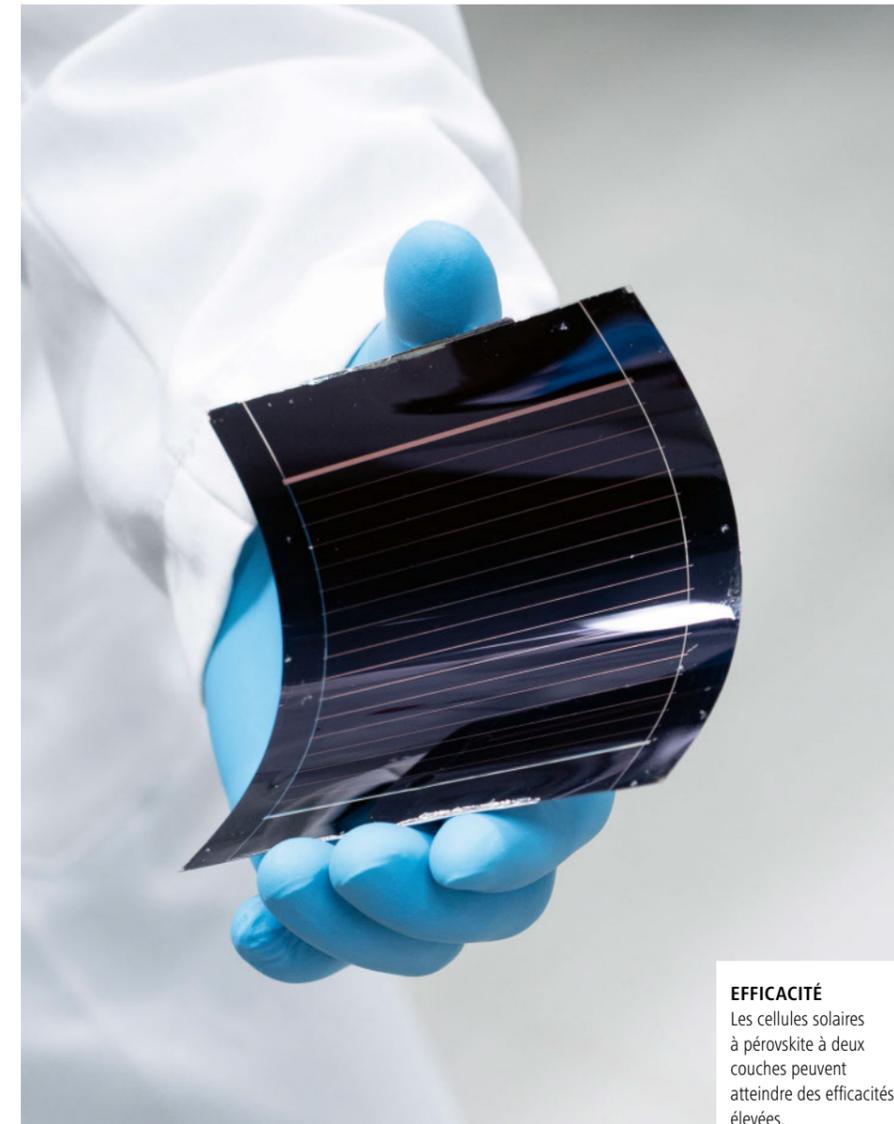
équipe à l'ETH Zurich et à l'Empa, dont Maryna Bodnarchuk du laboratoire Empa pour les films minces et le photovoltaïque, ont synthétisé pour la première fois de minuscules nanocristaux de pérovskite monodispersés, appelés points quantiques. Ils continuent à travailler intensivement sur le développement de matériaux dans ce domaine (page 15). En outre, le groupe de Maksym Kovalenko mène des recherches sur des capteurs d'images à base de pérovskites en couches minces (page 20) ainsi que sur des détecteurs de rayons gamma et de rayons X constitués de couches de monocristaux de pérovskite.

L'équipe de Fan Fu, chercheur à l'Empa, se consacre aux cellules solaires en pérovskites (page 18), qui se distinguent par leur grande efficacité et leur flexibilité. Le laboratoire des polymères fonctionnels, dirigé par Frank Nüesch, travaille également sur les cellules solaires en pérovskite. En 2020, le laboratoire a donné naissance à la spin-off « Perovskia Solar », environ 30 ans seulement après la première description des cellules solaires en pérovskite – et 181 ans après que Gustav Rose a tenu le curieux cristal entre ses mains. ■



Graphique : Empa

Photo : Empa



EFFICACITÉ

Les cellules solaires à pérovskite à deux couches peuvent atteindre des efficacités élevées.

UN PEU PLUS, C'EST POSSIBLE

Deux couches pour plus d'efficacité : les cellules solaires tandem à base de pérovskite peuvent mieux capter la lumière du soleil que les cellules solaires traditionnelles en silicium. Ces cellules légères et flexibles ont déjà fait leurs preuves en laboratoire – les chercheurs de l'Empa travaillent maintenant à les mettre à l'échelle et à les rendre utilisables au quotidien.

Texte : Anna Ettlín

MICROSCOPIE

Fan Fu, Severin Siegrist et Federico De Giorgi (de gauche à droite) examinent les cellules.



Les tuiles, c'était hier : aujourd'hui, on voit sur de plus en plus de toits suisses de grands rectangles noirs et bleus qui transforment la lumière du soleil en électricité. La couleur noir-bleu est due aux cristaux de silicium, car la majorité des cellules solaires disponibles aujourd'hui sont basées sur ce matériau semi-conducteur. Mais le silicium n'est pas le seul moyen de fabriquer des cellules photovoltaïques – et peut-être pas le meilleur non plus.

Les cellules photovoltaïques à base de silicium sont aujourd'hui tellement développées qu'elles atteignent les limites de leur efficacité. Il serait certes possible de gagner encore quelques points de pourcentage, mais la limite supérieure théorique du rendement d'une cellule simple au silicium est de 33 %. Dans la pratique, elle est un peu plus basse, car la construction et le fonctionnement des cellules entraînent inévitablement de petites pertes d'énergie.

La raison de cette efficacité limitée est due aux propriétés matérielles du silicium. La « bande interdite » du matériau fait que seuls les photons ayant une certaine énergie peuvent être convertis en électricité. Si l'énergie du photon est trop élevée, il ne peut pas être entièrement « utilisé » par la cellule solaire.

DEUX COUCHES VALENT MIEUX QU'UNE

Les cellules solaires fabriquées à partir d'autres matériaux offrent une possibilité de contourner cette restriction, sait Fan Fu, chercheur à l'Empa. Le chef de groupe du laboratoire des films minces et du photovoltaïque mène des recherches sur des cellules solaires à haut rendement en pérovskite. Une cellule simple en pérovskite n'atteint certes pas à elle seule un rendement plus élevé, car la pérovskite, en tant que semi-conducteur, a elle aussi une bande interdite limitée. La véritable force de ce matériau innovant réside dans le fait que, contrairement au silicium, cette bande interdite peut être contrôlée en faisant varier la composition du matériau pérovskite.

Si l'on transforme deux pérovskites avec des bandes interdites différentes en cellules solaires à couche mince et qu'on les « empile » l'une sur l'autre, on obtient une cellule solaire dite tandem. Une couche de pérovskite « capture » les photons à haute énergie, l'autre ceux à basse énergie. En théorie, il est ainsi possible d'atteindre des rendements allant jusqu'à 45 % – bien plus que les 33 % des cellules simples. Il est également possible de combiner une couche de pérovskite avec une couche de silicium pour obtenir une cellule tandem à haut rendement. Mais pour l'instant, Fan Fu et son équipe font surtout des recherches sur les cellules tandem en pérovskite pure, notamment dans le cadre du projet de recherche européen « SuPerTandem », auquel participent au total 15 institutions de recherche et entreprises européennes de premier plan. Objectif du projet : développer des modules tandem en pérovskite flexibles avec un rendement de plus de 30 %, qui peuvent en outre être produits avec des procédés évolutifs

**CARRÉS FLEXIBLES**

Trois prototypes de cellules solaires en couches minces à base de pérovskite.

et peu coûteux. Car c'est là un autre point fort des cellules solaires en pérovskite : « Pour les cellules solaires au silicium, il faut généralement des monocristaux de silicium d'une grande pureté, fabriqués à haute température », explique Fan Fu. « En revanche, les couches minces de pérovskite peuvent être imprimées, évaporées ou déposées à partir d'une solution, avec une empreinte carbone réduite en conséquence. Les petits défauts qui en résultent n'affectent que peu leurs propriétés optoélectroniques. »

Les avantages potentiels de projets tels que « SuPerTandem » sont énormes, car plus le rendement est élevé, moins l'installation solaire est chère en fin de compte. « La cellule elle-même représente moins de 20 % du coût d'une installation photovoltaïque », explique Fan Fu. « Les 80 % restants sont dus au câblage, aux onduleurs, à la commande et bien sûr à la main-d'œuvre nécessaire à l'installation. » Si l'on augmente l'efficacité de chaque cellule, une installation PV plus petite – et donc moins

chère – suffit pour obtenir la même production d'électricité. Les cellules à couche mince en pérovskite peuvent également être fabriquées sur des films légers et flexibles, plutôt que sur des plaques de verre lourdes et rigides comme les cellules au silicium. Elles peuvent donc être utilisées dans un plus grand nombre d'endroits, par exemple sur les toits des voitures ou sur les bâtiments à faible capacité de charge.

