

Rapport annuel 2019



Empa

Materials Science and Technology

Notre mission.

**Matériaux et technologies pour
un développement durable.**

4

Préface

6

L'année en rétrospective

10

Projets en mire

32

Axes de recherche

44

De la recherche à l'innovation

60

Faits et chiffres

Photo page de titre: Délignifié, déformé, compacté et rendu hydrophobe: le matériau bois développé par l'Empa et l'EPF de Zurich a le potentiel pour devenir un matériau de haute technologie, car il peut être façonné à volonté et est trois fois plus résistant que le bois naturel. Pour y parvenir, les chercheurs retirent précisément la partie du bois qui lui confère sa stabilité dans la nature, la lignine. Image: ETH/Empa

Editeur: Empa; **Conception/Maquette/Graphique:** Empa; **Impression:** Neidhart + Schön Print AG, Zurich.

© Empa 2020 – ISSN 1660-2285 Rapport annuel Empa



Imprimé sur du papier recyclé à 100%



Image: Nicolas Zonvi

Le rôle de l'Empa dans la chaîne de l'innovation

En avril 2019, une commission internationale d'experts a évalué les six institutions du Domaine des EPF. Pour nous, à l'Empa, ce fut une excellente occasion de questionner et préciser notre rôle dans l'innovation, ainsi que notre spécificité dans le paysage suisse de la recherche. Précisons-le d'emblée: la commission d'experts a souligné l'extraordinaire qualité du Domaine des EPF dans son ensemble et salué ses prestations; mais elle a également formulé quelques recommandations pour l'avenir.

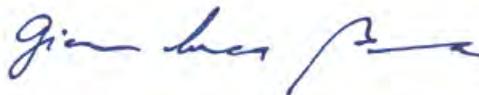
En tant que catalyseur de l'innovation, l'Empa occupe une position singulière au sein du Domaine des EPF, comme le signale la formule accompagnant son logo: science des matériaux et technologie. Les véritables innovations se fondent d'une part sur l'excellence scientifique, et d'autre part sur l'attention portée à bien rapprocher et raccorder la recherche fondamentale et les applications pratiques. Nos équipes de choc constituées de scientifiques et d'ingénieurs de haut-vol formés aux disciplines les plus variées l'illustrent quotidiennement.

Nos nombreux projets de recherche et d'applications novatrices entretiennent et enrichissent sans cesse notre savoir-faire. Après toutes ces années de coopération avec des partenaires industriels, nous disposons d'une «mémoire institutionnelle» qui s'avère un véritable trésor aux ressources souvent décisives. Il faut bien comprendre que l'application pratique d'innovations technologiques peut nécessiter de dix à vingt années de travail, et que dans de tels cas, la continuité scientifique est un facteur déterminant.

Les scientifiques de l'Empa assurent la jonction entre l'industrie et la recherche, ce qui leur confère un rôle clé dans la vaste mécanique de l'innovation en Suisse. Ce rôle nous assure une position éminente dans la recherche appliquée et le transfert des technologies, et cela distingue clairement l'Empa des universités et hautes-écoles qui, elles, placent l'accent sur la recherche et l'enseignement.

A cet égard, nos plateformes de transfert du savoir et des technologies du type NEST et move sont de remarquables instruments, tout comme notre «Coating Competence Center» et l'initiative sur les nouvelles techniques de fabrication (voir en page 22), le tout bien en phase avec nos cinq grands domaines de recherche (voir en page 32). Il s'agit là de projets phares pour l'Empa, réunissant nos chercheurs et leurs partenaires industriels et publics. En résulte un réseau de plus de 1100 institutions partenaires qui, de concert, entretiennent et accélèrent l'innovation dans nombre de secteurs primordiaux pour notre pays. L'Empa y voit la meilleure manière de contribuer à la prospérité de notre société et de notre économie foisonnante en PME.

Taillée aux mesures de l'écosystème économique national, cette approche s'applique avec bonheur à de nombreux secteurs d'activité, de l'environnement bâti à l'énergie, en passant par la mobilité et les technologies médicales. Postés à l'interface science/économie, nous sommes à l'affût des occasions à saisir et des projets à développer. On sait que les interfaces entre disciplines sont régulièrement le lieu d'où surgit l'étincelle, où bourgeonne la nouveauté.



Prof. Dr. Gian-Luca Bona, Directeur général

L'année en rétrospective

Nos apprentis se distinguent

La recherche de pointe poursuivie par l'Empa dans le domaine de la science des matériaux et des technologies repose entièrement sur l'expertise de ses collaborateurs. On compte parmi eux 40 apprentis et apprentis suivant dix filières professionnelles différentes. Beaucoup d'entre eux se sont distingués en obtenant les meilleures notes lors de leurs examens finaux. L'Empa a donc été reconnue comme excellente entreprise formatrice par le bureau «Great Place to Work» qui lui a attribué le sceau «Meilleure entreprise formatrice de Suisse – recommandée par les apprentis».



Métaux rares dans les déchets électroniques

Les déchets électroniques contiennent plus de métaux rares que n'importe quelle mine. Mais qu'advient-il de ces précieuses matières premières? Et combien de métaux rares trouve-t-on dans les téléphones portables, les ordinateurs et les écrans actuellement en fonction? Des chercheurs de l'Empa se sont penchés sur la question. Aujourd'hui, l'or est très bien récupéré mais d'autres métaux tels que l'indium et le néodyme ne le sont pas. Une légère hausse de la taxe de recyclage suffirait à rendre leur récupération rentable. D'ici là, il serait raisonnable de stocker les composants de haute teneur en indium et néodyme afin de ne pas laisser ces métaux se perdre définitivement. Image: iStockphoto



Un pionnier des PRFC à l'honneur

Urs Meier travaille à l'Empa depuis 1969. Il y a entre autres été directeur du site de Dübendorf. En 1980, Meier lançait l'idée d'employer des polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC) pour les câbles des grands ponts. A l'époque, l'idée d'utiliser dans la construction un «supermatériau» aussi coûteux sembla si folle que les premiers essais furent conduits en secret. En 1982, lui vint également l'idée de renforcer les ouvrages de béton en leur collant de très fines lamelles de PRFC. En septembre 2019, Urs Meier s'est vu décerner la prestigieuse SAMPE Fellow Award en reconnaissance de ses remarquables contributions au domaine des matériaux et procédés.





Des répliques romantiques

Jouer une œuvre musicale de manière qu'elle sonne comme son compositeur l'imaginait, c'est le rêve de bien des musiciens. Mais comment réunir les rares instruments d'époque? Autre solution: en fabriquer d'exactes répliques. Des chercheurs de l'Empa analysent les matériaux nécessaires et le timbre recherché. Objectif: fabriquer des trombones à la manière des artisans de l'époque romantique, avec les mêmes matériaux, et produisant le timbre typique des originaux.

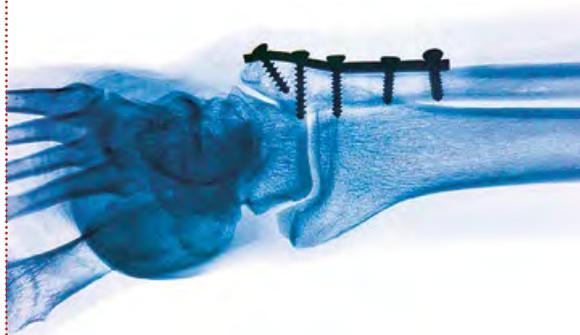


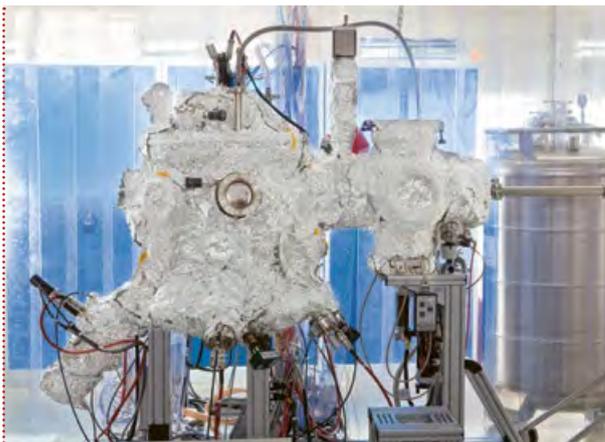
Batteries: un chercheur de l'Empa à l'honneur

Léo Duchêne a reçu en octobre dernier à Atlanta la renommée Battery Division Student Research Award de l'Electrochemical Society. Ce prix est décerné à de jeunes scientifiques prometteurs travaillant au stockage électrochimique de l'énergie. Les résultats qui lui valent cette distinction portent sur les batteries à électrolyte solide, sujet de la thèse à laquelle il a consacré ces quatre dernières années à l'Empa. Ce type de batterie doit permettre de stocker près du double d'énergie que les batteries actuelles, tout en étant plus sûres et plus fiables. Image: iStockphoto

Des vis orthopédiques en magnésium

Lorsqu'un os éclate, les chirurgiens se servent d'implants pour en solidariser les fragments. Les implants métalliques habituels en titane ou en acier assurent cette tâche, mais leur retrait nécessite une nouvelle opération. Les vis orthopédiques en magnésium, elles, se dissolvent progressivement dans le corps, épargnant aux patients cette intervention supplémentaire après leur guérison et prévenant aussi un risque d'infection. Mais on ignore largement ce qu'il advient de ces implants dans le corps. Des chercheurs de l'Empa se penchent donc sur le processus de corrosion du magnésium afin de trouver les meilleurs alliages et vis orthopédiques aux surfaces fonctionnalisées. Image: iStockphoto





Nouveau record pour les cellules solaires en couches minces

On n'avait jamais fabriqué de cellules solaires CIGS souples aussi efficaces. Les chercheurs de l'Empa ont battu de 0,4% leur propre record de conversion solaire-électrique par cellules CIGS sur substrat polymérique flexible, le portant à 20,8%. La technologie choisie, dite au diséléniure de cuivre indium gallium (CIGS), permet de réaliser des cellules photovoltaïques légères et souples sur films polymériques.

Des centrales solaires flottantes

D'énormes îles solaires en pleine mer produisant suffisamment d'énergie pour approvisionner les transports globaux de marchandises... De la science-fiction? C'est pourtant ce qu'ont envisagé des chercheurs de l'Empa, de l'EPFZ, de l'Institut Paul Scherrer (PSI), des universités de Zurich et de Berne ainsi que de l'Université nationale des sciences et technologies de Trondheim. Leurs calculs ont été publiés par la revue professionnelle «Proceedings of the National Academy of Sciences» (PNAS). L'idée: des plateformes flottantes couvertes de panneaux photovoltaïques. Mais où en est l'intérêt, le courant électrique produit ne pouvant être ni stocké sur place, ni aisément transporté sur le continent? Il s'agit en fait de produire du méthanol liquide (CH_3OH) et du méthane gazeux (CH_4) à partir du dioxyde de carbone et d'hydrogène. Ces deux ingrédients peuvent être tirés directement de l'océan ou produits sur place. Image: Novaton

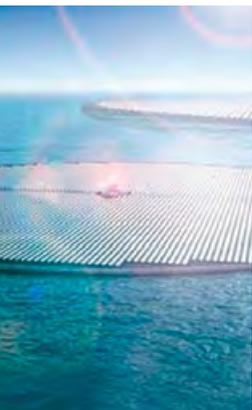


Atterrir moins bruyamment

Décoller et atterrir sont deux phases parmi les plus complexes d'un vol d'avion. Pour permettre aux pilotes de décoller moins bruyamment, le Centre allemand d'aéronautique et d'astronautique (DLR) a développé un nouvel assistant de bord (LNAS) qui, par affichage dans le cockpit, indique au pilote quelles commandes exécuter, et à quel moment, pour réduire au mieux le bruit du décollage. Des chercheurs en acoustique de l'Empa ont testé le nouveau système à l'aéroport de Zurich. Les premiers résultats sont attendus au printemps 2020. Le LNAS devrait à moyen terme être intégré au système de gestion de vol des avions de ligne. Tout indique que cette innovation connaîtra un bel envol international. Image: iStockphoto

Collaboration avec Lexus

Les voitures autonomes doivent nous permettre de rouler de manière plus sûre, efficace et confortable. Lexus et l'Empa ont conclu un accord de collaboration sur l'amélioration de leurs systèmes de capteurs. Ces derniers jouent un rôle primordial dans le pilotage des véhicules automatique. Ils saisissent la situation dans laquelle le véhicule évolue et lui transmettent les informations nécessaires à la conduite. Sur le terrain, les capteurs sont soumis aux intempéries et à bien d'autres facteurs environnementaux ainsi qu'à de fortes contraintes mécaniques. Lexus a mis à disposition de l'Empa un véhicule d'essai qu'il s'agit maintenant d'équiper de différents capteurs et d'un système de saisie des données afin d'en étudier le fonctionnement en conduite réelle.



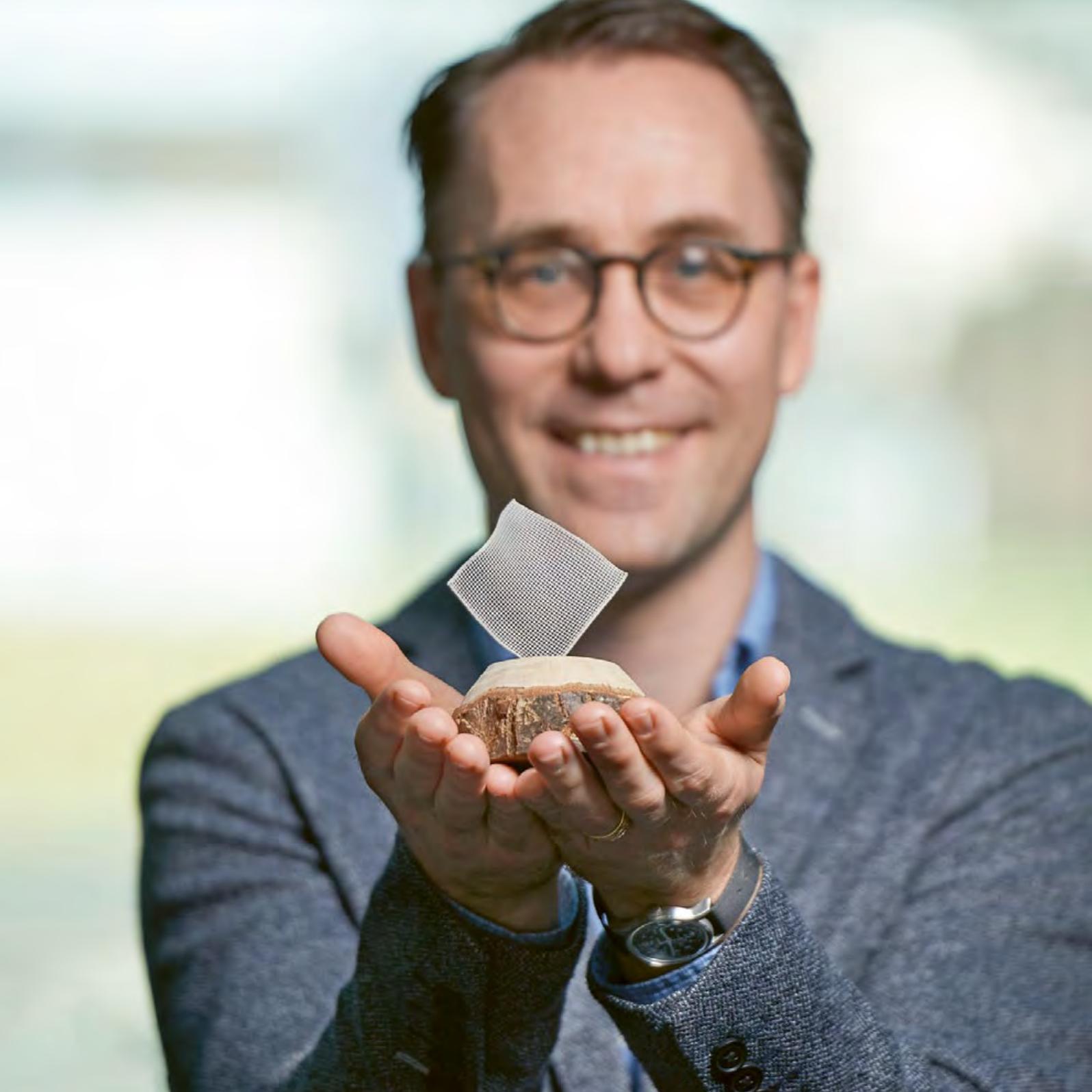
Sur Mars, en tout confort

«Serenity», tel est le nom évocateur du nouveau prototype de scaphandre actuellement développé par le Forum autrichien de l'aéronautique, avec la participation de l'Empa. Il doit être testé en 2020 dans le désert israélien du Néguev, lors d'une simulation internationale de mission sur Mars. Les deux partenaires ont signé un accord de coopération resserrant leur collaboration dans le développement du prototype. L'accent est mis sur le confort et de la régulation thermique de Serenity qui utilise pour cela le modèle de corps humain développé par l'Empa. Image: ÖWF

Le côté esthétique de la recherche

La beauté des résultats scientifiques n'est souvent percevable que par les spécialistes. Cependant, pour l'exposition art et science «ArtSci 2019» de l'EPF de Zurich, les chercheurs ont rendu la magie des sciences naturelles visible et palpable. Des chercheurs de l'Empa ont présenté trois œuvres d'art, en soulignant que les échanges entre bonne recherche et créativité artistique sont mutuellement profitables. «Frozen clouds», l'une des trois œuvres, montre un bio-aérogel coloré. Ce solide est si léger et difficilement saisissable qu'on peut le voir comme un nuage congelé.





Projets en mire

Développer de nouveaux matériaux et faire progresser les nouvelles technologies, donner des impulsions pour un développement durable de notre société; créer les bases scientifiques nécessaires aux décisions politiques et sociétales – ce sont là les objectifs centraux que l’Empa poursuit par la recherche et le développement, à travers des coopérations et des partenariats, par des services, des expertises et des conseils. Les «instantanés» ci-après de ses laboratoires donnent un aperçu de la variété des activités de recherche de l’Empa.

Produire du photovoltaïque plus rapidement et à meilleur compte

Dr. Frank Nüesch, frank.nueesch@empa.ch

Dr. Jakob Heier, jakob.heier@empa.ch

Anand Verma, anand.verma@empa.ch

La perovskite. On attend de ce semi-conducteur qu'il ramène le coût de production des cellules photovoltaïques au-dessous de celui du silicium. L'Empa développe actuellement de nouveaux procédés de fabrication permettant de produire des cellules à perovskite non seulement à meilleur compte, mais aussi plus rapidement et à échelle industrielle. Le laboratoire a collaboré pour cela avec la société vaudoise Solaronix SA, dans le cadre du projet «UPero» soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Ils ont produit ensemble en laboratoire une cellule à perovskite fonctionnelle de 10 × 10 cm par un procédé très efficace.

Enduction à filière remplace la sérigraphie

La fabrication de ces cellules à perovskite d'un nouveau type recourt à un procédé de recouvrement par buse à fente. Le matériau est finement déposé sur une couche de verre puis structuré par gravure laser. Ce procédé permet non seulement de poser les couches plus rapidement, mais aussi d'en régler l'épaisseur individuelle avec plus de souplesse. L'enduction à filière doit permettre de recouvrir de manière relativement simple et rapide des substrats de verre longues de plusieurs mètres. La rapidité est l'un des éléments

cruciaux de l'industrialisation de la production des cellules à perovskite.

La fabrication nécessite la pose de cinq couches de matériaux différents, dont de l'oxyde de titane, de l'oxyde de zirconium et du graphite. Dans le procédé habituel par sérigraphie, chaque couche doit être séchée et frittée (compactée) séparément, ce qui est glouton en temps et énergie. Le nouveau procédé permet de déposer les couches immédiatement les unes après les autres et de les fritter ensemble. La touche finale consiste en l'ajout de l'absorbant perovskite par impression à jet d'encre – «l'infiltration» – au Coating Competence Center de l'Empa. La perovskite n'est ainsi plus déposée en couche solide sur son substrat mais s'infiltré dans toutes les couches poreuses de la cellule, jusqu'à sa base.

Une coopération réussie

L'équipe de l'Empa a développé ce nouveau procédé en étroite collaboration avec des experts de l'entreprise Solaronix, producteur des «encres» – c'est-à-dire des conducteurs, semi-conducteurs et isolants nanométriques – utilisés dans l'impression des différentes couches ultraminces des cellules solaires. Pour les chercheurs de l'Empa, la difficulté était de préparer les encres de manière qu'elles se prêtent

au procédé d'enduction à filière. Ils y sont récemment parvenus.

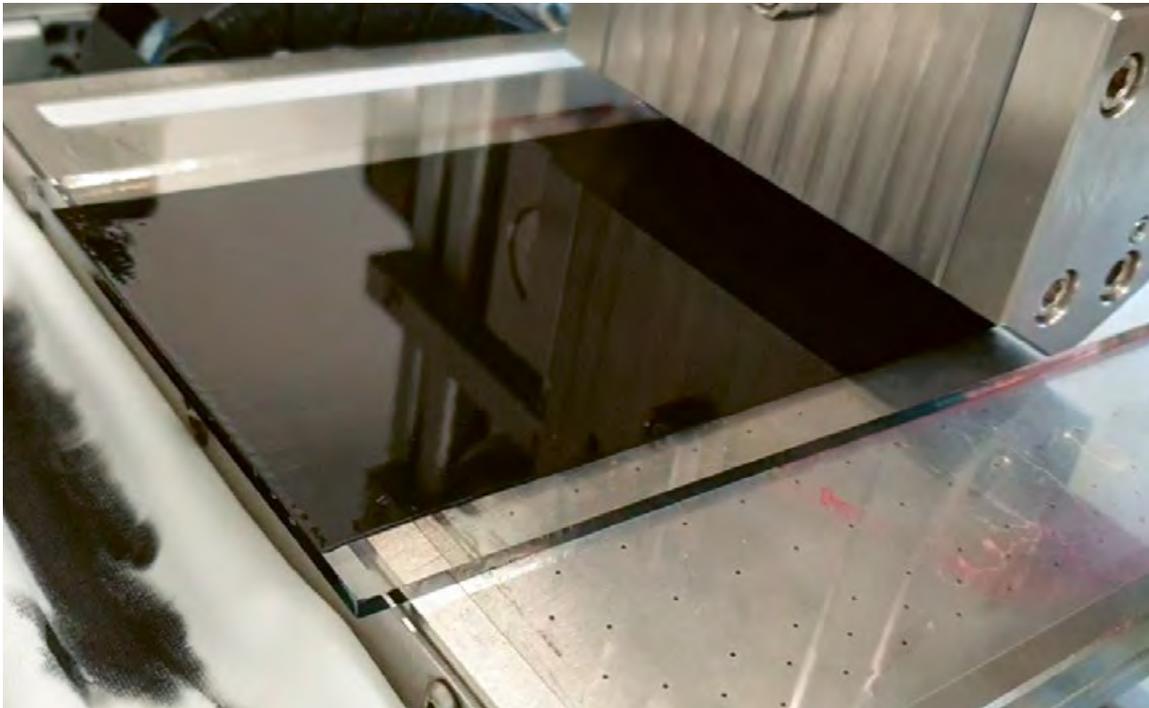
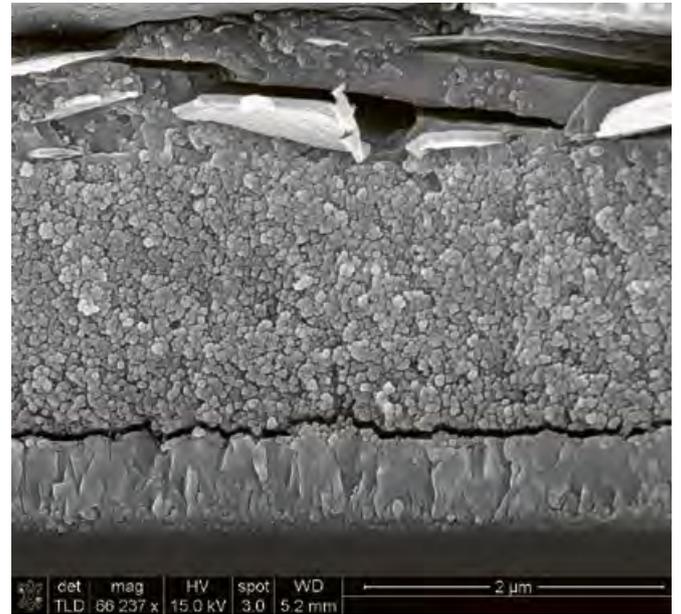
Autre avantage du nouveau procédé de production des cellules: leur durée de vie est supérieure à celle des précédentes cellules à perovskite. A la fin de 2020, un panneau de ces nouvelles cellules sera installé sur le toit du NEST, le bâtiment démonstrateur du campus de Dübendorf de l'Empa. Il devra y faire ses preuves dans des conditions réelles d'utilisation. //

1

Les différentes couches d'une cellule solaire à perovskite vues au microscope électronique à balayage. Après leur dépôt, ces couches ultraminces et poreuses sont saturées de perovskite par injection.

2

Une buse à fente recouvre un substrat de verre de carbone. Le dépôt des cinq couches de matériaux différents s'enchaîne rapidement et le tout est séché en bloc, alors que la technique habituelle par sérigraphie nécessitait une pause d'au moins une heure entre deux couches.



2

Choisir la bonne intervention

Dr. Ameet Aiyangar, ameet.aiyangar@empa.ch

Les hernies discales sont douloureuses et constituent la principale cause d'opérations sur la colonne vertébrale. Lorsque le traitement médicamenteux ne permet pas au problème de se résoudre, deux interventions sont envisageables. La première est de retirer le disque intervertébral par voie chirurgicale, la seconde de stabiliser les vertèbres concernées. Cette stabilisation, très invasive, n'est pas sans risque. Il se peut que le problème ne soit que déplacé, par le fait que les vertèbres voisines, plus fortement sollicitées, cèdent à leur tour. Pour choisir le type d'intervention, les médecins comparent généralement deux radiographies prises l'une en position debout, l'autre en position inclinée vers l'avant. Lorsque les vertèbres en cause se sont beaucoup déplacées, voire ont pivoté l'une par rapport à l'autre, on choisit de les solidariser. Quand ce n'est pas le cas, une décompression par retrait du disque intervertébral peut suffire.

Des études ont cependant montré que, bien souvent, ces deux images ne suffisaient pas. En effet, un tiers des patients ayant subi une intervention de routine doivent à nouveau être opérés. Inversément, il y a lieu de penser qu'une partie des patients dont on a solidarisé

deux vertèbres n'auraient pas vraiment eu besoin d'une telle intervention. Le problème est que les images ne montrent que la position initiale et finale des vertèbres, et non pas le déroulement du mouvement.

La dynamique du mouvement est déterminante

Des chercheurs du laboratoire «Mechanical Systems Engineering» de l'Empa et du Département des interventions orthopédiques de l'Université de Pittsburgh ont montré que, en cours de mouvement, les vertèbres ne se déplaçaient pas linéairement. En outre, la manière dont elles se meuvent varie beaucoup d'un patient à l'autre. Pour étudier la question, les chercheurs ont effectué des radiographies dynamiques continues de différents patients qui penchaient lentement le haut du corps en avant. Ces prises de vue ont permis de calculer le mouvement effectif de leurs vertèbres.

On s'attendrait à ce que la rotation et le déplacement des vertèbres s'effectue de concert et dans la même proportion. Toutefois, chez une partie des patients, l'instabilité des vertèbres en cours de mouvement a dépassé jusqu'à onze fois ce que la comparaison de l'image finale avec l'image initiale donnait à penser.

Une technologie pas encore adaptée à la clinique

Ces observations montrent la nécessité d'une appréciation dynamique de la situation dans le choix de l'intervention. Cependant, les appareils disposant de la technologie nécessaire à l'imagerie dynamique – dite «Dynamic Stereo X-Ray» (DSX) – ne sont disponibles qu'en peu d'endroits dans le monde, et les calculs nécessaires pour reconstituer les mouvements sont extrêmement complexes. Pour le moment, la technologie en est au stade de la recherche. En attendant sa généralisation en clinique, il serait judicieux de ne pas se contenter des deux radiographies en position initiale et finale, mais d'en prendre plusieurs à différents moments du mouvement et de les comparer. //



Lors d'hernies discales, on a généralement le choix entre deux types d'interventions. Laquelle choisir? Image: iStockphoto

Une mousse contre la formation de cicatrices

Les plaies qui peinent à se refermer et les vilaines cicatrices peuvent limiter la mobilité et compromettre la santé des gens. Bien que des millions de personnes soient concernées par ce problème, le processus de guérison des plaies n'est pas encore compris dans toute sa complexité et reste donc difficile à accompagner. Le projet «Scaravoid», soutenu par la Fondation Gebert Rüf, doit permettre de mieux comprendre et de faciliter l'ensemble de ce processus. Des chercheurs de l'Empa ont réalisé dans ce cadre une mousse polymérique qui optimise l'autoguérison des plaies.

Architecture poreuse

La «mousse miraculeuse» se compose d'une structure polymérique déjà agréée pour les applications médicales. Le biopolymère est d'abord monté en mousse par du dioxyde de carbone supercritique dans un réacteur à haute pression; la taille des pores peut y être finement ajustée par réglage de la température et de la pression. La mousse agit dès son application sur la lésion: sa structure poreuse favorise la colonisation par des nouvelles cellules. Etant biodégradable, elle permet aux cellules de progressivement se lier en un nouveau tissu fonctionnel.

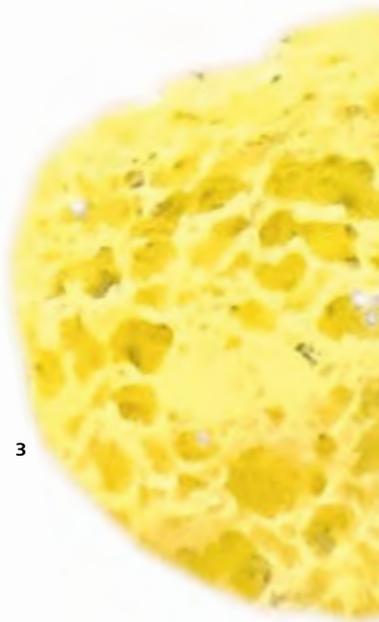
De la curcumine pour réguler les fonctions cellulaires

Pour éviter les cicatrices exubérantes, la mousse polymérique est enrichie d'une substance bioactive inhibant la formation de cicatrice. Il s'agit d'un produit naturel mieux connu dans nos cuisines que dans nos hôpitaux: la curcumine. Cette poudre, tirée des racines de curcuma – parfois nommées «gingembre jaune» – sert de colorant alimentaire sous la désignation E100 et contribue à l'arôme du curry. Sur le plan pharmacologique, la curcumine présente des vertus anti-inflammatoires intéressantes. Les chercheurs de l'Empa en ont saupoudré des cultures de cellules et observé que la production de certains biomarqueurs typiques des cicatrices s'en trouvait nettement réduite.