DU LABORATOIRE AU TOIT

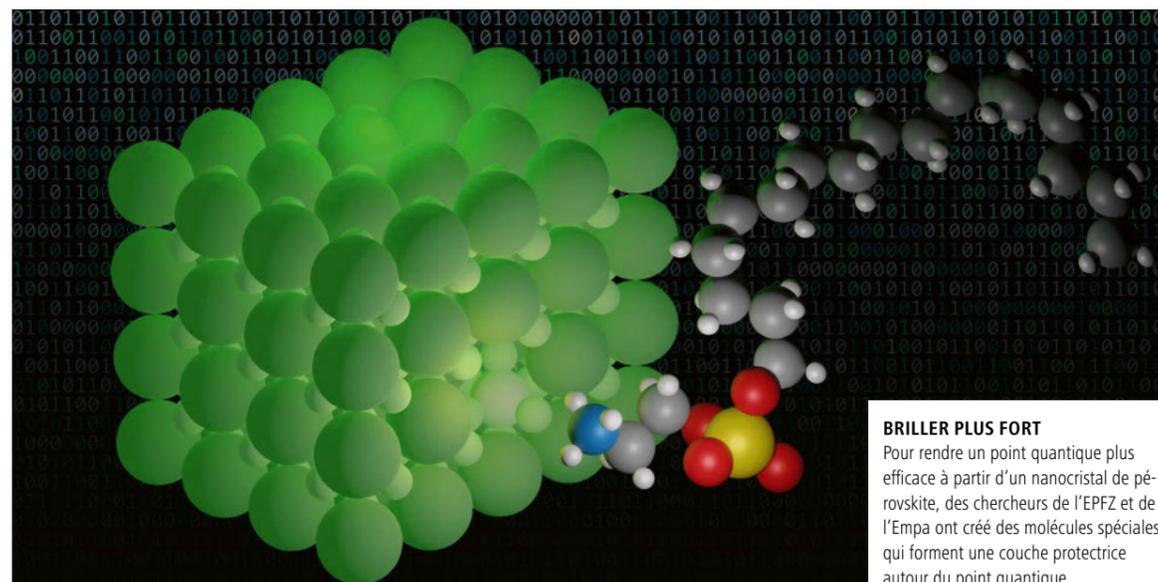
Il s'agit maintenant d'exploiter ce grand potentiel des cellules solaires en pérovskite. Outre « SuPerTandem », l'équipe de Fan Fu y travaille également dans le cadre de deux projets suisses. Dans un projet soutenu par le Fonds national suisse (FNS), l'équipe de l'Empa travaille à mieux comprendre les propriétés fondamentales et les défis des cellules solaires en pérovskite, qui contribuent à leur efficacité et à leur stabilité. Et dans le cadre d'un projet avec l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), ils mettent immédiatement

en pratique leurs connaissances déjà acquises en mettant à l'échelle les cellules tandem développées à l'Empa.

Que devons-nous encore faire pour que des feuilles de pérovskite rougeâtres viennent bientôt s'ajouter aux carrés noirs et bleus sur le toit ? « Nous devons tout d'abord faire évoluer les cellules en pérovskite des prototypes actuels de quelques centimètres vers des tailles industrielles », explique Fan Fu. Il s'agit également de protéger efficacement les cellules encore un peu fragiles contre les intempéries. Le chercheur de l'Empa est optimiste et pense que ces deux objectifs seront atteints dans les cinq à dix prochaines années. « Nous faisons de bons progrès et il y a un grand intérêt de la part de l'industrie », dit le scientifique. « La recherche ne s'intéresse aux cellules solaires en pérovskite que depuis à peine 15 ans. La recherche sur les cellules au silicium dure tout de même depuis près de 70 ans. » ■



EFFICACES, BRILLANTS, RAPIDES



BRILLER PLUS FORT

Pour rendre un point quantique plus efficace à partir d'un nanocristal de pérovskite, des chercheurs de l'EPFZ et de l'Empa ont créé des molécules spéciales qui forment une couche protectrice autour du point quantique.

Des chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ ont développé de nouveaux procédés permettant de transformer des points quantiques de pérovskite en émetteurs plus rapides et plus efficaces et d'améliorer ainsi considérablement leur luminosité. Ceci est pertinent aussi bien pour les applications dans les écrans que pour les technologies quantiques.

Texte : Oliver Morsch / EPFZ



Les points quantiques sont un peu comme des atomes artificiels : D'une taille de quelques nanomètres seulement et constitués de matériaux semi-conducteurs, ils peuvent émettre de la lumière d'une couleur bien précise, voire, dans des cas extrêmes, des photons individuels, ce qui est important pour les technologies quantiques. Les découvreurs et précurseurs de la production commerciale de points quantiques, Mounqi G. Bawendi, Louis E. Brus et Aleksey Yekimov, ont été récompensés l'année dernière par le prix Nobel de chimie.

Ces dernières années, ce sont surtout les points quantiques en pérovskites, une classe de matériaux dont la structure est similaire à celle du minéral pérovskite (titanate de calcium) qui ont fait parler d'eux. De tels points quantiques ont été

fabriqués pour la première fois en 2014 par des chercheurs de l'EPFZ et de l'Empa, autour de Maksym Kovalenko. Les points quantiques en nanocristaux de pérovskite peuvent être mélangés dans des liquides pour former une dispersion, ce qui les rend faciles à traiter. De plus, grâce à leurs propriétés optiques particulières, ils brillent plus fort que de nombreux autres points quantiques et sont moins chers à produire, ce qui les rend intéressants, entre autres, pour des applications dans les écrans.

L'équipe de Kovalenko, en collaboration avec des collègues ukrainiens et américains, vient de montrer comment ces propriétés déjà prometteuses des points quantiques de pérovskite peuvent être encore nettement améliorées. Ils ont eu recours à des procédés chimiques de traitement de surface ainsi qu'à des effets

de mécanique quantique jamais observés jusqu'ici dans les points quantiques de pérovskite. Les chercheurs ont récemment publié leurs résultats dans deux articles de la célèbre revue spécialisée «Nature».

LES ATOMES « MALHEUREUX » RÉDUISENT LA LUMINOSITÉ

La luminosité est une unité de mesure importante pour les points quantiques et est liée au nombre de photons que le point quantique émet par seconde. Les points quantiques émettent des photons d'une certaine couleur (donc d'une certaine fréquence) après avoir été excités, par exemple, par une lumière UV de fréquence plus élevée. Il se forme alors ce que l'on appelle un exciton composé d'un électron, qui peut alors se déplacer plus librement, et d'un trou, c'est-à-dire d'un électron manquant dans la structure de bande énergétique du matériau. L'électron excité peut ensuite retomber à un niveau d'énergie inférieur et se recombiner ainsi avec le trou. Si l'énergie ainsi libérée est convertie en photon, le point quantique émet de la lumière.

Mais cela ne fonctionne pas toujours. «A la surface des nanocristaux de pérovskite se trouvent des atomes <malheureux> auxquels il manque leur voisin dans le réseau cristallin», explique Gabriele Raino, chercheur à l'EPFZ. Ces atomes marginaux perturbent l'équilibre des porteurs de charge positifs et négatifs à l'intérieur du nanocristal et peuvent faire en sorte que, lors de la recombinaison, l'énergie ne soit pas émise sous forme de lumière, mais se transforme en oscillations cristallines. De ce fait, le point quantique «clignote» et ne brille donc pas de manière continue.

UN MANTEAU PROTECTEUR DE PHOSPHOLIPIDES

Pour éviter cela, Maksym Kovalenko et son équipe ont développé des molécules sur mesure, appelées phospholipides.