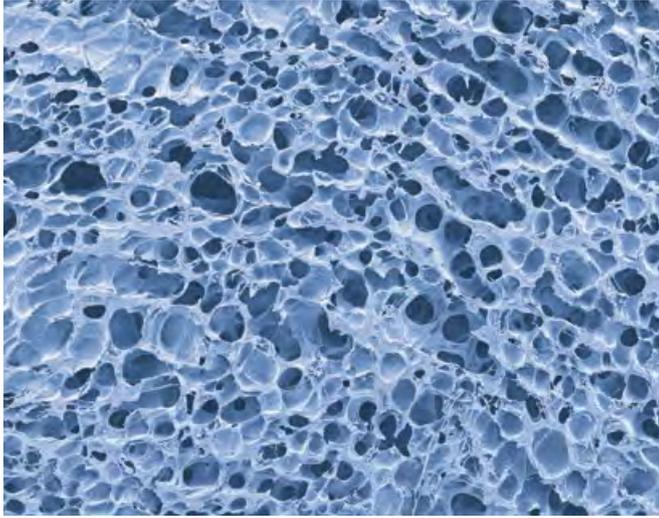
La curcumine est liée à la mousse qui la libère progressivement, régulant ainsi le comportement et la fonction des cellules qui y ont migré, ce qui conforte l'équilibre naturel nécessaire à la guérison de la plaie. Les essais actuellement poursuivis en laboratoire avec de petits échantillons de mousse vont bientôt être élargis à des essais cliniques avec des membranes de plus grande taille. Elles seront d'une aide précieuse en particulier

Dr. Markus Rottmar, markus.rottmar@empa.ch

lors de lésions importantes consécutives par exemple à un accident ou à de graves brûlures. //



3

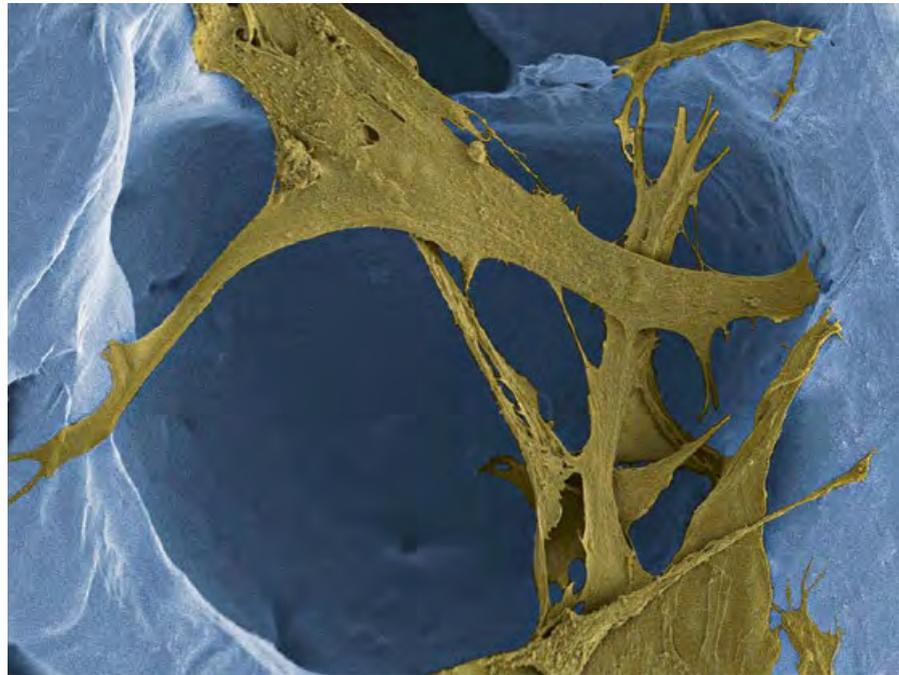


1

1
Le «Scaravoid» est un biopolymère monté en mousse par du dioxyde de carbone supercritique. (Cliché MEB, couleur artificielle, $\times 30$)

2
Par sa structure, la mousse polymérique permet à ces cellules de type fibroblaste (brunâtres) de se fixer pour développer de nouveaux tissus dermiques. (Cliché MEB, couleur artificielle, $\times 1200$)

3
La mousse polymérique peut être insérée dans la plaie cutanée dont elle favorise le processus naturel de guérison. Elle est enrichie de curcumine qui régule les fonctions cellulaires.



2

Une nouvelle commande de soupapes réduit la consommation

Dr. Patrik Soltic, patrik.soltic@empa.ch

La commande de soupapes est «l'organe respiratoire» des moteurs à combustion dont elle assure l'alimentation en air frais et l'évacuation des gaz d'échappement. C'est «l'échange de gaz». La quasi-totalité des moteurs sont équipés pour cela d'arbres à cames à entraînement mécanique, souvent complétés de mécanismes auxiliaires compliqués qui permettent de modifier le mouvement de base des soupapes, au prix toutefois de frottements supplémentaires. La marge d'action de ce type de commande est cependant restreinte.

Une équipe de l'Empa a mis au point avec des partenaires extérieurs une commande de soupapes électro-hydraulique beaucoup plus souple que les actuels produits de série. Les soupapes sont actionnées hydrauliquement et commandées électriquement au moyen de bobines magnétiques individuelles. Dès qu'un courant de commande y circule, la bobine ouvre une vanne hydraulique spécialement conçue, permettant au fluide hydraulique de lever en quelques millisecondes la soupape d'échange de gaz au niveau voulu. Lorsque le courant est coupé, la soupape se referme sous l'action de son ressort de rappel, restituant au système hydraulique la majeure partie de l'éner-

gie déployée à l'ouverture. Ce système «FlexWork» permet de réduire sensiblement la consommation de carburant sur une plage de régimes bien supérieure aux systèmes à arbre à cames à étrangleur. En régime de faible charge, typique des voitures personnelles, l'économie est d'environ 20%.

Aisément adaptable aux carburants renouvelables

Le temps d'ouverture et de fermeture ainsi que la levée des soupapes peuvent être réglés individuellement sur chaque cylindre et pour chaque cycle opératoire. Cela permet d'aisément adapter les moteurs aux nouveaux carburants renouvelables: les carburants contenant de l'oxygène, comme par exemple le méthanol ou l'éthanol, permettent de laisser plus de gaz résiduel dans les cylindres. Le gaz naturel, le biogaz et le gaz de synthèse issus de l'énergie éolienne et solaire ont des propriétés antidétonantes accrues auxquelles la nouvelle commande peut réagir doucement.

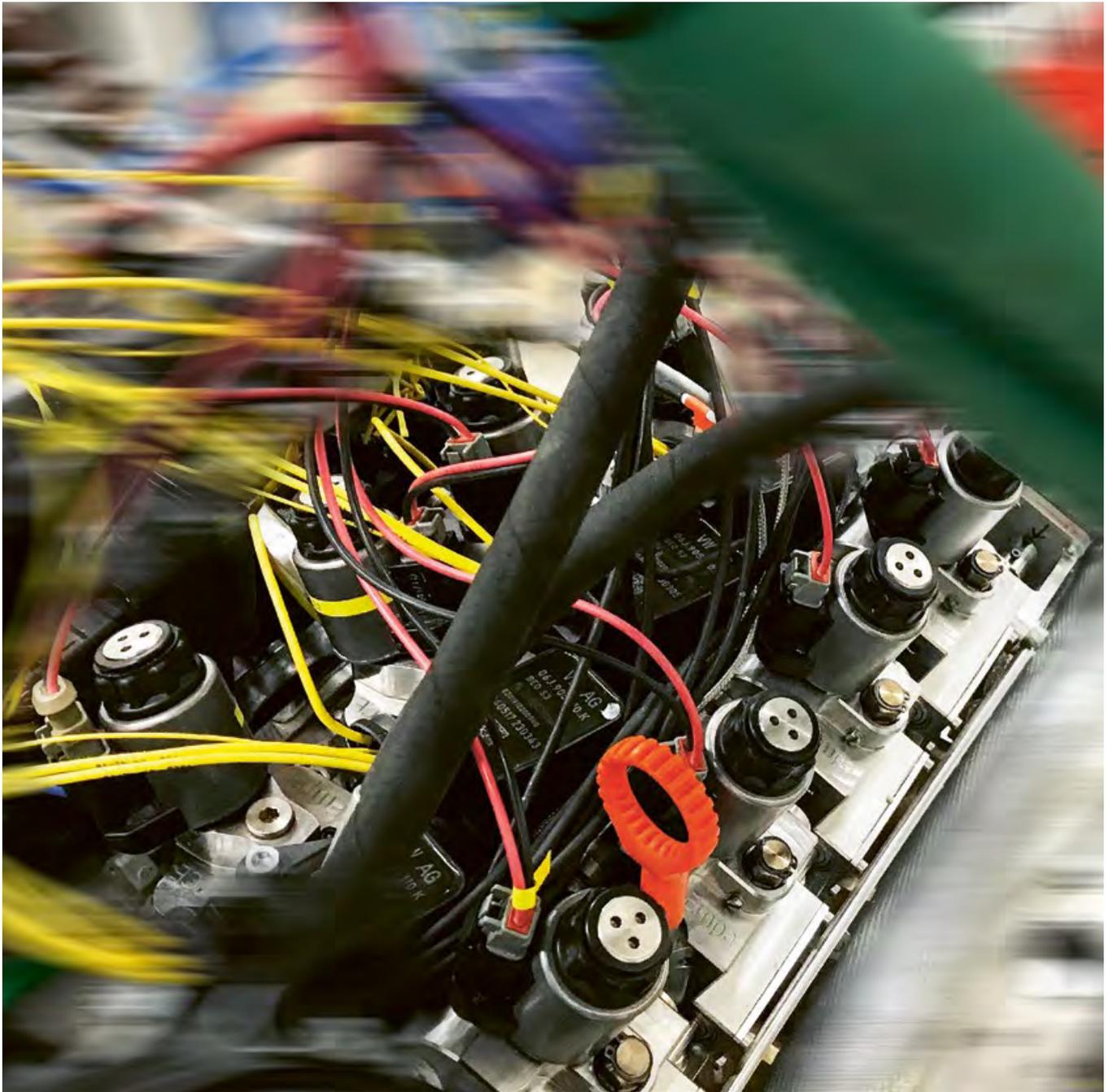
Plus d'huile dans la culasse

Autre particularité du système FlexWork: le choix du fluide hydraulique. Au lieu d'utiliser de l'huile, comme c'est habituellement le cas, on utilise un mélange

eau-glycol, c'est-à-dire l'eau de refroidissement du moteur. La culasse est ainsi totalement vierge d'huile, ce qui permet l'utilisation de formulations d'huiles moteur plus simples à plus longs intervalles entre vidanges.

Dans le cadre du projet FlexWork financé par l'OFEN, la nouvelle commande de soupapes a été montée sur un bloc-moteur VW 1.4l TSI. Testé sur un banc d'essai de l'Empa, il a subi sans problème plusieurs millions de cycles opératoires.

La nouvelle commande de soupapes convient non seulement aux moteurs à combustion mais aussi aux autres «machines à respiration» telles que les compresseurs et les machines à expansion qui y gagnent en souplesse d'emploi et en efficacité. //



L'Empa a mis au point une commande électrohydraulique des soupapes de moteurs à combustion qui permet d'en régler librement la levée et le temps d'ouverture. Robuste et économique, cette nouvelle technique peut réduire la consommation de 20%.

Des capteurs médicaux en nanocellulose

Dr. Gilberto De Freitas Siqueira, gilberto.siqueira@empa.ch

En collaboration avec une équipe canadienne de la Simon Fraser University, des chercheurs de l'Empa mettent actuellement au point des capteurs flexibles et biocompatibles en nanocellulose applicables directement sur la peau. Ces puces réalisées par impression 3D à partir d'une matière renouvelable permettront de mesurer des valeurs métaboliques telles que la concentration en ions calcium, potassium ou ammonium.

«Superpouding» de bois

La nanocellulose est une matière première avantageuse et renouvelable composée de cristaux et de fibres tirés par exemple de la cellulose du bois. La substance gélatineuse n'évoque plus en rien l'arbre dont on l'a extraite. On peut d'ailleurs la produire également à partir de bactéries, d'algues ou de déchets provenant de l'industrie alimentaire. Facile à produire et renouvelable, ce «superpouding» présente des propriétés mécaniques intéressantes exploitables par de nouvelles sortes de composites. Et c'est bien parce qu'il est d'origine naturelle que le matériau est particulièrement prisé dans la recherche biomédicale.

Pour fabriquer ces capteurs chimiques, la nanocellulose est utilisée sous forme d'«encre» pour impression 3D. On

y a noyé des nanofils d'argent qui y tissent un réseau tridimensionnel rendant les capteurs électriquement conducteurs. Le capteur transmet ses données à un ordinateur pour analyse. Le minuscule «laboratoire biochimique» n'est épais que d'un demi-millimètre.

Alors que le capteur actuel mesure des concentrations ioniques spécifiques de manière fiable, les chercheurs en étudient déjà la prochaine version. Elle devrait être non seulement biocompatible mais également biodégradable; à cette fin, les particules d'argent doivent être remplacées par un autre conducteur fondé sur des liaisons carbone.

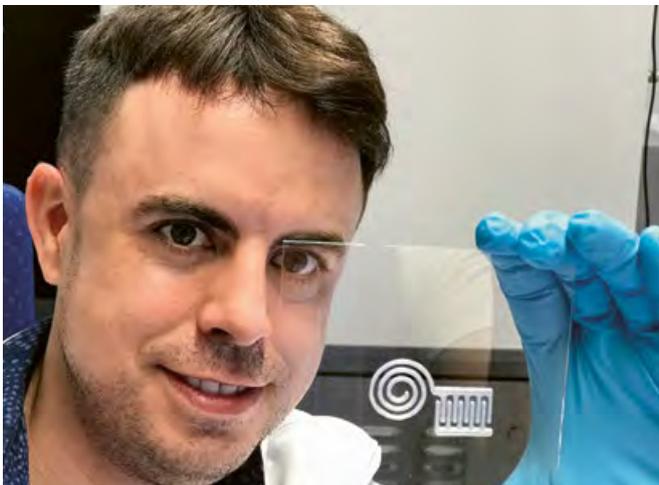
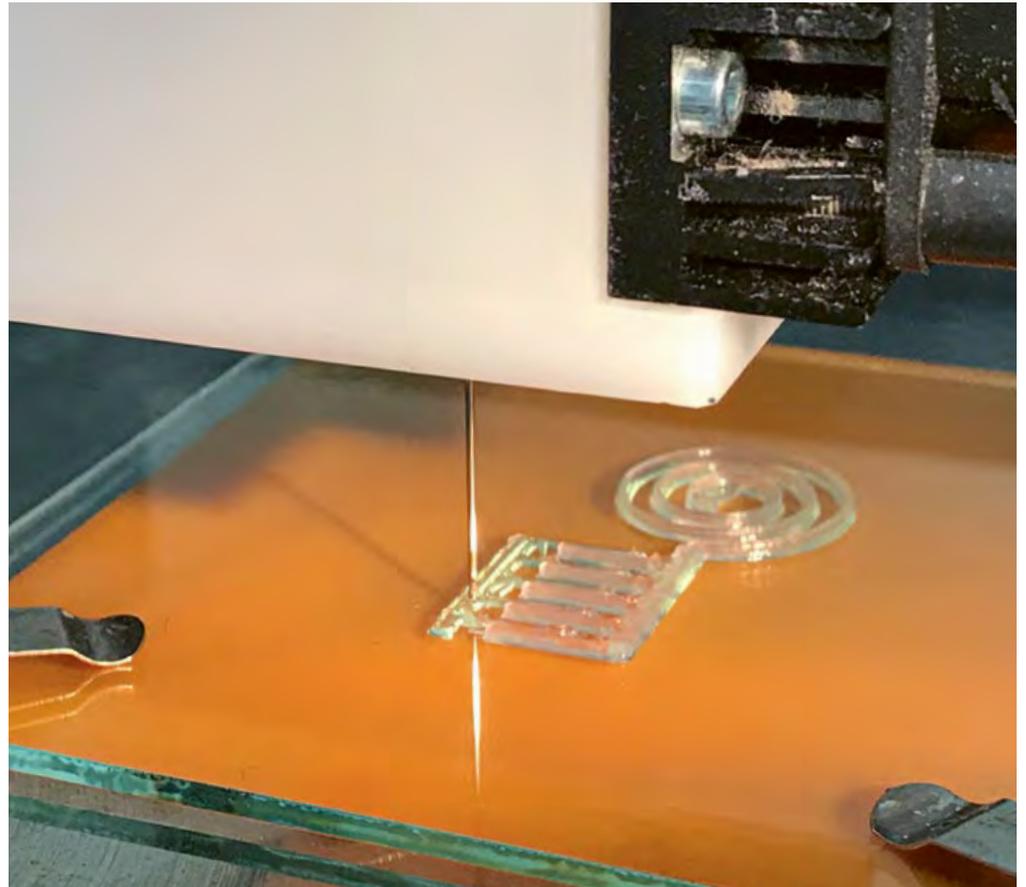
Des capteurs de mouvement souples

Un autre type de capteurs à base de nanocellulose est à l'étude. Il s'agit d'une semelle intérieure pour chaussures. L'Empa y travaille dans le cadre du projet «D-Sense» en collaboration avec des chercheurs de l'EPFL, de l'EPFZ, du Centre suisse d'électronique et de microtechnique (CSEM) et du Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV). «D-Sense» est l'un des projets du grand axe stratégique «Advanced Manufacturing» du Domaine des EPF. Objectif: réaliser par impression 3D un capteur multicouche épousant souplement l'épiderme. Le

capteur podométrique mesure différents paramètres mécaniques tels que la charge, la pression et les forces appliquées, permettant d'analyser avec précision le mouvement des articulations. //

1
L'imprimante 3D applique l'«encre» nanocellulosique sur une plaque support. Les particules d'argent incluses dans l'encre en assurent la conductibilité électrique.