«Ces phospholipides sont très semblables aux liposomes avec lesquels, par exemple, le vaccin ARNm contre le coronavirus est enrobé de telle sorte qu'il reste stable dans la circulation sanguine et parvienne jusqu'aux cellules», explique Maksym Kovalenko. Une différence importante : les chercheurs ont optimisé leurs molécules de telle sorte que la partie polaire, donc électriquement sensible, de la molécule s'amarre à la surface des points quantiques de pérovskite et veille à ce que les atomes «malheureux» reçoivent à nouveau un partenaire (de charge).

La partie non polaire du phospholipide, qui fait saillie vers l'extérieur, permet en outre de créer une dispersion avec des points quantiques dans des solutions non aqueuses, par exemple dans des solvants organiques. Le manteau lipidique à la surface des nanocristaux de pérovskite est également important pour la stabilité structurelle des points quantiques, comme le souligne Maksym Kovalenko : «Ce traitement de surface est essentiel pour tout ce que nous voulons faire avec les points quantiques.» Jusqu'à présent, Maksym Kovalenko et ses collègues ont démontré ce traitement pour des points quantiques de pérovskites d'halogénure de plomb, mais il peut facilement être adapté à d'autres points quantiques d'halogénure de métal.

ENCORE PLUS LUMINEUX GRÂCE À LA SUPER-RADIANCE

Grâce à la surface lipidique, le clignotement des points quantiques a pu être réduit de telle sorte qu'un photon est émis dans 95 % des recombinaisons électron-trou. Pour rendre le point quantique encore plus brillant, les chercheurs ont toutefois dû augmenter la vitesse de la recombinaison elle-même – et cela n'est possible qu'à l'aide de la mécanique quantique. Un état excité, par exemple un exciton, se désintègre lors-

qu'un dipôle – c'est-à-dire des charges positives et négatives décalées les unes par rapport aux autres – interagit avec le champ électromagnétique du vide. Plus ce dipôle est grand, plus la désintégration est rapide. Une possibilité de créer un dipôle plus grand consiste à coupler uniformément plusieurs dipôles plus petits. Cela est comparable aux horloges à balancier qui sont reliées mécaniquement entre elles et qui battent ainsi en rythme après un certain temps. Au cours de l'expérience, les chercheurs ont pu montrer que ce couplage cohérent fonctionne également dans les points quantiques de pérovskite – et ce avec un seul dipôle d'excitons qui, par des effets de mécanique quantique, se propage dans tout le volume du point quantique et crée ainsi en quelque sorte plusieurs copies de lui-même. Plus le point quantique est grand, plus il peut y avoir de copies. Celles-ci peuvent alors provoquer un effet appelé superradiance, grâce auquel l'exciton se recombine beaucoup plus rapidement. Le point quantique est donc aussi plus rapidement prêt à accueillir un nouvel exciton et peut ainsi émettre plus de photons par seconde, il rayonne donc encore plus intensément. Il est important de noter que le point quantique plus rapide continue d'émettre des photons individuels (et non plusieurs à la fois), ce qui le rend adapté aux technologies quantiques.

Selon Maksym Kovalenko, les points quantiques de pérovskite optimisés ne sont pas seulement intéressants pour la production de lumière et les écrans, mais aussi dans d'autres domaines moins évidents. Ils pourraient par exemple être utilisés comme catalyseurs activés par la lumière dans la chimie organique. Maksym Kovalenko effectue des recherches sur de telles applications et d'autres, notamment dans le cadre du pôle de recherche national «NCCR Catalysis».

PIXELS PUISSANCE TROIS

Capoter trois fois plus de lumière : des chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ développent un capteur d'images en pérovskite qui doit fournir des photos aux couleurs fidèles même dans des conditions de faible luminosité. L'astuce : là où les pixels pour le rouge, le vert et le bleu sont juxtaposés sur les capteurs d'images traditionnels, les pixels de pérovskite peuvent être empilés pour gagner de la place – et ainsi améliorer la qualité de l'image.

Texte : Anna Ettlin

Famille, amis, vacances, animaux : aujourd'hui, nous photographions tout ce qui passe devant notre objectif. La photographie numérique, que ce soit avec un téléphone portable ou un appareil photo, est simple et donc très répandue. Chaque année, les nouveaux appareils promettent un capteur d'image encore plus performant avec encore plus de mégapixels. Le type de capteur le plus courant est basé sur le silicium, qui est divisé par des filtres spéciaux en pixels individuels pour la lumière rouge, verte ou bleue (RVB). Ce n'est toutefois pas la seule manière de fabriquer un capteur d'image numérique – et peut-être pas la meilleure non plus.

Des chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ travaillent sur une alternative. Un consortium composé de Maksym Kovalenko du laboratoire « Thin Film and Photovoltaics » de l'Empa, d'Ivan Shorubalko du laboratoire « Transport at Nanoscale Interfaces » de l'Empa ainsi que des chercheurs de l'EPFZ Taekwang Jang et Sergii Yakunin, développe un capteur d'image en pérovskite. Celui-ci est capable de capter beaucoup plus de lumière que son homologue en

silicium. Dans un capteur d'image en silicium, les pixels RGB sont disposés en grille les uns à côté des autres. Chaque pixel ne capte qu'un tiers environ de la lumière incidente, les deux tiers restants étant bloqués par le filtre de couleur.

Les pixels en pérovskites aux halogénures de plomb n'ont pas besoin de filtre supplémentaire : le filtre est pour ainsi dire « intégré » dans le matériau. En effet, les chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ ont réussi à fabriquer des pérovskites à l'halogénure de plomb de telle sorte qu'elles n'absorbent que la lumière d'une certaine longueur d'onde – et donc d'une certaine couleur – et qu'elles soient transparentes pour les autres longueurs d'onde. Il est ainsi possible de superposer les pixels pour le rouge, le vert et le bleu au lieu de les disposer les uns à côté des autres. Le pixel qui en résulte peut absorber toutes les longueurs d'onde de la lumière. « Avec un capteur en pérovskite, il serait donc possible de capter trois fois plus de lumière par surface qu'avec un capteur en silicium traditionnel », explique le chercheur de l'Empa Ivan Shorubalko. En outre, la pérovskite convertit une plus grande partie de la lumière absorbée en un signal électrique,

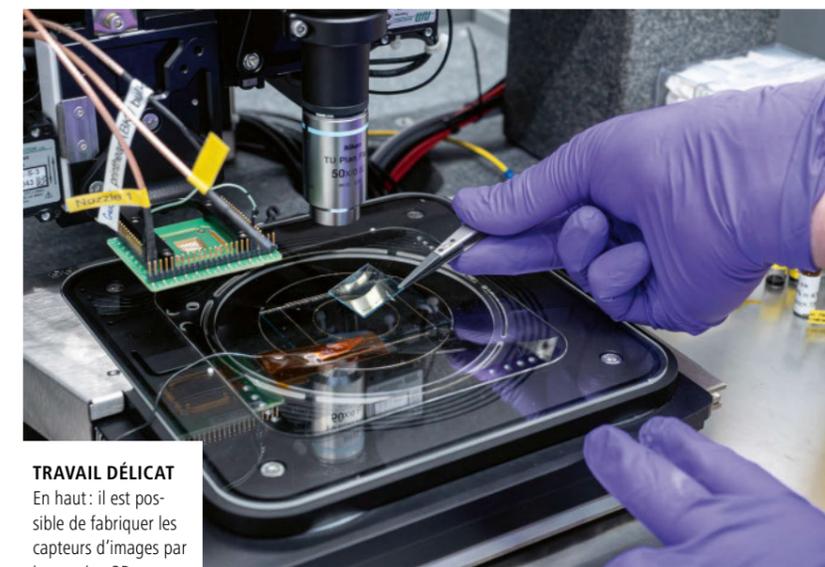
ce qui confère au capteur d'image une efficacité encore plus grande.

Le groupe de recherche de Maksym Kovalenko à l'Empa et à l'EPFZ a déjà pu montrer en 2017 la fabrication de pixels de pérovskite individuels empilés et fonctionnels. Pour franchir la prochaine étape vers de véritables capteurs d'images, le consortium EPFZ-Empa dirigé par Maksym Kovalenko s'est associé à l'industrie électronique. « Parmi les défis à relever figurent la recherche de nouveaux procédés de fabrication et de structuration des matériaux ainsi que la conception et la mise en œuvre d'architectures électroniques de lecture compatibles avec pérovskite », souligne Maksym Kovalenko. Les chercheurs travaillent maintenant à la miniaturisation des pixels, qui mesuraient à l'origine jusqu'à cinq millimètres, et à leur assemblage en un capteur d'image fonctionnel. « En laboratoire, nous ne fabriquons certes pas les grands capteurs de plusieurs mégapixels utilisés dans les appareils photo », explique Ivan Shorubalko, « mais avec une taille d'environ 100'000 pixels, nous pouvons déjà montrer que la technologie fonctionne ».

Un autre avantage des capteurs d'images à base de pérovskite est leur fabrication. Contrairement à d'autres semi-conducteurs, les pérovskites sont peu sensibles aux défauts du matériau et peuvent donc être fabriquées relativement facilement, par exemple en les déposant sur le matériau de support à partir d'une solution. Les capteurs d'images conventionnels ont en revanche besoin de silicium monocristallin très pur, fabriqué selon un procédé lent à près de 1500 degrés Celsius.

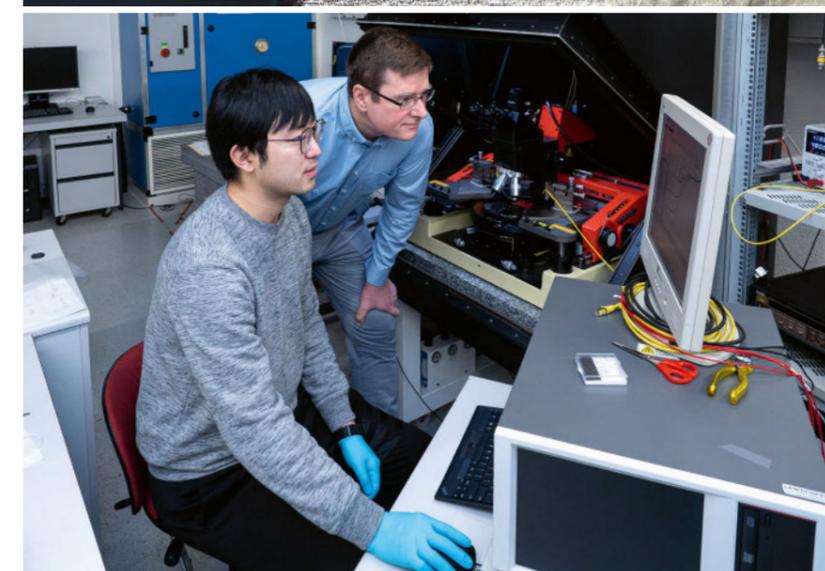
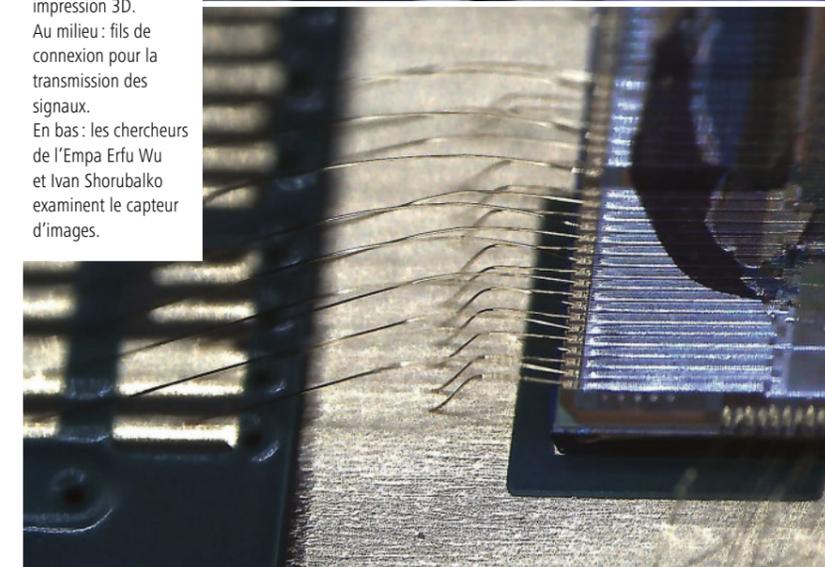
Les avantages des capteurs d'images à base de pérovskite sont évidents. Il n'est donc pas surprenant que le projet de recherche comprenne également un partenariat industriel. Le défi réside dans la stabilité de la pérovskite, qui est plus sensible aux influences environnementales que le silicium. « Avec des procédés standard, on détruirait le matériau », explique Ivan Shorubalko. « Nous développons donc de nouveaux procédés dans lesquels la pérovskite reste stable. Et nos groupes partenaires à l'EPFZ travaillent à garantir la stabilité du capteur d'images en fonctionnement. »

Si cela s'avère possible d'ici la fin du projet, qui se poursuivra jusqu'à fin 2025, la technologie sera prête à être transférée à l'industrie. Ivan Shorubalko est persuadé que la promesse d'un meilleur capteur d'image attirera les fabricants de téléphones portables. « Aujourd'hui, de nombreuses personnes choisissent leur smartphone en fonction de la qualité de l'appareil photo, car elles n'ont alors plus besoin d'un appareil photo séparé », explique le chercheur. Dans ce contexte, un capteur capable de fournir des images de première qualité avec beaucoup moins de lumière pourrait bien être un atout. ■



TRAVAIL DÉLICAT

En haut : il est possible de fabriquer les capteurs d'images par impression 3D. Au milieu : fils de connexion pour la transmission des signaux. En bas : les chercheurs de l'Empa Erfu Wu et Ivan Shorubalko examinent le capteur d'images.



Photos : Empa



SCRUTÉS DANS L'OBSCURITÉ

La meilleure façon de traiter les calculs rénaux dépend de la composition et de la forme. Des chercheurs de l'Empa travaillent désormais sur un procédé de diagnostic indolore au moyen de la radiographie à fond noir. Cette technologie innovante permet de saisir individuellement la structure et la nature des calculs pour les personnes concernées. La fondation Maiores soutient ce projet qui vient d'être lancé.

Texte: Andrea Six



UN SOUTIEN PRIVÉ QUI FAIT LA DIFFÉRENCE

Le Fonds d'avenir de l'Empa recherche des fonds tiers privés pour des projets de recherche d'avenir qui ne sont pas encore soutenus par ailleurs. Si vous aussi, vous souhaitez donner un coup de pouce supplémentaire à notre recherche, vous trouverez ici de plus amples informations : www.empa.ch/web/zukunftsfonds

Les personnes concernées font état de douleurs intenses : les calculs rénaux peuvent certes passer inaperçus pendant longtemps, mais chez de nombreuses personnes, ils provoquent des troubles à un moment ou à un autre de leur vie. Plus de 5 % de la population souffrent de ces cristaux aux formes multiples. Le traitement le plus adapté à cette maladie populaire dépend de la forme et de la composition chimique des formations minérales. « Mais parfois, la nature des calculs n'est reconnaissable que lorsqu'ils ont déjà été enlevés par une opération », explique Robert Zboray du « Center for X-ray Analytics » de l'Empa.

Une telle intervention à l'hôpital n'est toutefois pas toujours nécessaire. Dans certains cas, il suffit de changer ses

habitudes alimentaires et de boisson, ce qui est bien plus avantageux. Pour que le traitement adéquat – c'est-à-dire adapté à chaque patient – soit mis en place, les chercheurs de l'Empa développent un nouveau procédé de diagnostic basé sur des technologies radiologiques avancées. Ce projet, qui vient d'être lancé, est rendu possible grâce au soutien de la fondation Maiores au Liechtenstein.

PRÉCIS ET EFFICACE

Robert Zboray et son équipe recherchent des méthodes d'imagerie biomédicale permettant de déterminer les composants, la forme et la position des calculs rénaux de manière précise, économique et indolore. La radiographie à fond noir est particulièrement adaptée à cet effet. Cette technologie innovante et multi-modale utilise

d'une part le rayonnement diffusé, qui se produit lors de l'interaction entre les rayons X et les calculs rénaux, et d'autre part le rayonnement direct, qui donne simultanément une image radiographique conventionnelle. La combinaison des deux types d'images permet de déterminer la composition du calcul de manière particulièrement sensible. Il est ainsi même possible de représenter des objets presque transparents ainsi que des finesses de la microstructure « Notre objectif est de pouvoir équiper les appareils de radiologie courants des cabinets médicaux et des hôpitaux de la nouvelle technologie à fond noir de la manière la plus rentable possible », explique le chercheur de l'Empa. ■



Graphique: Empa

Rendre possible la médecine de demain.



Faites la différence!
Soutenez le Zukunftsfonds
« Médecine » de l'Empa.
empa.ch/zukunftsfonds

 **Empa**
Zukunftsfonds

ON PEUT TOUJOURS FAIRE PLUS PETIT : TOUT N'EST PAS NANOPLASTIQUE

Les textiles en fibres synthétiques libèrent des micro et nanoplastiques lors du lavage. Des chercheurs de l'Empa ont pu montrer que c'était le cas : une partie du prétendu nanoplastique n'est pas constituée de particules de plastique, mais d'oligomères insolubles dans l'eau. Leurs effets sur l'homme et l'environnement n'ont pas encore été étudiés.