2
Gilberto Siqueira, chercheur à l'Empa, présente le nouveau circuit de nanocellulose imprimé. Après séchage, le matériau peut être travaillé plus avant.



Création de richesse grâce aux nouvelles techniques de fabrication

Dr. Lars Sommerhäuser, lars.sommerhaeuser@empa.ch

Les places de travail industriel assurent un bon 20% de la création de richesse en Suisse et y consolident ainsi le niveau de vie. Une personne travaillant dans l'industrie crée en gros 100 000 francs de valeur ajoutée par an, soit environ le double d'une personne engagée dans le domaine en rapide croissance des services. Pour garantir notre revenu moyen et notre pouvoir d'achat, nous devons maintenir l'emploi industriel dans le pays.

«Use it – or lose it!»

La Suisse, d'ailleurs, ne cesse de développer de nouvelles techniques innovantes de fabrication. Nous ne pouvons cependant maintenir notre leadership technologique qu'en exploitant nous aussi ces nouvelles techniques. Il est bien connu en effet que les techniques de fabrication se perfectionnent là où elles sont utilisées. C'est pour cela également que l'emploi industriel est de prime importance pour notre pays.

Fidèle à sa devise «The Place where Innovation Starts», l'Empa développe les matériaux et les procédés nécessaires aux nouvelles techniques de fabrication. Elle va même plus loin: elle entend montrer en partenariat avec l'industrie que les nouvelles techniques ne fonctionnent pas qu'en laboratoire mais peuvent s'imposer

dans la production industrielle. C'est là qu'interviennent les centres de transfert technologique. Ils montent et exploitent des installations pilotes qui ne produisent que des volumes limités mais, à la différence des installations de laboratoire, fonctionnent déjà selon des processus et des standards industriels. Le Coating Competence Center de Dübendorf est un tel centre de transfert des technologies. Cependant, un seul centre ne saurait suffire à la Suisse.

Centre pour l'impression 3D

En 2019, à la demande de la Confédération, l'Empa a lancé l'initiative en faveur de la création du Advanced Manufacturing Technology Transfer Center (AM-TTC). Dans ce cadre, et avec des fonds du Conseil des EPF, deux nouveaux centres de transfert des technologies ont été ouverts sous forme de partenariats public-privé. L'un d'eux est le Swiss m4m Center pour implants médicaux, fondé par l'Empa et trois partenaires de la science et de l'industrie. Depuis lors, plus de 30 partenaires ont rejoint le projet. Ils contribuent sous forme financière, de savoir-faire ou de prestations en nature, au montage d'une installation pilote de production d'implants médicaux au Swiss m4m Center.

L'objectif du centre et de ses partenaires est de développer l'impression 3D au niveau nécessaire pour réaliser des implants innovants, rapidement et à bon compte. Il s'agit d'assurer et d'améliorer le traitement des patients sans aucun compromis sur la qualité ou la fiabilité des implants. Le centre va pour cela qualifier et valider toutes ses étapes de développement et de production, lesquelles seront intégrées dans un système de gestion de la qualité certifié ISO 13485.

Cela ne concerne pas que les grandes entreprises de technique médicale: le centre a également pour tâche de rendre la technique de l'impression 3D accessibles aux PME. Il est en effet primordial que les nombreuses PME suisses de ce secteur maintiennent et développent leur compétitivité. //



Plaque de renforcement produite par impression 3D pour la fixation d'un insert de prothèse de hanche artificielle, destinée au traitement de fractures complexes du bassin.
Image: Swiss m4m Center

En février 2019, le démonstrateur NEST a accueilli sur sa plateforme supérieure la nouvelle unité modèle «DFAB HOUSE» qui y brille comme une grosse lanterne. NEST permet aux chercheurs et aux entreprises de matérialiser ensemble leurs idées. Ils y testent de nouveaux procédés de construction, de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux sur des modules de logements ou de bureaux qui sont effectivement utilisés et habités.

La «DFAB HOUSE» a été inaugurée à la fin février 2019 en présence du Conseiller fédéral Guy Parmelin. Elle est consacrée à la transition numérique dans le domaine de la construction. Haute de trois étages, elle a été projetée de manière entièrement numérique puis réalisée et montée largement de même par des robots et par impression 3D. Y ont participé des chercheurs de huit chaires de l'EPF de Zurich dans le cadre du pôle de recherche national (PRN) «fabrication digitale». En collaboration avec des partenaires industriels, ils ont transféré pour la première fois différentes techniques numériques de construction du laboratoire au monde réel. Les technologies digitales n'ont pas pour seul objectif de faciliter l'étude et la réalisation des projets, mais aussi d'en assurer la durabilité.

Nouvelles possibilités en construction

La construction d'une septième unité NEST a été lancée en été 2019. Il s'agit de «HiLo» qui doit illustrer de manière convaincante les possibilités offertes par la construction légère. L'EPFZ est également partenaire de ce projet qui fait appel à un nouveau concept de coffrage, à de nouvelles structures et de nouveaux planchers légers, ainsi qu'à des éléments de façade adaptatifs.

Plusieurs projets liés au «Energy Hub» (ehub, voir page 28) et au «Digital Hub» (dhub, voir page 30) sont arrivés à leur terme au cours de l'année 2019. Ils portaient entre autres sur l'intelligence artificielle (IA) en domotique ainsi que la mise en réseau de données en temps réel d'une part et de modèles numériques d'autre part, assurant une meilleure conduite des projets. Des chercheurs de l'Eawag ont consacré beaucoup d'efforts l'année dernière au traitement des eaux grises par filtrage au charbon actif en seconde étape de traitement. L'objectif est l'élimination des substances organiques. Signalons aussi l'installation dans NEST des premières nouvelles toilettes NoMix «Save!» qui permettent de recueillir et traiter séparément l'urine.

Veiller au transfert du savoir-faire

En plus de ces projets de construction et de recherche, l'accent a de nouveau porté

cette année sur le transfert des savoir-faire et le travail en réseau. Plus de 10 000 visiteuses et visiteurs ont pu réfléchir à ces questions lors des visites de NEST ou d'autres événements associés. Des séminaires – par exemple sur l'économie circulaire – ont permis à des professionnels du bâtiment de voir comment les idées mises en œuvre dans NEST pouvaient également l'être dans leur propre travail. NEST a également trouvé de nouveaux partenaires intéressés à participer soit aux unités actuelles, soit à de futures unités. Le projet d'unité «Solare Fitness & Wellness» a ainsi attiré l'attention de plusieurs grands hôtels et opérateurs de wellness avec lesquels des discussions sont en cours.

Trois (nouvelles) distinctions

En début d'année, lors de la remise du Watt d'Or, l'Office fédéral de l'énergie (OFE) lui a décerné le prix spécial Transposition. A suivi en juin la Building Award dans la catégorie «Recherche et développement». Enfin, l'unité NEST «Urban Mining & Recycling» fait partie des lauréats du concours international «beyond bauhaus – prototyping the future». Le concept d'appartement conçu selon les principes de l'économie circulaire s'est imposé parmi quelque 1500 projets provenant de 50 pays. //



La nouvelle unité «DFAB HOUSE» de NEST. Image: Roman Keller

Les stations à hydrogène gagnent du terrain

Adrian Gonzalez, adrian.gonzalez@empa.ch

La mobilité à hydrogène démarre pour de bon en Suisse. L'un des facteurs de cet envol n'est autre que le démonstrateur de mobilité «move» mis en service à Dübendorf voici quatre bonnes années par l'Empa, avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie (OFE) et de différents partenaires industriels, et, depuis lors, continuellement perfectionné. L'objectif: rien de moins que le décarbonage de la mobilité par le recours à l'électricité renouvelable, à l'hydrogène et à des carburants tels que le méthane de synthèse.

Les deux premières stations de ravitaillement en hydrogène à 700 bars de Suisse ont été installées ces dernières années avec le soutien de l'OFE, de H2 Energy et de Hyundai, la première à la fin 2016 sur «move», la seconde peu après à Hunzenschwil, en Argovie, par Coop et H2 Energy.

Vers un réseau complet de stations à hydrogène

La mise en service et l'exploitation de ces deux stations pionnières ont fait l'objet d'études ininterrompues et ont été suivies de plusieurs nouvelles initiatives dans le pays. Ainsi, Hyundai a dévoilé vouloir livrer 1000 poids lourds en Suisse dans les prochaines années. Ajoutons la

création de l'association «Mobilité H2 Suisse» qui bénéficie des conseils de H2 Energy. Son but est d'étendre le réseau des stations à hydrogène à l'ensemble du territoire. L'expérience acquise au cours des premières années d'exploitation des deux stations initiales est des plus précieuses. L'une des questions à résoudre au niveau national et international est celle de l'exactitude de la mesure du volume et de la qualité de l'hydrogène fourni en station. C'est pourquoi l'Institut fédéral de métrologie (METAS) a développé un nouveau dispositif d'étalonnage qu'il a testé sur «move». En parallèle, l'Empa a étudié très en détail la dynamique des courants et des températures lors de l'injection d'H₂ en bonbonnes. Ces études assurent l'amélioration continue du système de ravitaillement des véhicules.

Guide du processus d'approbation

Le processus d'approbation des stations à hydrogène est complexe. A ce jour, on ne dispose en Suisse que de peu d'expérience, qu'il s'agisse de l'aménagement d'installations ou, pour les autorités, de la délivrance des autorisations. C'est pourquoi l'Empa a conçu avec les autorités et les services concernés un guide de la construction de stations à hydrogène ré-

cemment publié par l'Association Suisse de Normalisation (SNV) sous le titre «Schweizer Guideline SNG 10000:2019». Il précise pas à pas quelles autorités et organisations contacter dans le processus d'approbation, ainsi que les points à prendre en compte dans l'étude et la construction de stations. Il fournit en outre un panorama des différentes lois, directives et normes nationales et internationales en la matière. //



A Dübendorf, on peut faire le plein d'hydrogène depuis 2015 sur le démonstrateur «move» de l'Empa.

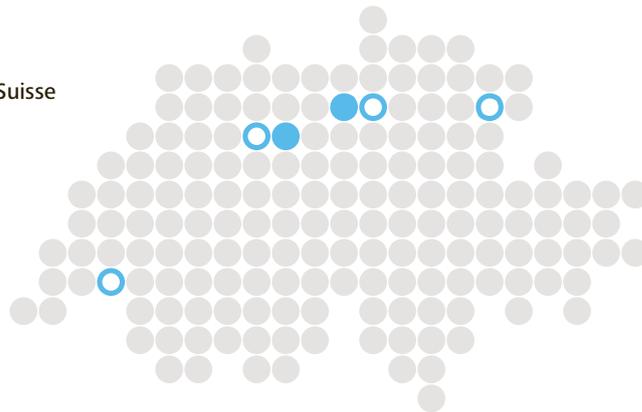
STATIONS-SERVICE H₂ en Suisse

● STATIONS-SERVICE opérationnelles

Coop, Hunzenschwil (AG)
Empa, Dübendorf (ZH)

○ STATIONS-SERVICE planifiées

Agrola, Zofingue (AG)
Avia, Saint-Gall (SG)
Coop, Crissier (VD)
Coop, Dietlikon (ZH)



Source: Association pro mobilité H₂ en Suisse, octobre 2019

Mettre les énergies en réseau

Philipp Heer, philipp.heer@empa.ch

Le système de production et de distribution de l'énergie en Suisse et dans l'Europe entière est en plein chambardement. Les conditions-cadres tant politiques que sociétales ne cessent de changer et, parallèlement, on étudie sans relâche de nouvelles techniques d'approvisionnement, de stockage et de conversion. La numérisation facilite le rapprochement de secteurs naguère fonctionnellement distincts, elle facilite la collecte et l'exploitation de données permettant d'optimiser l'utilisation de l'énergie au niveau des bâtiments, des quartiers, des villes et de pays entiers. L'objectif, ambitieux: décarboner l'énergie.

A l'Empa, l'Energy Hub illustre bien cette démarche. Le «ehub» est une plateforme d'expérimentation de la gestion de l'énergie au niveau des quartiers. Il dessert les deux démonstrateurs NEST (voir page 24) et move (voir page 26) dont il couple et optimise les flux énergétiques entre bâtiments et mobilité. Chaque nouvelle unité de NEST constitue pour le ehub un nouveau «bâtiment» à intégrer au système énergétique.

Ce n'est pas tout: en collaboration avec l'EPF de Zurich et l'Institut Paul Scherrer (PSI), l'équipe du ehub a lancé en 2019 le projet «ReMaP», pour «Renewable Management and Real-Time

Control Platform». Il s'agit de mettre en réseau les différents projets de démonstration actuellement en cours dans ces institutions.

Réduire la consommation par l'intelligence artificielle

Plusieurs projets du ehub sont arrivés à leur terme au cours de l'année 2019. L'équipe du ehub a pu entre autres montrer que, dans l'exploitation des bâtiments, l'apprentissage automatique (machine learning) permettait de réaliser de belles économies d'énergie; la question est également à l'étude au Digital Hub («dhub», voir page 30). Plus concrètement, les chercheurs ont développé une commande de chauffage et de rafraîchissement capable d'anticipation et l'ont mise en service dans l'unité «Urban Mining & Recycling» au cours de l'été 2019. L'appartement – qui est habité – dispose de deux chambres identiques. La température ne devait pas dépasser 25°C le jour et 23°C la nuit. L'une des chambres était sous contrôle d'une vanne thermostatique habituelle, l'autre sous contrôle de la commande expérimentale mise au point par l'équipe ehub. Le logiciel d'intelligence artificielle disposait de données couvrant les dix derniers mois et pouvait accéder aux prévisions de MétéoSuisse.

Le résultat est clair: le chauffage-rafraîchissement intelligent a mieux respecté la consigne tout en consommant un quart d'énergie en moins.

Le prochain essai est prévu dans un immeuble locatif. Le développement de la commande se poursuit: elle sera couplée à une batterie de véhicule électrique et à une unité de stockage de données. L'équipe du ehub se penche également sur l'équilibrage mutuelle des différents besoins en énergie. Elle étudie en collaboration avec la start-up Aliunid la manière dont un quartier peut s'adapter aux fluctuations de son approvisionnement, ce qui bénéficierait à l'ensemble du réseau.

Echanges entre la recherche et l'économie

L'évolution de notre système énergétique dépend de celle des règlements, mais également de l'accueil que l'industrie réservera aux nouvelles technologies et à la manière dont elle lancera les nouveaux systèmes sur le marché. L'équipe du ehub en a tenu compte en organisant en 2019 une conférence intitulée «Décarboner le système énergétique». Quelque 120 professionnels de l'industrie y ont échangé leurs réflexions avec les expertes et experts de l'Empa. //



Le système énergétique de demain met en réseau technologies, agents énergétiques et secteurs urbains. Image: ikonaut

La transformation numérique est une œuvre commune

Reto Largo, reto.largo@empa.ch

Le «Digital Hub» (dhub) est la plus récente plateforme de démonstration du campus de l'Empa. Il intègre numériquement les autres démonstrateurs que sont le NEST (voir page 24), move (voir page 26) et le ehub (voir page 28), reliant virtuellement bâtiments, mobilité et énergie. Les données de ces trois secteurs doivent lui être globalement accessibles en temps réel. Elles servent de base à l'étude et à la validation de nouveaux produits et services destinés aux Smart Cities et Smart Communities.

Tout comme les autres démonstrateurs du campus de l'Empa, le dhub doit être vu comme une plateforme où entreprises et chercheurs peuvent concrétiser leurs projets numériques en grandeur réelle pour en poursuivre le développement en toute sécurité. C'est ainsi qu'Autodesk Research a pu y perfectionner son produit «Dasher 360». Ce logiciel met en lien des modèles 3D avec des flux de données en temps réel; dans le cas de NEST, les données proviennent de plus de 700 capteurs et actionneurs. Le responsable du bâtiment dispose ainsi d'un remarquable outil de décision et d'optimisation pour la commande des installations et l'entretien de l'ensemble. Autodesk a intégré NEST à sa version de démonstration de «Dasher 360» disponible

dans le monde entier et déjà présentée à de nombreuses conférences nationales et internationales.

Un langage et une méthodologie cohérents

L'initiative «Construction numérique Suisse» utilise également la plateforme NEST. Son objectif: dégager une méthodologie numérique commune d'étude des projets et d'exploitation des bâtiments sur la base de scénarios concrets. Il s'agit en premier lieu d'harmoniser l'approche des processus et de dégager un langage commun servant l'ensemble du bâtiment et de l'immobilier. La construction des futures unités de NEST et la transformation des unités actuelles passeront par une modélisation 3D. Dans le projet «HiLo», dont la construction a commencé en été 2019, tous les tubes isolants sont préfabriqués sur la base de cette modélisation. C'est une première. La construction s'en trouve accélérée et son coût réduit. L'Empa a pour partenaire dans ce projet l'entreprise Bouygues Energies & Services Suisse.

Avec ce même partenaire, l'Empa entend relever un important défi sur le chantier de «HiLo», celui de la collaboration entre équipes décentralisées. Une «BIM Room» (BIM = Building Information

Modelling) proche du chantier et un équipement numérique adéquat sur le chantier doivent permettre d'organiser et de conduire les travaux de manière numérique, sans aucun hiatus.

Optimisation de l'exploitation par apprentissage automatique

De nombreux projets du dhub sont poursuivis en lien avec l'Energy Hub (ehub, voir page 28). En effet, la numérisation ouvre de toutes nouvelles possibilités de commande des flux d'énergie. Lorsque les commandes ont accès à des données historiques comme à des données en temps réel, l'intelligence artificielle leur permet de se paramétrer elles-mêmes par apprentissage. Ces dernières années, les infrastructures matérielles du ehub ont permis aux chercheurs de l'Empa de mener à bien plusieurs projets d'optimisation de l'exploitation par apprentissage automatique. //



Modèle 3D alimenté par des données en temps réel: le NEST virtuel a accès aux données de plus de 700 capteurs et actionneurs. Image: Dasher 360



Axes de recherche

Où se situent les grands défis de notre époque? Certainement dans les domaines de la santé et du bien-être des personnes, de l'environnement et du climat, de l'épuisement des matières premières, des ressources énergétiques sûres et durables et du renouvellement de nos infrastructures. Dans ses cinq axes de recherche, l'Empa conjugue le savoir-faire de ses plus de 30 laboratoires et centres pour offrir à la société et à l'industrie des solutions adaptées à la pratique.

L'étude nanométrique des matériaux – fascinante limite

Dr. Pierangelo Gröning, pierangelo.groening@empa.ch

Un nanomètre – la 0,000 000 001^{ème} partie d'un mètre, soit la longueur de six liaisons carbone – est l'échelle à laquelle travaille aujourd'hui la science des matériaux. Objectif: découvrir de nouveaux effets physiques, comprendre les matériaux plus en détail, en influencer ou en améliorer les propriétés. Travailler à cette échelle signifie être capable d'intervenir avec une précision de l'ordre de l'atome, que ce soit dans la synthèse ou la caractérisation d'un matériau.

La superfluorescence – rendue possible grâce à la perfection structurale

Les matériaux fluorescents émettent spontanément de la lumière quand ils sont stimulés par une source lumineuse extérieure, par exemple un laser. La superfluorescence s'obtient par synchronisation de différentes sources fluorescentes dont les émissions lumineuses s'additionnent. Pour produire cet effet, il faut que les émetteurs satisfassent certaines exigences. Il faut, en particulier, que la longueur d'onde qu'ils émettent soit constante et qu'ils soient fortement couplés. L'idéal, pour réaliser un matériau superfluorescent, est de recourir à des nanocristaux. Du point de vue physique, il s'agit de points quantiques, ce qui leur assure une fluorescence d'une longueur d'onde bien

déterminée, fonction de leur taille. Il s'agit donc de disposer de nanocristaux «monodispersés» (c'est-à-dire ne présentant que de minimales différences de taille) étroitement couplés les uns aux autres. Une équipe de chercheurs composée de collaborateurs de l'Empa et de l'EPF de Zurich réunie autour de Maksym Kovalenko y est parvenue en collaboration avec le laboratoire de recherche d'IBM à Rüschlikon. Ils ont synthétisé des nanocristaux de perovskite de 9,5 nm avec une marge de tolérance inférieure à 5% (moins de 0,5 nanomètre!). Par auto-organisation, ces cristaux s'arrangent en un «cristal», premier corps solide dans lequel on a pu observer le phénomène de superfluorescence. La production contrôlée de superfluorescence et de son rayonnement quantique ouvre de nouvelles perspectives à l'informatique quantique, aux capteurs quantiques et à la communication cryptée quantique.

La ferroélectricité se joue à 20 picomètres près ...

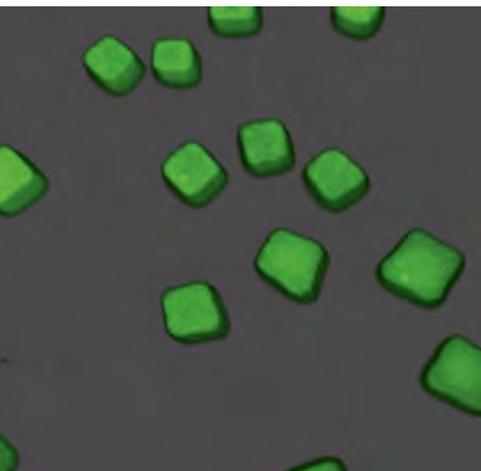
Les matériaux ferroélectriques présentent une polarisation électrique spontanée en l'absence de tout champ électrique. Il est possible de modifier l'orientation de cette polarisation spontanée à l'aide d'un champ électrique extérieur. Les matériaux

ferroélectriques présentent en général une permittivité relative (ϵ_r) très élevée, ce qui, en couche mince, les rend très intéressants pour la fabrication de mémoires semi-conducteur de type FeRAM («Random Access Memory» ferroélectrique). Au contraire des DRAM (Dynamic RAM) actuellement en usage, les FeRAM ne perdent pas leur charge. Parmi les nombreuses matières ferroélectriques, il en existe un type inhabituel dans lequel des effets secondaires tels que des distorsions du réseau peuvent influencer les paramètres d'ordre primaire de la polarisation. Ces effets secondaires peuvent renforcer et stabiliser l'état ferroélectrique. Le manganite d'yttrium hexagonal ($YMnO_3$) est un ferroélectrique inhabituel dont certains effets secondaires peuvent être provoqués par de petites modifications géométriques du réseau cristallin. Une équipe de chercheuses et chercheurs de l'Empa dirigée par Marta Rossel a étudié en collaboration avec l'équipe de Nicola Spaldin de l'EPFZ le comportement ferroélectrique des couches minces de $YMnO_3$ et constaté que leur température de transition de phase dépendait largement de l'épaisseur de la couche. Alors que cette température est de 986°C pour le matériau en bloc, elle passe de 250°C à 670°C pour des couches passant de 10 à 100 nm. La diminution de la tem-



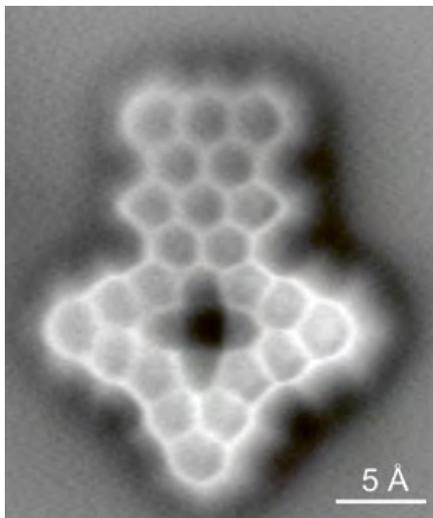
1

«Cristaux» superfluorescents de nanocristaux de perovskite (CsPbBr_3) excités par lumière violette de 405 nm. Image: cliché en photoluminescence par microscopie confocale 3D [EPFZ Zurich; ScopeM]



2

Image prise au microscope à force atomique à pointe sans contact (nc-AFM) fonctionnalisée par une molécule de CO. On y voit les atomes ainsi que les liaisons atomiques d'une structure hybride de nanographène – porphyrine ($\text{C}_{38}\text{H}_{18}$). ($5\text{Å} = 0,5\text{ nm}$)



2

pérature de transition de phase entraînée par celle de l'épaisseur de la couche peut, selon le processus de dépôt, être induite par les tensions mécaniques auxquelles la couche est soumise. Il s'agit d'une voie prometteuse du point de vue technologique. Les chercheurs ont en particulier étudié les changements de structure observés lors d'une transition de phase. L'étude au microscope électronique à transmission (TEM) leur a permis de mettre en évidence que la transition de phase de ferro à para-électrique était provoquée par un très petit désordre provoqué par les atomes d'yttrium. En phase paraélectrique, ces atomes ne sont plus attachés à leur nœud réticulaire, mais déplacés aléatoirement 20 picomètres (= 0,02 nanomètres) dans la direction de polarisation. Cette observation d'une transition ordre-désordre est une étape importante dans la compréhension des ferroélectriques inhabituels.

Une molécule de CO améliore la résolution de l'image

La conquête de l'espace nanométrique par la recherche sur les matériaux a permis aux méthodes chimiques de caractérisation structurale des matériaux de poursuivre leur progression dont l'objectif est d'assurer une résolution au niveau de l'atome. Ces cinq dernières années, les

grands progrès en imagerie ont été surtout enregistrés par la microscopie électronique à transmission (TEM) et la microscopie à force atomique (AFM). Comme nous l'avons vu ci-dessus, la TEM de dernière génération a permis de mettre en évidence une série d'effets structuraux dans le domaine des 20 picomètres. L'AFM a connu un développement continu, mais la spectaculaire amélioration de son pouvoir séparateur provient d'une astuce, appliquée pour la première fois par un chercheur du centre de recherche d'IBM à Rüschlikon. L'astuce a consisté à fonctionnaliser sa pointe déjà très fine en lui ajoutant une molécule de CO, ce qui en a amélioré la sensibilité, particulièrement aux liaisons carbone qui interagissent fortement avec cette molécule. Dans le cas de molécules organiques telles que les nanostructures de graphène, cela a permis de fournir non seulement des images d'atomes, mais également de leurs liaisons! Une résolution à couper le souffle. L'image AFM d'une structure hybride porphyrine-nanographène ne se distingue pratiquement plus d'une image créée par ordinateur. Bien qu'elles ne se composent que de carbone, ces nanostructures de graphène peuvent être magnétiques, comme l'a démontré l'équipe de Roman Fasel par microscopie à sonde locale. //

La recherche au service de la sécurité et du confort

Dr. Tanja Zimmermann, tanja.zimmermann@empa.ch

Dr. Moslem Shahverdi, moslem.shahverdi@empa.ch

Dr. Christoph Czaderski, christoph.czaderski@empa.ch

Dr. Armin Zemp, armin.zemp@empa.ch

Les travaux de recherche de l'Empa en lien avec la construction dans notre pays vont du développement de matériaux fonctionnels jusqu'aux projets de systèmes avancés intégrables aux bâtiments et structures, avec le souci constant de réduire notre empreinte écologique, et de maintenir (voire améliorer) notre confort et notre sécurité. En voici quelques exemples:

Prolongation de la vie des bâtiments grâce au «Memory-Steel»

Lorsque les efforts exercés sur un bâtiment ou sur un pont augmentent, par exemple en raison de l'accroissement du trafic ou alors sous l'effet de la corrosion, le moment est venu de l'assainir et de le renforcer. Une série de projets de recherche ont permis à la société re-fer AG et à l'Empa de bien asseoir une nouvelle méthode de renforcement des bâtiments et ouvrages en béton armé à l'aide du «Memory-Steel» développé à l'Empa.

Cet acier à mémoire de forme a été utilisé dans un projet Innosuisse de renforcement contre le cisaillement des poutres en T en béton armé à l'échelle 1:1. Les essais ont montré que des barres de ce métal strié profilées en U noyées dans une couche de mortier renforçaient très efficacement les structures existantes.

La première application du système date de 2019, au Kurtheater de Baden dont les poutres de béton armé devaient être renforcées. Ce fut une étape décisive dans l'introduction du procédé sur le marché.

L'un des projets actuellement soutenus par le Fonds national suisse (FNS) porte sur la liaison entre les barres d'acier strié et le mortier de ciment. Ce projet a contribué au succès des récents et remarquables travaux de renforcement durable du tunnel du Jungfrau-joch, dans les Alpes bernoises. Un chemin de fer inauguré en 1912 en rend le sommet accessible aux touristes, à 3500 mètres. Le prolongement du quai a nécessité le renforcement des voûtes. Le projet est l'œuvre de re-fer et des bureaux d'ingénieurs WaltGalmarini AG et B+S Ingenieure; il fait appel à des barres de «Memory-Steel» noyées dans une couche de mortier projeté prise dans la voûte.





Travaux de renforcement par «Memory-Steel» au Jungfrauoch. Un chalumeau à gaz active l'alliage à mémoire de forme, rétablissant la précontrainte de l'acier. Images: re-fer, iStockphoto

Des wagons de marchandise plus légers et silencieux grâce aux polymères renforcés

Le nombre de personnes assaillies par le bruit du trafic diurne ou nocturne ne cesse de croître. Les chemins de fer y contribuent beaucoup. L'emploi d'essieux en polymères renforcés par fibres (FRP, *fibre-reinforced polymers*) permettrait-il de réduire le bruit des convois? C'est la question à l'origine d'un projet financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Dans le sens des fibres, les FRP présentent un meilleur rapport résistance-poids et de meilleures caractéristiques mécaniques que les matériaux habituels. PROSE, Carbo-Link, CFF Cargo et l'Empa étudient donc la faisabilité d'essieux en FRP, potentiellement plus silencieux et plus légers, avec les avantages qu'on peut en attendre: possibilité d'augmenter la vitesse, de réduire la consommation de courant, de réduire l'inertie des convois et l'usure des rails ou de permettre des charges plus importantes.