Texte : Anna Ettlin

Les objets d'usage courant en plastique et les vêtements en fibres synthétiques libèrent des microplastiques : des particules de moins de 5 millimètres qui peuvent passer inaperçues dans l'environnement. Une petite partie de ces particules se trouve même à l'échelle du nanomètre. Ces nanoplastiques font l'objet de recherches intensives, car en raison de leur petite taille, les particules de nanoplastiques peuvent franchir les barrières du corps humain – mais on sait encore peu de choses sur leur toxicité potentielle.

Des chercheurs de l'Empa du groupe de Bernd Nowack du laboratoire « Technologie et société » ont maintenant examiné à la loupe des nanoplastiques de textiles en collaboration avec des collègues chinois. Tong Yang, premier auteur de l'étude, a mené ces recherches pendant son doctorat à l'Empa. Dans des études précédentes, les chercheurs de l'Empa avaient déjà pu montrer que des micro et nanoplastiques étaient libérés lors du lavage du polyester. Une

analyse précise des nanoparticules libérées a maintenant révélé que tout ce qui ressemble à première vue à du nanoplastique n'en est pas vraiment.

Pour une part considérable, il ne s'agissait effectivement pas de nanoplastiques, mais d'amas de ce que l'on appelle des oligomères, c'est-à-dire des molécules de taille petite à moyenne, qui représentent une étape intermédiaire entre les longs polymères enchaînés et leurs composants individuels, les monomères. Ces molécules sont encore plus petites que les particules nanoplastiques. De même, on ne sait presque rien de leur toxicité. Les chercheurs ont publié leurs résultats dans la revue « Nature Water ».

Pour cette étude, les chercheurs ont examiné douze tissus en polyester différents, dont des microfibrés, du satin et du jersey. Les échantillons de tissu ont été lavés jusqu'à quatre fois

et les nanoparticules ainsi libérées ont été analysées et caractérisées. Ce n'est pas une tâche facile, explique Bernd Nowack. « Le plastique, et surtout les nanoplastiques, sont partout, y compris sur nos appareils et ustensiles », explique le scientifique. « Pour les mesures de nanoplastiques, nous devons tenir compte de ce « bruit de fond ». »

GRANDE PROPORTION DE PARTICULES SOLUBLES

Pour distinguer les nanoplastiques des oligomères, les chercheurs ont utilisé un bain d'éthanol. Les morceaux de plastique, aussi petits soient-ils, ne s'y dissolvent pas, contrairement aux amas d'oligomères. Résultat : entre un tiers et 90 % des nanoparticules libérées lors du lavage ont pu être dissoutes dans l'éthanol. « Nous avons ainsi pu montrer que tout ce qui ressemble à première vue à des nanoplastiques n'en est pas forcément », explique Bernd Nowack.

On ne sait pas encore si la libération d'oligomères « nanoparticulaires » lors du lavage des textiles a des effets négatifs sur l'homme et l'environnement. « Pour d'autres matières plastiques, des études ont déjà montré que les oligomères nanoparticulaires sont plus toxiques que les nanoplastiques », explique Bernd Nowack. « C'est une indication qu'il faudrait étudier cela de plus près. » Les chercheurs ont toutefois pu constater que la nature du textile ainsi que la méthode de coupe – ciseaux ou laser – n'ont pas une grande influence sur la quantité de particules libérées.

De même, le mécanisme de libération n'a pas encore été élucidé – ni pour les nanoplastiques ni pour les particules d'oligomères. La bonne nouvelle est que la quantité de particules libérées diminue fortement avec les lavages répétés. On pourrait imaginer que les particules d'oligomères



AVANT ET APRÈS
Au microscope électronique à balayage, les nanoparticules sont visibles à la surface de la fibre polaire (en haut). Lors du lavage, les particules se détachent, si bien qu'après quatre lavages, il n'en reste presque plus (en bas).

se forment lors de la fabrication du textile ou qu'elles se séparent des fibres par des processus chimiques lors du stockage. Des études supplémentaires sont également nécessaires à ce sujet.

Bernd Nowack et son équipe se consacrent toutefois pour l'instant à nouveau à des particules plus grandes : Dans un prochain projet, ils veulent étudier quelles fibres sont libérées lors du lavage de textiles fabriqués à partir de matières premières renouvelables et si celles-ci pourraient nuire à l'environnement et à la santé. « Les textiles semi-synthétiques comme la viscose ou le lyocell sont présentés comme des substituts au polyester », explique Bernd Nowack. « Mais nous ne savons pas encore s'ils sont vraiment meilleurs en termes de libération de fibres. » ■



LIBÉRATION
Les textiles en fibres synthétiques libèrent des nanoparticules lors du lavage.

Photos : Adobe Stock, Empa

VALEURS INTERNES

Si les médicaments doivent être administrés localement – et surtout de manière contrôlée sur une longue durée –, les produits médicaux tels que les pommades ou les seringues atteignent leurs limites. C'est pourquoi les chercheurs de l'Empa développent des fibres polymères capables de délivrer des principes actifs avec précision et à long terme. Ces « fibres noyau liquide » contiennent des médicaments en leur sein et peuvent être transformées en textiles médicaux.

Texte : Andrea Six



PRÉCISION
La chercheuse de l'Empa Edith Perret développe des fibres spéciales qui peuvent délivrer des médicaments de manière ciblée.

Le traitement d'une plaie ou d'une inflammation directement à l'endroit où elle se produit présente des avantages évidents : le principe actif atteint immédiatement sa cible et il n'y a pas d'effets secondaires négatifs sur les parties du corps non concernées. Les méthodes d'administration locales courantes atteignent toutefois leurs limites lorsqu'il s'agit de doser précisément des principes actifs sur une longue période. Dès qu'une pommade quitte le tube ou que le liquide d'injection s'écoule de la seringue, il n'est pratiquement plus possible de contrôler la quantité de principe actif. Edith Perret, du laboratoire « Advanced Fibers » de l'Empa à Saint-Gall, développe donc des fibres médicales aux « valeurs internes » très particulières : les fibres polymères entourent un noyau liquide contenant des principes actifs médicaux. L'objectif : des produits médicaux aux capacités particulières, par exemple des sutures chirurgicales, des pansements et des implants textiles capables d'administrer avec précision des analgésiques, des antibiotiques ou de l'insuline sur une longue période. L'objectif est en outre de permettre un dosage individuel dans le sens d'une médecine personnalisée.

BIOCOMPATIBLE ET SUR MESURE

Un facteur décisif qui fait d'une fibre textile traditionnelle un dispositif médical est le matériau de la gaine de la fibre. L'équipe a choisi le polycaprolactone (PCL), un polymère biocompatible et biodégradable qui est déjà utilisé avec succès dans le domaine médical. L'enveloppe fibreuse renferme le précieux produit, par exemple un analgésique ou un médicament à effet antibactérien, et le libère dans l'environnement au fil du temps. Sur

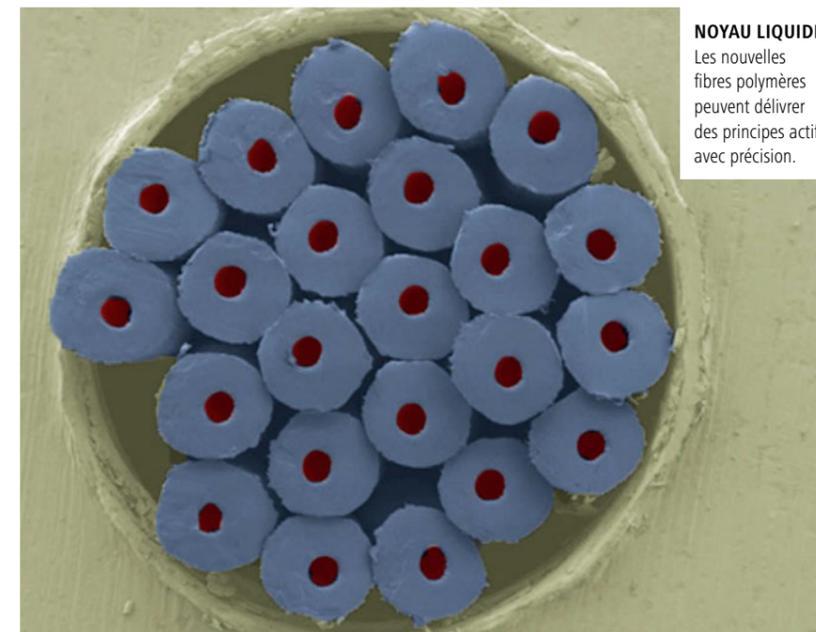
une installation pilote construite à cet effet, les chercheurs ont produit des fibres PCL avec un noyau continu de liquide au moyen d'un filage par fusion. Les premiers essais en laboratoire ont permis de créer des fibres à âme liquide à la fois stables et flexibles. L'équipe chargée des fibres techniques avait déjà pu démontrer avec succès, en collaboration avec un partenaire industriel suisse, que ce procédé ne fonctionne pas seulement en laboratoire, mais aussi à l'échelle industrielle.