L'analyse de la résistance structurelle d'essieux en FRP a été conduite par modélisation informatique 3D par éléments finis. Parallèlement, leurs émissions sonores ont été comparées à celles d'essieux habituels. Le nouvel essieu – dimensionné pour résister à la charge maximale admis-

sible – pèse environ 40% de moins et son bruit de roulement a pu être réduit d'environ 2,8 dB(A). //

Des capteurs pour un avenir durable

Dr. Brigitte Buchmann, brigitte.buchmann@empa.ch

Pour atteindre l'objectif des 2°C de l'accord de Paris sur le climat, nous devons réduire nos émissions de gaz à effet de serre, et considérablement. Cela implique l'adoption de mesures et de stratégies inédites. Citons ces capteurs sélectifs et de haute précision embarqués par des drones et pouvant détecter des émissions diffuses ayant échappé à l'attention, ouvrant la voie à des mesures de réduction ciblées politiques et techniques. La fiabilité des capteurs est aussi un facteur essentiel du bon fonctionnement des futurs véhicules autonomes, tant pour en garantir la sécurité que pour en réduire les émissions. Pour ce genre de projets les chercheurs de l'Empa proposent des techniques de mesure, des systèmes de capteurs et des outils complets d'analyse des données.

Détection des sources de méthane

L'emploi de drones comme plateforme de mesure des traces de gaz dans l'atmosphère permet de recueillir de précieuses informations sur la variabilité de ces émissions dans le temps et l'espace avec une précision inatteignable par les réseaux des stations de mesure habituels. Repérer les sources de méthane présente un intérêt particulier car le méthane oc-

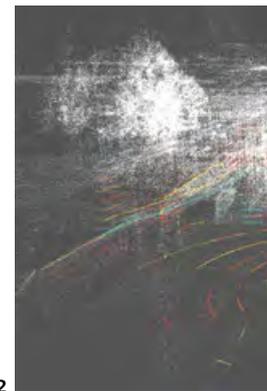
cupe la seconde place du classement des gaz à effet de serre anthropogènes et joue en outre un rôle décisif dans la chimie atmosphérique.

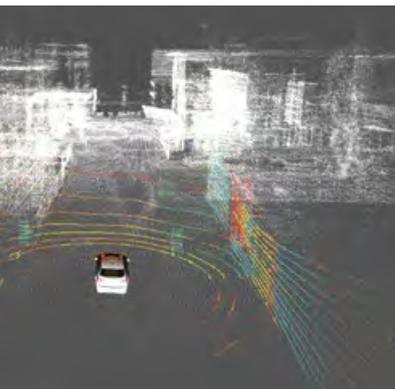
Des chercheurs de l'Empa ont mis au point un spectromètre laser léger et robuste permettant de mesurer avec grande précision la teneur en méthane de l'atmosphère. L'appareil est constitué d'un laser à cascade quantique et d'une cellule circulaire segmentée à réflexion multiple offrant un trajet optique de dix mètres. Très compacte, cette cellule réduit le bruit optique au minimum et présente une excellente stabilité mécanique. Ses dimensions, son poids et sa consommation électrique sont cent fois moindres que ceux d'un appareil habituel de mesure des traces de gaz par spectroscopie laser. Bien que pesant moins de deux kilos, il est d'une sensibilité meilleure que 1 ppb (la concentration typique de méthane dans notre environnement est de 2000 ppb). Son électronique de pointe lui permet de transmettre sans fil plusieurs milliers de spectres d'absorption de haute résolution par seconde, ce qui permet la visualisation des mesures en temps réel. L'appareil a déjà été utilisé dans de nombreuses campagnes de mesures sur des drones commer-



1 Spectromètre laser à cascade quantique pour mesurer le méthane sur un drone. Cet instrument de haute précision est léger, sensible et suffisamment rapide pour détecter et quantifier les émissions de gaz à effet de serre provenant de sources naturelles et artificielles.

2 Visualisation des données des capteurs d'un véhicule autonome. C'est ainsi que la voiture «voit» le campus de l'Empa.





ciaux, dans différents pays européens. Il y a démontré son étonnante capacité d'identifier, caractériser et quantifier les sources de méthane tant naturelles qu'anthropogènes.

Des voitures autonomes plus sûres et plus respectueuses de l'environnement

L'autonomisation et l'automatisation des véhicules pourraient améliorer la sécurité et la durabilité de la mobilité urbaine, réduisant ainsi le nombre d'accidents de la route. Pour calculer leur trajectoire, les véhicules autonomes doivent disposer d'un système de capteurs assurant l'équivalent de la vision du chauffeur. Les capteurs, tout comme nos yeux, sont sensibles à l'éblouissement, à l'obscurité, aux impacts et aux intempéries, à quoi s'ajoutent les salissures, les pannes, le vieillissement et autres sources de dysfonctionnement. Ils doivent également être à l'abri des manipulations malveillantes.

En collaboration avec différents partenaires – l'Office fédéral des routes (OFROU), le Swiss Competence Center for Energy Research (SCCER) Mobility, Innosuisse, l'EPF de Zurich, l'Institut fédéral de métrologie (METAS), le Touring

Club de Suisse (TCS) et les sociétés AXA Assurances, Orthotec et Embotech (startup de l'EPFZ) – des chercheurs de l'Empa ont effectué avec succès leurs premiers essais sur le terrain – en l'occurrence le campus de l'Empa – avec une Lexus. La voiture était équipée d'un radar, d'un lidar, d'un GPS et d'une caméra numérique, ainsi que d'un système de saisie des données permettant d'étudier le comportement réel de l'ensemble des capteurs dans des conditions présentant entre autres de fortes fluctuations. L'interprétation de l'important flux de données y était assurée par de nouvelles méthodes performantes d'analyse numérique. Objectif des chercheurs: développer par un travail systématique sur le terrain les capteurs dont les voitures autonomes ont besoin. //

La recherche en énergie: les solutions réalistes doivent s'appuyer sur des faits

Dr. Peter Richner, peter.richner@empa.ch
Urs Elber, urs.elber@empa.ch

Le changement climatique est maintenant patent et la population prend conscience de la nécessité de réorganiser notre système énergétique. Il s'agit de repenser fondamentalement un système qui s'est développé et consolidé sur des décennies. La tâche est difficile, à quoi s'ajoute que des informations et opinions en partie contradictoires circulent dans bien des milieux, compliquant les prises de décision.

Il est du devoir de la recherche de dégager des faits. Mais les faits doivent être mis en forme. S'il est nécessaire de développer de nouveaux matériaux, de nouvelles technologies et de nouvelles méthodes, il est également nécessaire de soumettre le système énergétique à une analyse systémique. Les connaissances acquises, fondées sur des faits, doivent être mises à disposition des mondes scientifique, politique et économique et, également, du grand public, par tous les canaux permettant d'atteindre et d'impliquer l'ensemble des intéressés.

Echange de connaissances entre la recherche et l'économie

En 2019, l'Empa a beaucoup œuvré dans ce sens. D'innombrables conférences, présentations, ateliers et cours, tout

comme la participation à de nombreuses manifestations extérieures ont permis à ses chercheurs de présenter de vive voix les résultats et les conséquences des travaux en cours, contribuant utilement au transfert de ces connaissances bien au-delà du domaine des écoles polytechniques. Signalons en particulier la conférence de l'Empa «Energie et décarbonation» du 3 juillet 2019. Diverses présentations sur l'économie et la recherche ainsi que des ateliers ont permis de transférer à l'économie des connaissances issues de la recherche. En retour, les contributions de l'économie permettent à l'Empa d'orienter la remarquable créativité de ses chercheuses et chercheurs sur des travaux utiles à la société.

Quelles seront les conséquences du remplacement des vecteurs énergétiques fossiles par des technologies électriques? L'Empa l'a montré dans une analyse systémique publiée en 2019 sur les effets de l'électrification croissante du chauffage et de la mobilité. L'étude de données réelles montre que, à lui seul, le simple passage des énergies fossiles au courant électrique ne réduit que peu les émissions de CO₂. Il apparaît d'autre part que la généralisation du photovoltaïque nécessiterait l'importation et l'exportation d'importantes quantités de courant. L'étude posait

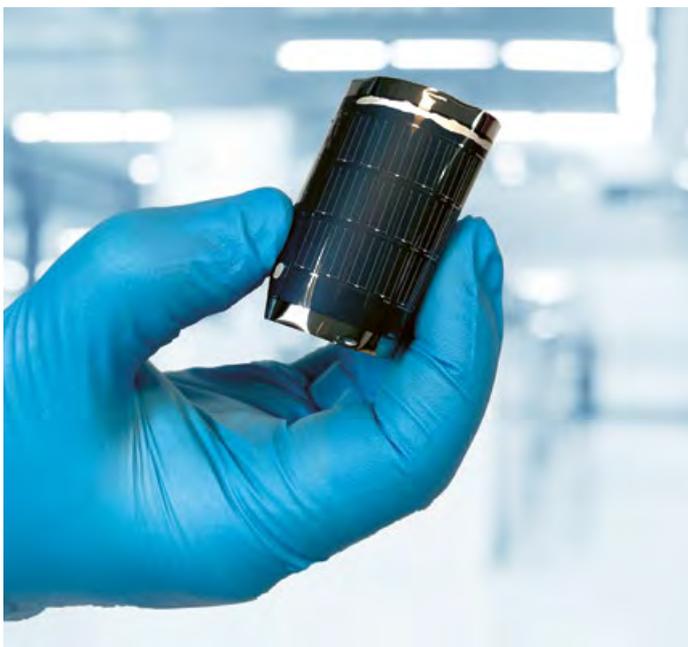


1



1
Une étude récemment publiée par l'Empa pose pour hypothèse que 50% des surfaces de toitures exploitables en Suisse seront équipées en photovoltaïque.

2
Cellule d'une efficacité sans précédent. Le laboratoire des «Films minces et photovoltaïque» de l'Empa a battu son propre record.



2

comme hypothèse que la moitié de la surface exploitable de toitures du pays serait équipée de capteurs solaires. Une prochaine étude doit montrer comment l'augmentation de la consommation et les fluctuations de la production pourraient être équilibrées par un réseau d'approvisionnement et de stockage intelligent et quelles options cela nous ouvre.

Records du monde dans nos laboratoires

Une chose est certaine: sans énergie solaire, nous ne nous en tirerons pas! Le développement des technologies de captage de cette énergie est donc primordial. Une équipe de l'Empa s'est (de nouveau) distinguée dans ce domaine en battant son propre record de conversion solaire-électrique. Les chercheurs ont amélioré de 0,4% le rendement de leurs cellules photovoltaïques flexibles dites CIGS, le portant à 20,8%. La technologie CIGS – au diséléniure de cuivre indium gallium – permet de réaliser des cellules photovoltaïques extrêmement minces sur films polymériques. Légères, peu chères et efficaces, ces cellules devraient jouer un rôle non négligeable dans notre avenir solaire. //

Dans le domaine de la santé et du maintien de nos performances physiques, la société compte beaucoup sur le développement de nouveaux matériaux et systèmes. Les avancées en la matière – qui présupposent une parfaite maîtrise de la science des matériaux et des techniques associées – débouchent sur de nombreuses applications tant dans les soins que sur ou dans le corps humain lui-même. Les nouvelles approches de la médecine de précision jouent un rôle croissant dans la clinique pratique et orientent le développement du matériel médical. Les chercheurs du domaine «Santé et performances» de l'Empa et leurs partenaires cliniques sont à la pointe de la recherche sur les nouveaux matériaux et systèmes pouvant protéger et conforter le corps humain dans les situations les plus diverses. Cela signifie qu'ils comprennent et contrôlent les interactions entre matériaux et systèmes biologiques au niveau des molécules, des bactéries, des cellules et des tissus humains – du nano au macro. Ils disposent pour cela d'instruments d'analyse de pointe développés par eux-mêmes.

Ces travaux nécessitent la prise en compte de systèmes complets allant des molécules isolées aux grandes fonctions organiques. L'intégration des approches

est rendue possible par le partage des méthodologies et des savoir-faire dans la synthèse des matériaux, leur usinage et leur transformation, la bioanalyse, la modélisation et la simulation numérique, la bio-informatique, les techniques d'imagerie et les sciences de la vie.

«Wearables»: des capteurs diagnostiques à enfiler

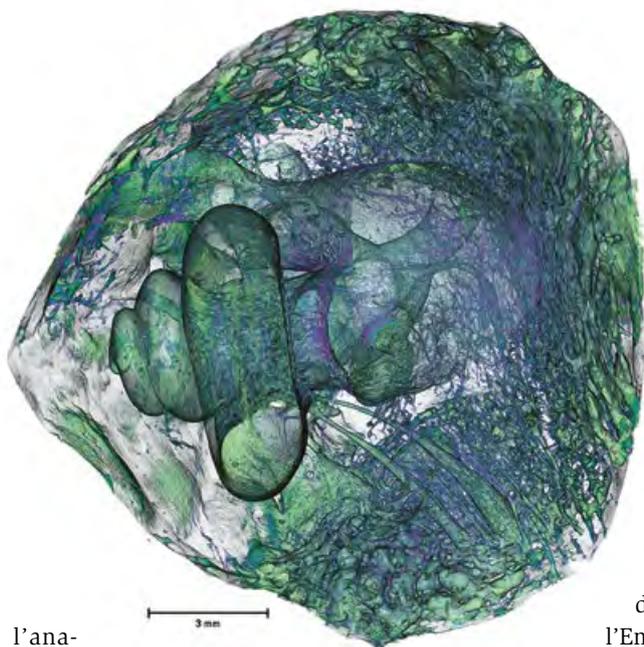
Suivre l'état médical d'un patient sur une longue durée permet la détection précoce, voire l'anticipation de problèmes de santé. Encore faut-il que les capteurs utilisés soient assez discrets, précis, faciles d'emploi et confortables pour que les patients les acceptent. Les capteurs «embarqués» sont donc soumis à des exigences cliniques très sévères. En collaboration avec des cliniciens et des médecins, l'Empa développe des systèmes portables de suivi non invasif sur longue durée de différentes fonctions physiologiques. Ainsi, de concert avec l'hôpital de Saint-Gall, des chercheurs de l'Empa ont testé un capteur textile d'ECG sur 240 patients. Constat: les patients peuvent aussi porter cette ceinture textile la nuit chez eux pour diagnostiquer d'éventuelles apnées du sommeil. Plusieurs partenaires industriels étudient actuellement la commercialisation de produits de ce type, dont la

spin-off «Nahtlos» de l'Empa. Au bénéfice d'une aide financière de la plateforme de soutien à l'innovation Startfeld, cette jeune entreprise prépare le lancement d'un système de capteur d'ECG pour le diagnostic des problèmes cardiaques.

L'Empa développe par ailleurs des capteurs de différentes micro- et macro-architectures pour le suivi de divers paramètres physiologiques. Citons les capteurs potentiométriques et leur électronique spécifique de reconnaissance précoce des prééclampsies chez les femmes enceintes. La technique a été reprise par MOMM Diagnostics – autre spin-off de l'Empa – qui prépare un outil de diagnostic destiné aux points de services, avec pour objectif une amélioration du suivi des risques liés à la grossesse évitant les hospitalisations superflues.

Personnaliser les traitements

Soucieux d'offrir aux patients des traitements spécifiques et personnalisés, les chercheurs de l'Empa travaillent au développement de tout nouveaux matériaux et de nouvelles manières de les mettre en œuvre. Ils combinent pour cela leur connaissance des sciences des matériaux avec les dernières tendances de la recherche biomédicale – telles que les approches «omiques», les capteurs et



La capsule otique héberge la cochlée, l'oreille interne humaine, qui transforme les vibrations mécaniques sonores en signaux électriques, lesquels sont envoyés au cerveau par le nerf de l'audition et de l'équilibre. Cette vue anatomique est une reconstruction 3D de coupes microtomographiques d'une résolution de 12 μm .

l'analyse des images – afin de s'assurer une compréhension globale des interactions entre cellules, tissus, voire le corps humain entier, et les nouveaux matériaux employés en biomédecine. Dans le secteur de la nanomédecine, l'effort porte actuellement sur le nettoyage magnétique théranostique du sang lors d'empoisonnements sanguins et sur une colle pour tissus à base de nanoparticules destinée au traitement des plaies compliquées.