Les paramètres selon lesquels les fibres médicales libèrent un agent enfermé ont d'abord été étudiés avec des substances modèles fluorescentes et finalement avec différents médicaments. « Les petites molécules, comme l'analgésique ibuprofène, se déplacent progressivement à travers la structure de la gaine extérieure », explique Edith Perret. Les molécules plus grosses sont en revanche libérées aux extrémités des fibres.

UN CONTRÔLE PRÉCIS ET UNE EFFICACITÉ À LONG TERME

« Grâce à une multitude de paramètres différents, les propriétés des fibres médicales peuvent être contrôlées avec précision », explique la chercheuse de l'Empa. Après des analyses approfondies par spectroscopie de fluorescence, technologie des rayons X et microscopie électronique, les chercheurs ont par exemple pu démontrer l'influence de l'épaisseur de la gaine ou de la structure cristalline du matériau de la gaine sur le taux de libération des médicaments à partir des fibres à cœur liquide.

Le procédé de fabrication peut en outre être adapté en fonction du principe actif : Les principes actifs qui ne sont pas sensibles aux températures élevées lors du filage par fusion peuvent être intégrés directement dans le noyau des fibres au cours d'un processus continu. Pour les médicaments sensibles à la température,



NOYAU LIQUIDE
Les nouvelles fibres polymères peuvent délivrer des principes actifs avec précision.

PARTENARIATS CLINIQUES ENVISAGÉS

Faire avancer une nouvelle technologie ? Identifier des possibilités d'application innovantes ? La chercheuse de l'Empa Edith Perret (edith.perret@empa.ch) mise sur des médecins intéressés issus de la clinique qui reconnaissent le potentiel de la « Drug Delivery » par fibre à noyau liquide et qui souhaitent devenir actifs dans ce domaine.

L'équipe a en revanche pu optimiser le procédé de manière à ce qu'un espaceur remplisse d'abord le noyau liquide, espaceur qui sera remplacé par le principe actif sensible après le filage par fusion.

Parmi les avantages des fibres à cœur liquide figure également la possibilité de libérer la substance active d'un réservoir pendant une période prolongée. Il en résulte de nombreuses possibilités d'application. Avec des diamètres de 50 à 200 micromètres, les fibres sont par exemple assez grandes pour être tissées ou tricotées en textiles résistants. Mais les fibres médicales pourraient aussi être introduites à l'intérieur du corps et y

délivrer des hormones comme l'insuline, selon Edith Perret. Autre avantage : les fibres qui ont libéré leur médicament peuvent être remplies à nouveau. L'éventail des principes actifs qui pourraient être administrés de manière simple, pratique et précise au moyen de fibres à cœur liquide est large. Outre les analgésiques, on peut imaginer des médicaments anti-inflammatoires, des antibiotiques ou même des préparations de style de vie.

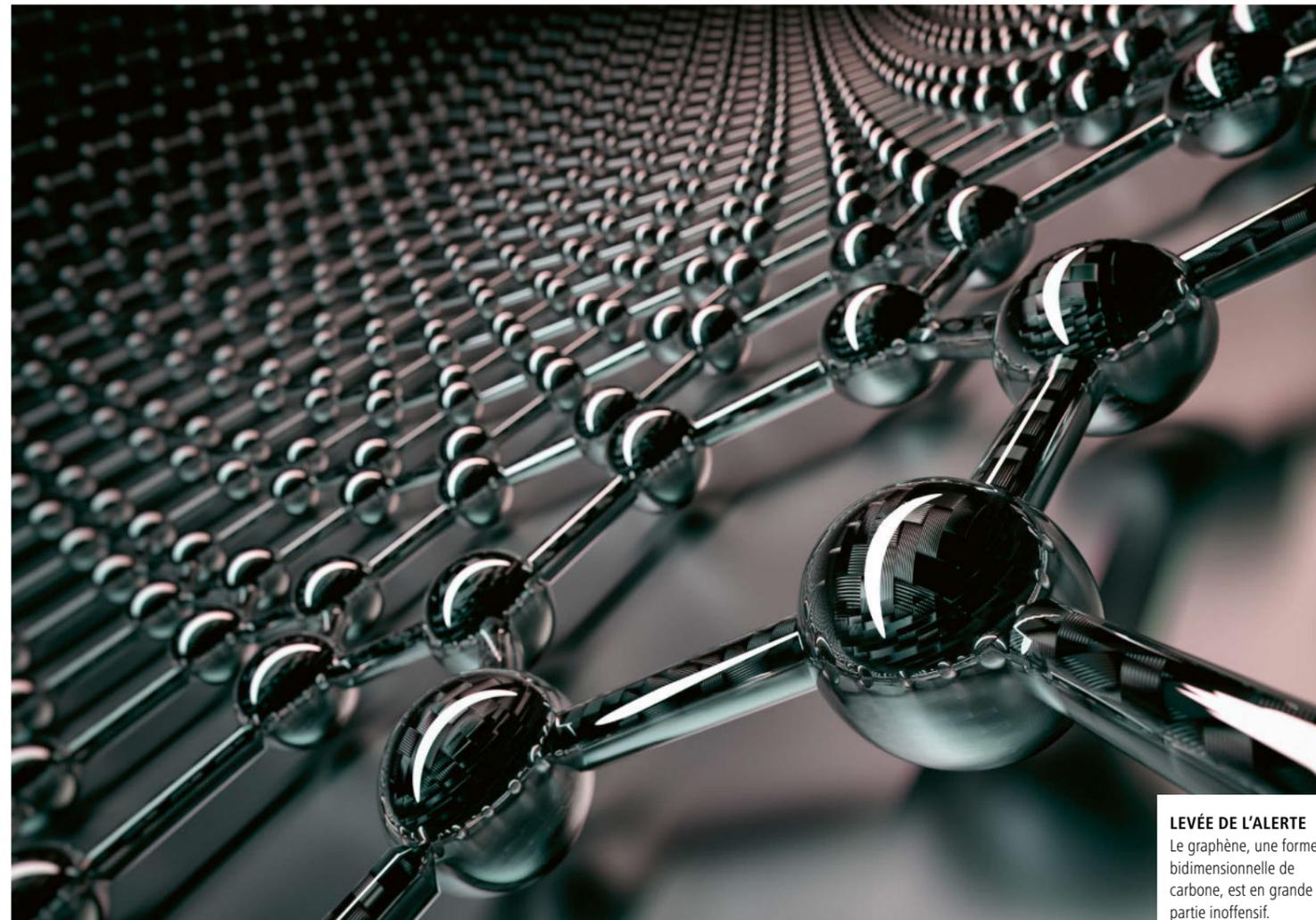
Dans une prochaine étape, les chercheurs veulent doter les sutures chirurgicales de propriétés antimicrobiennes. Le nouveau procédé doit permettre de remplir différents matériaux à noyau liquide de substances médicales actives afin de suturer les tissus lors d'une opération de manière à ce que les germes de la plaie n'aient aucune chance de déclencher une infection. La chercheuse de l'Empa, Edith Perret, est en outre convaincue qu'une future collaboration avec des partenaires cliniques constituera la base d'autres applications cliniques innovantes.



GRAPHÈNE : PAS DE RISQUE ÉLEVÉ

La plus grande initiative de recherche jamais lancée par l'UE s'est achevée avec succès : le « Graphene Flagship » s'est achevé officiellement à la fin de l'année dernière. Des chercheurs de l'Empa y ont participé, comme le biologiste moléculaire Peter Wick qui a participé dès le début au work package « Health and Environment » et qui vient de résumer avec des collègues internationaux les résultats obtenus dans ce domaine dans un article de synthèse publié dans la revue spécialisée ACS Nano.

Texte : Michael Hagmann



LEVÉE DE L'ALERTE
Le graphène, une forme bidimensionnelle de carbone, est en grande partie inoffensif.