Les interactions entre matériaux et processus biologiques

Autre centre d'intérêt de la recherche à l'Empa: les matériaux favorisant la ré-

génération des tissus après une blessure ou une maladie, et ceux qui préviennent la prolifération des bactéries sur les prothèses et le matériel médical. Les besoins en matériaux novateurs pour applications médicales sont énormes et l'Empa est très engagée dans cette voie. Mentionnons les matériaux servant à la régénération des os et des cartilages, les prothèses personnalisées réalisées par impression 3D ou autres nouveaux procédés de fabrication, les matériaux d'intégration ou de régénération des parties molles et les matériaux qui optimisent et accélèrent la guérison des plaies. Les équipes interdisciplinaires de l'Empa peuvent compter sur un solide savoir-faire dans tous les domaines de la science des matériaux. Combiné avec leur expertise biologique, ce savoir-faire leur permet de comprendre les réactions en jeu aux interfaces matériaux/systèmes vivants. Les interfaces sont en effet d'une importance cruciale dans le succès de la mise en contact de

matériaux médicaux avec les fluides, les cellules ou les tissus humains.

Suivi du résultat d'une thérapie

La combinaison de méthodes d'analyse et d'imagerie avec les plus récentes techniques de l'informatique et de la communication permet la collecte et l'analyse d'énormes quantités de données concernant notre santé. Les soins médicaux peuvent beaucoup en profiter, qu'il s'agisse du choix d'une thérapie ou du traitement et du suivi d'une maladie. L'Empa développe dans cette perspective des procédés d'analyse et d'imagerie multi-échelles applicables au diagnostic et au suivi des patients dans la réalité du travail clinique. En médecine reproductive, par exemple, on est maintenant en mesure d'étudier la nanostructure des dépôts minéraux dans le placenta avec une résolution inédite permettant d'identifier chez les femmes enceintes des marqueurs de risques de complications repérables grâce aux «empreintes digitales» minérales atypiques de leur placenta. //

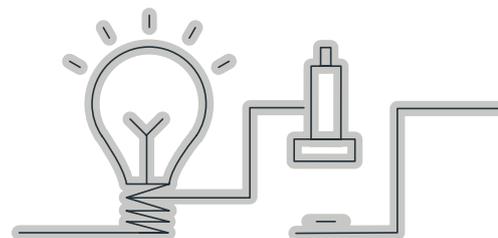


De la recherche à l'innovation

La recherche de haut niveau et la proximité de l'industrie – tels sont les deux «pôles» entre lesquels l'Empa se meut. Grâce à des formes de collaboration individuelles et efficaces et à une offre de services étendue, l'Empa est en mesure d'offrir des solutions sur mesure à ses partenaires. Qu'il s'agisse du développement de nouveaux produits et applications, de l'optimisation de technologies, de la résolution de problèmes concrets ou encore de la remise au niveau des connaissances les plus récentes de personnel technique, l'Empa est la bonne adresse avec ses près de 600 personnes scientifiques hautement qualifiées et son infrastructure technique de haut niveau.

Matérialiser l'innovation

Marlen Müller, marlen.mueller@empa.ch



Dans nos économies et nos sociétés en perpétuel changement, la capacité d'innovation et la flexibilité sont deux facteurs clés du succès des PME et des grandes entreprises. L'Empa aide ses partenaires industriels à développer leurs projets innovants et durables, qu'il s'agisse de matériaux ou de systèmes. L'objectif est de maîtriser les mutations techniques en cours et de s'assurer une bonne place dans la compétition internationale. Le transfert technologique facilite et accélère le lancement sur le marché des résultats acquis en laboratoire.

En 2019, l'Empa a lancé environ 200 nouveaux projets de recherche en partenariat avec l'industrie. Elle a par ailleurs déposé douze demandes de brevet et conclu douze contrats de licence et de transfert de technologie avec des partenaires commerciaux.

Isoler avec du papier recyclé

Dans le cadre d'un projet soutenu par Innosuisse, des chercheurs de l'Empa ont mis au point en collaboration avec Isofloc AG un matériau isolant en papier recyclé qui s'intègre bien aux éléments préfabriqués de bois. Ces éléments sont utilisés par exemple dans les immeubles en bois de plusieurs étages, qu'ils protègent efficacement contre le feu. L'iso-

lant ne contient que peu de chimie, mais d'autant plus de savoir-faire technique. Il se présente sous forme de ouate de cellulose inoffensive pour les humains, les animaux ou l'environnement. Les fibres de papier recyclé sont soufflées automatiquement dans la cavité des éléments jusqu'à remplissage. Isofloc pense que ce nouvel isolant et les soufflantes nécessaires à son utilisation seront disponibles conjointement sur le marché dans une année. Cela permettra de transformer des montagnes de papier en un isolant de qualité peu gourmand en énergies fossiles tant pour sa production que pour sa mise en œuvre. Ce sera le seul isolant en vrac anti-feu produit industriellement.

Un bois tropical bien de chez nous

Comme de nombreux autres bois tropicaux, l'ébène est une espèce menacée dont l'utilisation, par exemple dans la fabrication d'instruments de musique, est problématique. En effet, en dépit des règlements commerciaux sévères, ses stocks sont en chute libre. Une start-up créée par deux chercheurs de l'Empa et de l'EPF de Zurich, Swiss Wood Solutions (SWS), a mis au point un procédé permettant de modifier du bois suisse pour qu'il présente les mêmes propriétés que



2



1
Fait de papier recyclé lié par un produit environnementalement neutre, ce nouvel isolant résiste au feu.

2
Guitare de jazz avec touche (fingerboard), repose-main et chevalet en érable Sonowood, construite par Mauro Bodio Guitars. Image: bodio-guitars.com

certaines essences tropicales menacées telles que l'ébène ou la grenadille. Le procédé est appliqué à de l'érable sycomore suisse provenant d'exploitations forestières durables, trempé dans une solution aqueuse, séché puis comprimé à chaud. Il acquière ainsi les caractéristiques indispensables à la fabrication d'instruments de musique. Déjà utilisé avec succès pour des violons, des guitares et des clarinettes, il sert également à la fabrication d'épées d'entraînement au Budo, un art martial japonais. Il s'agit maintenant d'augmenter la production pilote. En novembre 2019, SWS a mobilisé une presse industrielle de l'Empa. Dans le cadre d'un projet Innosuisse, SWS et l'Empa optimisent actuellement le procédé de production du bois modifié en tablant sur les réseaux neuromimétiques et l'apprentissage automatique.

High Performance Sleepwear

Dans le cadre d'un projet Innosuisse, en collaboration avec la Haute Ecole de Lucerne et la start-up Dagsmejan, l'Empa s'est penchée sur la question des tissus de pyjama. Objectif: en augmenter l'agrément et améliorer la qualité du sommeil. Le travail a surtout porté sur la régulation thermique du corps humain durant le sommeil. La nuit, notre température

baisse d'environ 1°C. Lorsque des facteurs externes gênent ce changement, la qualité du sommeil s'en ressent, ce qui se répercute sur l'allant physique et mental du lendemain. Les chercheurs ont identifié les meilleures combinaisons de fils, sélectionné les meilleurs tissus et techniques de tricotage, puis conçu plusieurs pyjamas répondant aux préférences des clients potentiels («au chaud», «au frais»). En 2018, Dagsmejan a lancé la vente en ligne de ses nouvelles tenues de nuit, avec succès. La société dispose d'un vaste réseau de distribution et compte des clients dans plus de 40 pays. //

Commercialisation réussie de nouvelles technologies

Mario Jenni, mario.jenni@empa.ch
Peter Frischknecht, peter.frischknecht@empa.ch

L'an dernier, les incubateurs d'entreprises de l'Empa ont accompagné 50 start-up employant 334 personnes de leur projet commercial initial jusque sur le marché.

Des cerfs-volants drones pour engranger l'énergie éolienne

Au début de l'année 2019, 14 start-up étaient logées au Business Incubator glaTec, dont la spin-off de l'Empa, «MIRO Analytical Technologies», intégrée au programme d'incubation d'entreprises de l'Agence spatiale européenne (ESO) et nommée au Prix des pionniers de la Banque cantonale zurichoise (ZKB).

Le jeune projet «Symphony» a passé avec succès les deux premiers tours de financement de Venture Kick, principal programme de soutien aux start-up de Suisse qui, sur trois sessions, leur attribue jusqu'à CHF 150 000.

«Swiss Wood Solutions», une spin-off de l'Empa et de l'EPF de Zurich, a mis en service au glaTec une nouvelle presse à bois de 30 tonnes qui transformera du bois de nos forêts en bois de haute densité destiné à la fabrication d'instruments de musique, un matériau dont on a grand besoin pour remplacer les bois tropicaux menacés de disparition.

On peut tirer parti de la force du vent autrement et plus élégamment que par des éoliennes. Les cerfs-volant drones de la spin-off «TwingTec» de l'Empa vont «cueillir» cette énergie à grande hauteur. Le premier vol automatique – démarrage, production d'énergie en vol et retour à sa base – a été effectué l'automne dernier.

Lancement réussi d'entreprises

En 2019, l'incubateur d'entreprises Startfeld de Saint-Gall a tenu sa millième consultation initiale pour créateurs d'entreprise. L'incubateur commun de l'Empa, de l'Université de Saint-Gall et de la Haute Ecole spécialisée de Saint-Gall a été créé en 2010. En tout, 100 projets se sont vu accorder un soutien à l'issue de ces séances. Startfeld a investi quelque 4,1 millions de francs dans ces start-up à titre de financement initial, et le secteur privé plus de 55 millions de francs. Plus de 650 places de travail ont ainsi été créées.

La spin-off de l'Empa «Nahtlos» a été retenue par le programme national Kickstart-Accelerator en catégorie Santé. MycoSolutions, autre spin-off de l'Empa, est arrivée en finale du Startfeld Diamant 2019.

Le partenariat Empa – Hôpital cantonal de Saint-Gall (KSSG) connaît lui

aussi un développement très réjouissant. En mai 2019, Startfeld a accordé un financement à la spin-off du KSSG «Stromal Therapeutics AG». La jeune entreprise développe des médicaments immunothérapeutiques pour le traitement des maladies tumorales et des inflammations chroniques par manipulation des cellules stromales. //





1

1
Ceinture en textile agissant comme capteur ECG, développée par l'Empa et l'Hôpital de Saint-Gall. Testé et validé sur 240 patients, le système peut être aisément utilisé à domicile pour poser un diagnostic d'apnée du sommeil.

2
Olivier Kläusler, CEO de «Swiss Wood Solutions», inaugure la presse de 30 tonnes qui transformera du bois suisse en bois de haute densité appelé à remplacer dans la fabrication d'instruments de musique les bois tropicaux menacés de disparition. La violoniste Anastasiya Petryshak (à gauche) joue sur un violon avec une touche et un cordier en épicea du Sonowood.



L'Empa Zukunftsfonds – Une recherche qui voit loin

Gabriele Dobenecker, gabriele.dobenecker@empa.ch

Le Fonds Avenir de l'Empa (Empa Zukunftsfonds) permet de soutenir des projets de recherche et des talents prometteurs difficilement finançables par d'autres voies, il permet d'accompagner des idées novatrices susceptibles de contribuer utilement au développement durable. Les moyens alloués par le Fonds Avenir proviennent de donations d'intérêt général accordées par des entreprises, des fondations et des personnes privées. Y joignant ses propres moyens, l'Empa a pu, grâce à lui, lancer de nombreux projets de recherche.

Patrimoine artistique et culturel: coller le bois avec du bois

Lorsqu'on casse quelque chose, on le recolle. Dans la vie quotidienne, c'est presque automatique puisqu'il existe des colles pour tous les matériaux. Dans le domaine de l'art ou des objets historiques, c'est plus délicat. De très nombreux objets de bois – sculptures, tableaux et autels conservés dans des églises ou des châteaux du monde entier – présentent de par leur ancienneté et leurs conditions d'entreposage des fissures ou des cassures qui nécessitent une restauration impliquant l'emploi d'une colle.

Coller le bois avec du bois semble à cet égard une idée judicieuse. Les plantes

et les arbres reposent tous sur des structures cellulodiques, sur les forces chimiques solidarifiant fibres et fibrilles. Le projet a pour objectif de développer, optimiser et cibler l'emploi de telles structures cellulodiques en suspension aqueuse pour coller le bois. Il s'agit d'un travail interdisciplinaire regroupant des experts en restauration d'art de la Haute Ecole des arts de Berne et des collaborateurs de l'Empa. Lancé en 2019, il bénéficie du soutien de la Fondation Gebert Rûf.

Amortissement sur mesure des vibrations et du bruit

Le projet de recherche semblait lourd de risques: trouver des matériaux résistants à de fortes charges tout en amortissant de par leur structure interne les vibrations mécaniques et sonores. Sans caoutchouc, ressorts ou amortisseur. Le Fonds Avenir de l'Empa en a assuré le financement initial.

En 2016, à l'issue de trois années de recherches, la preuve était là: de tels matériaux sont réalisables. En se basant sur des structures expérimentales en alliage d'aluminium obtenues par impression 3D, les chercheurs ont su raffiner leurs méthodes d'amortissement du son et des vibrations. En 2019, ils ont réussi à doter ces cristaux de nouvelles pro-

priétés en y ajoutant de petits disques pouvant pivoter, convertissant ainsi les oscillations parallèles à l'axe des cristaux en mouvements de torsion.

Un premier modèle de ce principe a été réalisé en laboratoire. Il illustre à grande échelle le fonctionnement des «cristaux phoniques». Il s'agit d'une fenêtre de deux couches de plexiglas tenant en sandwich des disques en disposition syndiotactique. La taille des disques est adaptée aux fréquences de la parole humaine. Pourquoi? En filtrant certaines fréquences, on rend la parole incompréhensible, notre cerveau ne sachant pas interpréter les informations ainsi mutilées. Les premiers tests au laboratoire d'acoustique de l'Empa ont mis en évidence tout le potentiel de cette idée: on voit clairement une personne parler, on entend le son étouffé de sa voix, mais on ne peut saisir le moindre mot. //

1
Modèle fonctionnel de cristal chiral phonique utilisé pour mesurer les oscillations. L'une de ses applications est la «fenêtre cryptographique» qui déforme la voix de manière purement mécanique, sans électronique ni électricité.

2
Planche de tilleul pyrogravée fendue de part en part dans le sens des fibres (droite); fragment, artiste inconnu, date probablement du 19^e siècle, actuellement à la Haute Ecole des arts de Berne. Dimensions: 30 × 30 cm.
Image: Karolina Soppa



2

Bien des projets de recherche sont par nature internationaux. Y travaillent en général des équipes de différents pays et différentes spécialisations dans une collaboration interdisciplinaire. Le savant solitaire poursuivant seul en son laboratoire l'idée géniale qui révolutionnera la science est, de nos jours, l'exception. C'est pourquoi l'Empa entretient un réseau de partenariats couvrant pratiquement la terre entière, avec des chercheurs dans près de 100 pays.

Les grands projets et consortiums soutenus par l'UE sont d'un intérêt tout particulier pour l'Empa. L'année dernière, ses chercheuses et chercheurs ont participé à plus de 70 projets de l'UE. Tout récemment, le projet «SeNSE» a reçu son coup d'envoi. Objectif: développer les batteries lithium-ions de la prochaine génération. Il est dirigé par des chercheurs de l'Empa. L'Empa est par ailleurs partenaire du consortium «SUNRISE» – regroupant 20 instituts du monde de la recherche et de l'industrie de 13 pays européens – qui vise à développer des alternatives durables aux carburants fossiles et produits de base de l'industrie chimique dont la production est trop énergivore, pour les remplacer par des produits dérivés de matières premières abondantes en tablant uniquement sur l'énergie solaire. En dé-

but d'année 2019, SUNRISE fut l'un des six projets seulement retenus pour poser en douze mois les bases d'un nouveau programme-cadre européen de recherche semblable aux précédents projets phares.