Voir grand. En dépit de son thème de recherche, telle pourrait être la devise du Graphene Flagship, lancé en 2013 : Avec un budget global d'un milliard d'euros, il s'agit de la plus grande initiative de recherche européenne à ce jour, à côté du Human Brain Flagship, qui a été lancé au même moment. Il en va de même pour l'article de synthèse sur les effets du graphène et des matériaux apparentés sur la santé et l'environnement que les chercheurs de l'Empa Peter Wick et Tina Bürki viennent de publier avec 30 collègues internationaux dans la revue scientifique ACS Nano ; sur 57 pages, ils résument les découvertes

Graphique : Adobe Stock

sur les risques sanitaires et écologiques des matériaux en graphène, la liste des références comprend près de 500 publications originales.

Une mine de connaissances qui donne le feu vert. « Nous avons étudié les effets aigus potentiels de divers graphènes et matériaux apparentés sur les poumons, le tractus gastro-intestinal et le placenta, et aucun effet grave d'endommagement cellulaire aigu n'a été observé dans aucune des études », déclare Peter Wick pour résumer les résultats. Bien que des réactions de stress puissent certainement se produire dans les cellules pulmonaires, le tissu se rétablit assez rapidement. Cependant, certains

matériaux 2D plus récents, tels que les nitrures de bore, les dichalcogénures de métaux de transition, les phosphènes et les MXènes (p. 4) n'ont pas encore fait l'objet de beaucoup d'études, souligne Peter Wick ; des recherches plus approfondies sont nécessaires dans ce domaine. Dans leurs analyses, Wick et Co. ne se sont pas limités aux matériaux de type graphène nouvellement produits, mais ont également examiné l'ensemble du cycle de vie des diverses applications des matériaux contenant du graphène. En d'autres termes, ils ont étudié des questions telles que : « Que se passe-t-il lorsque ces matériaux sont abrasés ou brûlés ? Des particules de graphène sont-elles libérées et cette fine

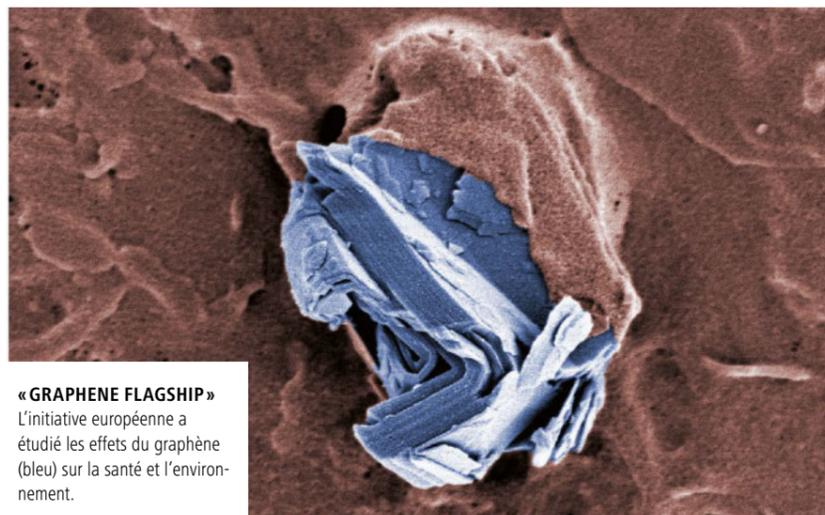
poussière peut-elle nuire aux cellules, aux tissus ou à l'environnement ? »

Un exemple : L'ajout de quelques pour cent de graphène à des polymères, tels que les résines époxy ou les polyamides, améliore considérablement les propriétés des matériaux, telles que la stabilité mécanique ou la conductivité, mais les particules d'abrasion ne provoquent aucun effet nanotoxique spécifique au graphène sur les cellules et les tissus testés. L'équipe de Peter Wick pourra poursuivre ces recherches même après la fin du projet phare, grâce à un financement de l'UE dans le cadre des projets dits « Spearhead », dont Peter Wick est le chef adjoint.

En plus de l'équipe de Peter Wick, les chercheurs de l'Empa dirigés par Bernd Nowack ont utilisé des analyses de flux de matières dans le cadre du Graphene Flagship pour calculer l'impact potentiel futur sur l'environnement des matériaux contenant du graphène et ont modélisé quels écosystèmes sont susceptibles d'être affectés et dans quelle mesure. L'équipe de Roland Hirsch, comme celle de Bernd Nowack au laboratoire Technologie et Société de l'Empa, a utilisé des analyses du cycle de vie pour étudier la durabilité environnementale de différentes méthodes de production et d'exemples d'application pour divers matériaux contenant du graphène. L'équipe de Roman Fasel du laboratoire nanotech@surfaces de l'Empa a quant à elle fait progresser le développement de composants électroniques basés sur d'étroits rubans de graphène.

UN SUCCÈS EUROPÉEN POUR LA RECHERCHE ET L'INNOVATION

Lancé en 2013, le Graphene Flagship représentait une toute nouvelle forme de recherche commune et coordonnée à une échelle sans précédent. L'objectif de ce projet à grande échelle était



« GRAPHENE FLAGSHIP »
L'initiative européenne a étudié les effets du graphène (bleu) sur la santé et l'environnement.

de réunir des chercheurs d'institutions de recherche et de l'industrie pour faire passer les applications pratiques basées sur le graphène du laboratoire au marché dans les dix ans, créant ainsi de la croissance économique, de nouveaux emplois et de nouvelles opportunités pour l'Europe dans des technologies clés. Au cours de ses dix années d'existence, le consortium a rassemblé plus de 150 équipes de recherche universitaires et industrielles dans 23 pays, ainsi que de nombreux membres associés.

En septembre dernier, la période de financement de dix ans s'est achevée par la semaine du graphène à Göteborg, en Suède. Le rapport final démontre de manière impressionnante le succès de cet ambitieux projet à grande échelle : le programme phare a « produit » près de 5 000 publications scientifiques et plus de 80 brevets. Il a créé 17 entreprises dérivées dans le secteur du graphène, qui ont levé un total de plus de 130 millions d'euros en capital-risque. Selon une étude de l'institut allemand de recherche économique WifOR, le programme phare sur le graphène a généré une valeur ajoutée totale d'environ 5,9 milliards d'euros dans les pays participants et créé plus de 80 000 nouveaux emplois en Europe. Cela signifie que l'impact du Graphene

Flagship est plus de dix fois supérieur à celui de projets européens plus courts.

Au cours de ce projet, l'Empa a reçu au total environ 3 millions de francs suisses, ce qui a eu un effet « catalyseur », comme le souligne Peter Wick : « Nous avons triplé cette somme grâce à des projets ultérieurs d'un montant total de 5,5 millions de francs suisses, y compris d'autres projets de l'UE, des projets financés par le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) et des projets de coopération directe avec nos partenaires industriels – et tout cela au cours des cinq dernières années. »

Mais l'avantage de tels projets va bien au-delà du financement généreux, souligne Peter Wick : « Il est vraiment unique d'être impliqué dans un projet d'une telle envergure et dans un réseau aussi large sur une période aussi longue. D'une part, cela a donné lieu à de nombreuses nouvelles collaborations et idées de projets. D'autre part, le fait de travailler avec des partenaires internationaux sur une période aussi longue a une toute autre qualité : nous nous faisons une confiance presque aveugle, et une équipe aussi bien coordonnée est beaucoup plus efficace et produit de meilleurs résultats scientifiques », est convaincu

Peter Wick. Enfin, de nombreuses amitiés personnelles se sont nouées.

UNE NOUVELLE DIMENSION : LE GRAPHÈNE ET D'AUTRES MATÉRIAUX 2D

Le graphène est un matériau extrêmement prometteur. Il se compose d'une seule couche d'atomes de carbone disposés en nid d'abeille et possède des propriétés extraordinaires : résistance mécanique exceptionnelle, flexibilité, transparence et conductivité thermique et électrique hors du commun. Si le matériau déjà bidimensionnel est encore plus restreint dans l'espace, par exemple en un ruban étroit, il est possible de créer des effets quantiques contrôlables. Cela pourrait permettre un large éventail d'applications, de la construction de véhicules à l'informatique quantique, en passant par le stockage de l'énergie. Pendant longtemps, ce « matériau miracle » n'a existé qu'en théorie. Ce n'est qu'en 2004 que les physiciens Konstantin Novoselov et Andre Geim de l'université de Manchester ont pu produire et caractériser spécifiquement le graphène. Pour ce faire, les chercheurs ont enlevé des couches de graphite à l'aide d'un morceau de ruban adhésif jusqu'à obtenir des flocons d'un seul atome d'épaisseur. Ces travaux leur ont valu le prix Nobel de physique en 2010. Depuis, le graphène fait l'objet de recherches intensives. Entre-temps, les chercheurs ont découvert d'autres matériaux 2D, tels que l'acide graphénique dérivé du graphène, l'oxyde de graphène et les cyanographes, qui pourraient avoir des applications en médecine. Les chercheurs souhaitent utiliser des matériaux 2D inorganiques tels que le nitrure de bore ou les MXènes pour construire des batteries plus puissantes, développer des composants électroniques ou améliorer d'autres matériaux.



Photo: Empa

CHALEUR DE L'ORDINATEUR

Ne pas gaspiller la chaleur : c'est l'objectif que se fixent une douzaine d'entreprises et d'instituts de recherche européens, dont l'Empa, dans le cadre du projet européen « HEATWISE ». L'accent est mis sur les bâtiments dotés d'une vaste infrastructure informatique. La chaleur résiduelle de ces systèmes doit être entièrement intégrée dans la technique du bâtiment.

Texte : Stephan Kälin



« ZERO WASTE »
Un nouveau système de « refroidissement liquide sur puce » permet d'optimiser la récupération de chaleur dans les centres de données.

Les hôpitaux, les universités, les bâtiments de recherche et de bureaux ont tous un point commun : ils sont remplis d'appareils informatiques et d'équipements informatiques. Le fonctionnement de ces appareils nécessite de l'énergie – et fournit en même temps de la chaleur résiduelle, qui s'échappe généralement sans être utilisée. Dans le cadre du projet « Horizon Europe » HEATWISE, douze partenaires de recherche et industriels de huit pays se sont réunis pour repenser la gestion de l'énergie dans les bâtiments dotés d'une importante infrastructure informatique. « L'objectif est un principe « zéro déchet », explique Binod Koira-

la du « Urban Energy Systems Lab » de l'Empa. « Cela signifie que nous voulons si possible récupérer toute la chaleur perdue et l'intégrer au système de chauffage des bâtiments. » La première tâche de Binod Koirala et de son équipe sera donc d'identifier le potentiel de gains de chaleur à l'aide de données réelles provenant du bâtiment de recherche de l'Empa « NEST ». Ils ne se concentrent pas seulement sur l'infrastructure informatique – des serveurs au sous-sol aux ordinateurs dans les bureaux – mais aussi sur l'influence de la présence de personnes sur la température ambiante et sur le gain de chaleur possible à partir de celle-ci.

Il doit en résulter des algorithmes de régulation prédictifs qui couplent la gestion énergétique de l'infrastructure informatique avec la technique du bâtiment et qui peuvent en même temps prendre en compte d'autres points de vue. « Il s'agit par exemple d'un fonctionnement aussi pauvre en CO₂ que possible ou aussi économique que possible », explique Binod Koirala. Ces algorithmes de régulation à plusieurs niveaux seront ensuite implémentés dans quatre installations pilotes dans le cadre de « HEATWISE » : dans un centre de recherche et de développement informatique en Pologne, dans des bâtiments de l'université

d'Aalborg au Danemark, dans une usine automobile en Turquie et dans le « NEST » sur le campus de l'Empa à Dübendorf.

En plus de l'optimisation de la gestion de l'énergie, le projet étudie également l'application de solutions de refroidissement inédites pour les systèmes informatiques à haute performance. Depuis environ deux ans, un centre de micro-calcul est en service au sous-sol de « NEST », dont la chaleur résiduelle est déjà injectée dans le réseau à moyenne et basse température et utilisée pour le chauffage. Le centre de calcul, aujourd'hui refroidi à l'air, est désormais complété par un système de refroidissement dit « liquide sur puce » nouvellement développé par le partenaire de projet israélien « ZutaCore ». « Ce système de refroidissement est conçu pour une récupération optimale de la chaleur », explique Binod Koirala. La chaleur récupérée atteint des températures allant jusqu'à 70°C. « Nous pouvons injecter cette chaleur directement dans le réseau haute température de « NEST » et l'utiliser par exemple pour faire fonctionner les douches des résidents. » Le projet « HEATWISE » a été officiellement lancé début 2024 et durera trois ans. Il est soutenu par l'UE dans le cadre d'« Horizon Europe » et par le Secrétariat d'État suisse à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI).



Photo: ZutaCore

L'EMPA AU WEF



LE CO₂ COMME MATIÈRE PREMIÈRE

Mateusz Wyrzykowski présente la nouvelle initiative de recherche « Mining the Atmosphere ».

A l'occasion du « World Economic Forum » (WEF), les six institutions du Domaine des EPF ont présenté des points forts de leurs recherches actuelles au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF) à Davos, devant une cinquantaine d'invités de haut rang issus du monde politique, de la recherche et de l'économie. Parmi les représentants de l'Empa figuraient Mateusz Wyrzykowski, codirecteur du pôle de recherche « Built Environment », et Nathalie Casas, directrice du département « Energy, Mobility and Environment ». Parmi les invités figuraient notamment le conseiller fédéral Guy Parmelin, le président du Conseil national Eric Nussbaumer, la secrétaire d'Etat Martina Hirayama et la présidente du « European Research Council » (ERC), Maria Leptin, ainsi que de nombreux recteurs d'universités suisses.



UN TOAST À LA SCIENCE



SCIENCE POUR TOUS

Des chercheurs de l'Empa organisent l'édition saint-galloise de la « Pint of Science ».

Le festival scientifique mondial « Pint of Science » aura lieu du 13 au 15 mai. A cette occasion, des chercheurs se rendent dans des bars et des cafés pour parler de leurs recherches à un large public. Ce qui a commencé en 2013 dans trois villes de Grande-Bretagne regroupe aujourd'hui plus de 400 villes dans 25 pays – dont la Suisse. L'édition saint-galloise de « Pint of Science » est organisée cette année pour la deuxième fois par des chercheurs de l'Empa et de l'Hôpital cantonal de Saint-Gall. Des orateurs de l'Empa, mais aussi de l'industrie, des hautes écoles spécialisées et des universités des environs de Saint-Gall prendront la parole. Les thèmes et les lieux des manifestations sont disponibles sur le site web du festival.



Photos: Empa

Graphique et photo: Empa

RÉCUPÉRER LE CO₂

Technology Briefing

« Mining the Atmosphere » –
Le CO₂ de l'atmosphère
comme matière première pour
de nouveaux matériaux

26 juin 2024, 14:00



Si nous voulons atteindre nos objectifs climatiques ambitieux, nous ne devons pas seulement limiter les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi « récupérer » le CO₂ déjà émis dans l'atmosphère. Lors du « Technology Briefing » de cette année sur le thème « Mining the Atmosphere », des chercheurs de l'Empa montreront, à l'aide des derniers résultats de la recherche et de différents exemples pratiques, comment il est possible d'extraire le CO₂ atmosphérique en tant que matière première et de l'utiliser dans des cycles – tout en créant un nouveau système économique – avant que le gaz climatique lié ne soit finalement déposé dans des puits de carbone finaux. Le développement nécessaire de matériaux et de processus créateurs de valeur favorise le passage d'une société émettrice de CO₂ à une société fixatrice de CO₂. L'événement se déroulera en allemand.



L'EMPA À LA SWISSBAU



« MINING THE ATMOSPHERE »

Le directeur adjoint de l'Empa, Peter Richner, a parlé des matériaux de construction neutres en CO₂.

L'Empa était présent à la Swissbau avec le bâtiment de recherche et d'innovation NEST. Le plus grand salon professionnel de Suisse pour la construction et l'immobilier s'est tenu du 16 au 19 janvier à Bâle. Des expertes et experts de l'Empa et de ses partenaires ont tenu des keynotes et des talks pratiques sur le thème de la construction durable et de l'innovation dans la construction et ont accueilli les visiteuses et visiteurs sur leur stand. Les exposés sont disponibles en ligne.



SÉMINAIRES DE L'ACADÉMIE DE L'EMPA

(en allemand et en anglais)

14. MAI 2024

Kurs: Klebtechnik für Praktiker
Zielpublikum: Industrie und Interessierte an industrieller Klebtechnik
www.empa-akademie.ch/klebtechnik
Empa, Dübendorf

15. MAI 2024

wissen2go: Antibiotic Resistance
Zielpublikum: Öffentlichkeit
www.empa.ch/web/w2go/antibiotic-resistance
Empa, Dübendorf und online via Zoom

16. MAI 2024

Topical Day: Imaging and Image Analysis
Zielpublikum: Wissenschaft
www.empa-akademie.ch/imaging
Empa, Dübendorf

26. JUNI 2024

Technology Briefing: « Mining the Atmosphere » – CO₂ aus der Atmosphäre als Rohstoff für neue Materialien
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/technobriefing
Empa, Dübendorf

25. – 26. SEPTEMBER 2024

Konferenz: Swiss ePrint 2024
Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
swisseprint.ch
Empa, Dübendorf



THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Materials Science and Technology