Le travail en réseau paneuropéen est également une réalité pour la plateforme d'innovation NEST (voir en page 24). En septembre dernier, en compagnie de 19 autres projets, NEST a adhéré au «European Network of Living Labs» qui compte plus de 150 membres, à Thessalonique, à l'occasion du «OpenLivingLab Days».

Partenariats institutionnels

En 2019, l'Empa a également poursuivi l'extension de son réseau et le renforcement de ses précédents contacts sur le plan bilatéral. Au mois de juillet, dans le cadre de l'Europe-Korea Conference on Science and Technology 2019 de Vienne, l'institut a signé un protocole d'accord avec le Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) prévoyant le lancement de projets communs de recherche en domotique et dans le domaine de l'usage durable de l'énergie et des ressources naturelles. Lors d'un premier atelier organisé pendant la conférence, des chercheurs des deux institutions ont déjà développé quelques idées de projets.

Au mois d'octobre, Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa, était l'invité de l'annuelle «NIMS Week» de notre «institut frère» japonais, le National Institute for Materials Science (NIMS), à Tsukuba. La conférence a servi de cadre au symposium de célébration des 20 ans du journal en libre accès «Science and Technology of Advanced Materials» (STAM) que l'Empa copublie avec le NIMS depuis 2014.

Une foule internationale de visiteurs

Inversement, de nombreux groupes de visiteurs étrangers se sont rendus sur l'un des trois sites de l'Empa. En mai, une délégation Economie, culture et créativité du land allemand de Hesse accompagnait son ministre de l'économie, Tarek Al-Wazir, hôte du NEST à Dübendorf où Peter Richner, vice-directeur de l'Empa, présenta les travaux en cours sur la réduction de la consommation de ressources dans le bâtiment.

En août, un groupe de délégués du géant chinois de l'électronique et de la téléphonie portable Huawei s'est entretenu avec Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa, sur les possibilités de coopération dans la recherche sur les capteurs, et de création d'un centre de recherche Huawei dans la région zurichoise. L'Empa a également reçu des groupes de visiteurs

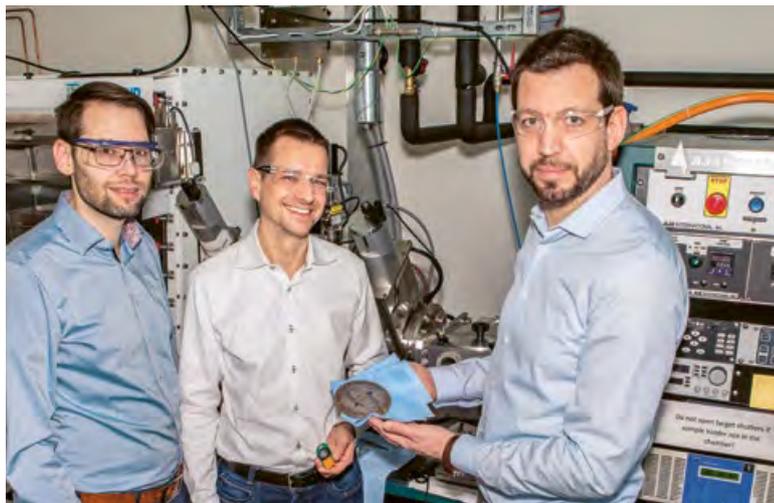
1

Le projet de recherche de l'UE «SeNSE» est coordonné par Ruben-Simon Kühnel, Stephan Fahlbusch et Corsin Battaglia (à droite). Battaglia dirige le laboratoire «Materials for Energy Conversion» de l'Empa.

2

Tanja Zimmermann, membre de la direction de l'Empa, et Seung Heon Han, président du KICT, présentent le protocole d'accord, entourés de membres des deux institutions. Image: KICT

d'Italie, en particulier d'entreprises high-tech et de start-up calabraises dans le cadre de l'initiative «Calabria Valley» – ainsi que du Tyrol du Sud. //



1



2

La recherche (de qualité) et ses résultats ainsi que les innovations technologiques doivent faire l'objet d'une large communication. C'est l'unique moyen d'assurer le transfert du savoir et des techniques des laboratoires à la société, au public et au monde politique. Et seuls des échanges réels et un dialogue serré avec les chercheurs qui bénéficient de subventions publiques permettent en dernière analyse à la société de s'assurer que les moyens mis à disposition par la Confédération sont judicieusement employés. Ces échanges sont tout particulièrement vitaux pour un institut de recherche tel que l'Empa dans la mesure où sa mission est de contribuer concrètement à répondre à certains défis dans le domaine, par exemple, de l'énergie et de la santé.

Les plateformes de démonstration attirent le public

Il est heureux de constater que l'intérêt que l'Empa suscite auprès de ses partenaires – au sens large du terme – reste soutenu. L'année dernière, plus de 15 000 personnes y ont été accueillies, soit pour une visite guidée des laboratoires, soit lors d'une des nombreuses manifestations organisées par l'Académie de l'Empa, par le NEST ou d'autres projets phares (voir en

page 24 et ss.). Outre les délégations étrangères de haut niveau (voir en page 52), de nombreuses institutions, entreprises et associations suisses ont été reçues. Citons l'industrie textile, une délégation de l'armée suisse, les femmes PLR, des membres de la section suisse de l'Association des ingénieurs allemands et, pour inaugurer l'unité «DFAB HOUSE» du NEST, le Conseiller fédéral Guy Parmelin.

Empa «on the road»

L'Empa prend régulièrement la route pour participer à des discussions sur des sujets tels que l'approvisionnement durable en énergie, les nouveaux modèles de mobilité ou les nouveaux modes de construction économes en ressources. L'Empa était ainsi présente à l'assemblée annuelle des garagistes suisses, à l'assemblée générale de l'industrie suisse du gaz (ASIG) et à Swissbau, qui a attiré à Bâle plus de 100 000 professionnels de la construction et de l'immobilier. Dans le cadre du «Swissbau Focus», l'Empa y a organisé avec divers partenaires plusieurs manifestations bien fréquentées sur des questions telles que la construction et le recyclage, l'utilisation des drones dans l'entretien des bâtiments et la commande intelligente des flux d'énergie dans les quartiers de demain.

Par ailleurs, à l'occasion du World Economic Forum (WEF) de Davos, Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa, et son vice-directeur Peter Richner ont débattu avec une soixantaine de représentants et représentantes de la politique et de l'économie suisse de l'utilité du réseau d'alumni du Domaine des EPF, en particulier lors de la création de spin-off. Toujours à Davos, l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a su captiver ses invités, parmi lesquels le Conseiller fédéral Parmelin, la secrétaire d'Etat à la formation et la recherche Martina Hirayama et le nouveau président du Conseil des EPF Michael Hengartner.

Forte présence médiatique

L'attention soutenue que les médias portent à l'Empa témoigne de l'intérêt pour la société des recherches qui y sont poursuivies. En 2019, les médias ont publié 7500 articles en 34 langues sur les travaux de l'institut, dont 1750 dans la presse et plus de 230 à la radio et à la télévision. Ces chiffres, en forte croissance, marquent un nouveau record. //



1

1
Le Conseiller fédéral Guy Parmelin inaugure la nouvelle unité de NEST, la Unit «DFAB HOUSE».



2

2
L'Empa à Swissbau: Enrico Marchesi présente le sujet «Construction et économie circulaire».

3
Peter Richner, vice-directeur de l'Empa, présente le projet «Surveiller les structures» lors du WEF de Davos.



3

De belles carrières féminines à l'Empa

En 2019, sur la trentaine de distinctions ou nominations au sein de l'Empa, 15 sont allées à des femmes, soit une moitié. Ce chiffre est bien supérieur à leur représentation dans les effectifs qui est de 30% – en augmentation de près de 1% en 2019. On voit que les femmes engagées à l'Empa sont particulièrement motivées et obtiennent d'excellents résultats. Au niveau de l'encadrement, leur représentation dépasse actuellement 17%.

Egalité salariale

Ces dernières années, le débat concernant l'égalité salariale a également porté dans le secteur public. La Confédération a organisé plusieurs réunions et manifestations à ce sujet. En 2016, le Conseiller fédéral Alain Berset a proposé une charte sur l'égalité salariale dans le secteur public signée à ce jour par 16 cantons et 80 communes. Depuis peu, les entreprises proches de la Confédération, des cantons et des communes peuvent également y adhérer. L'Empa s'y est donc ralliée avec d'autres institutions du Domaine des EPF le 28 novembre 2019, en présence du Conseiller fédéral Alain Berset et d'autres responsables politiques fédéraux, cantonaux et communaux.

Soutien aux jeunes chercheuses

Le programme d'engagement de femmes postdoc cofinancé par le programme européen COFOUND est à cet égard remarquable. La part des femmes parmi les candidatures retenues lors des deux derniers recrutements a atteint respectivement 35 et 40%.

En 2019, le programme «Fix the leaky pipeline» du Domaine des EPF a également permis de soutenir de nombreuses jeunes femmes dans leur carrière. Quatre participants de l'Empa ont eu la possibilité de joindre le programme de mentoring de FLP. Cinq participantes ont été admises au programme d'encouragement «CONNECT» du Domaine des EPF, ce qui leur a permis de tisser les premiers contacts d'une carrière prometteuse dans l'industrie.

Les jeunes initiés à la recherche, et une bonne garderie d'enfants

Le camp d'été d'une semaine initié voici déjà plusieurs années à Dübendorf pour les enfants des collaborateurs de l'Empa a été reconduit cette année. Par ailleurs, plus de 100 jeunes ont visité les sites de Dübendorf et Saint-Gall dans le cadre de la journée Futur en tous genres, dont un groupe de 30 jeunes filles participant

Dr. Marianne Senn, marianne.senn@empa.ch

au programmes nationaux «Filles et technique» et «Filles et informatique».

Quant au Pavillon des enfants de l'Empa et de l'Eawag, à Dübendorf, il a célébré cet été ses 25 ans. Il abrite la garderie des deux instituts. Plus de 30 bambins le fréquentent pendant que leurs parents poursuivent leurs recherches quelques pas plus loin. //



2



1

1

Le Conseiller fédéral Alain Berset avec les responsables du personnel du Domaine des EPF. De gauche à droite: Lukas Vonesch (EPF Zurich), Karsten Bugmann (PSI), Alain Berset, Beatrice Lamprecht (Eawag), Susanne Jost (WSL) et André Schmid (Empa).

2

Quelques impressions du 25^e anniversaire du Pavillon des enfants de l'Empa et de l'Eawag.



Réduire les émissions de gaz à effet de serre

Marcel Gauch, marcel.gauch@empa.ch

Dans le train de mesures pour le climat édicté en 2019, le Conseil fédéral exige que d'ici à 2030, l'administration fédérale réduise d'elle-même ses émissions de CO₂ d'au moins 50% par rapport à 2006. Cela signifie: chercher partout des gains d'efficacité, remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables et produire soi-même de l'énergie renouvelable. Le solde des émissions sera compensé par des certificats de réduction de CO₂. L'Empa s'engage donc avec l'ensemble de l'administration sur la voie de la neutralité climatique complète d'ici à 2030. L'Empa et l'Eawag, qui pratiquent une planification à long terme, ont été prévoyants: le site de Dübendorf, en particulier, a déjà beaucoup avancé sur la voie de la neutralité carbone, au point de pouvoir servir en Suisse d'exemple d'application de la stratégie énergétique 2050.

Bouclage de la conduite circulaire

Il arrive qu'on dispose de trop d'énergie en A et qu'on en manque en B. Pour équilibrer la situation, il faut assurer le lien entre l'offre et la demande. Dans le concept énergétique du site Empa-Eawag, le lien est assuré par une conduite circulaire qui a été bouclée en 2019. Les rejets thermiques des infrastructures de recherche et des installa-

tions de production de froid convergent maintenant sur un réseau à température moyenne de 38°C et peuvent être utilisés par d'autres processus. Cela permet en particulier de couvrir directement l'ensemble des besoins en chaleur et en froid des bâtiments rénovés ou en cours de réalisation. Les processus nécessitant des températures supérieures seront dorénavant alimentés par des pompes à chaleur qui fourniront l'électricité nécessaire pour porter le vecteur énergétique de sa température moyenne (38/28°C) à 65°C. La chaudière à gaz ne sera plus utilisée que pour couvrir les pointes de consommation.

Un grand pas dans le développement du photovoltaïque

La plus grande installation photovoltaïque de l'Empa a été mise en service sur la toiture du bâtiment des laboratoires. Une réalisation impressionnante qui n'est pas loin de tripler l'autoproduction d'énergie renouvelable du site et dont l'intégration architecturale au bâtiment est parfaitement réussie. Il est prévu d'étendre progressivement au cours des prochaines années la surface de photovoltaïque à 5000 m², ce qui contribuera à atteindre l'objectif du train de mesures climatiques de la Confédération. //



3

1

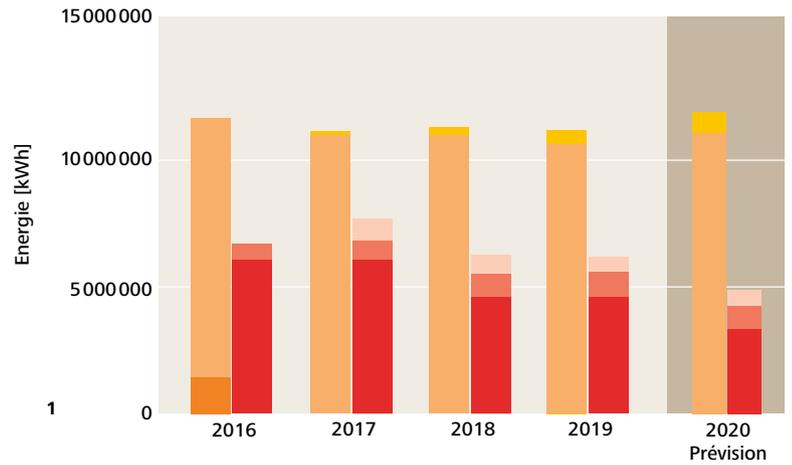
Evolution de la consommation énergétique de l'Empa. Les besoins en énergie thermique ont été maintenus au niveau de l'année précédente, alors que la consommation en électricité a légèrement baissé. A l'avenir, on prévoit un recours accru à de l'électricité produite par des pompes à chaleur, ainsi qu'à un sensible recul des besoins en énergie thermique, soit une importante réduction des émissions de CO₂.

2

Installation photovoltaïque sur le toit du bâtiment des laboratoires du site de Dübendorf.

3

Le réseau énergétique du site Empa-Eawag comprend de nombreux points de réception et de distribution d'énergie.



■ Courant réseau kWh/a
■ Courant renouvelable kWh/a
■ Courant photovoltaïque kWh/a
■ Chaleur fossile kWh/a
■ Chaleur biogaz kWh/a
■ Chauffage urbain kWh/a



2

$$\underline{\underline{R}} \underline{\underline{u}} ; u_i = R_{ij} u_j$$

Tensor:

$$= \underline{\underline{R}} \underline{\underline{\sigma}} \underline{\underline{R}}^T ;$$

$$= R_{im} \sigma_{mn} R_{jn}$$

dev. Tensor:

$$= R_{im} R_{jn} R_{kp} R_{eq} C_{mnpq}$$

Transformations are used to

SYMMETRIES in material

Symmetry with respect to plane x_2-x_3
Let x_1 as principal direction of anisotropy
i.e. with $R = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ "Mirror reflection"



Faits et chiffres

Les chercheurs aiment bien mesurer, y compris leurs propres performances: en 2019 les chercheuses, chercheurs, ingénieures et ingénieurs de l'Empa ont publié 718 articles dans des revues scientifiques et déposé 12 brevets pour leurs développements. A la fin de l'année, 105 projets financés par le Fonds national suisse (FNS), 89 projets soutenus par Innosuisse et 72 projets UE étaient en cours à l'Empa. Ses 27 spin-off occupaient avec les autres start-up de ses deux incubateurs d'entreprises au total 956 collaborateurs. Les comptes annuels de l'Empa, tout comme ceux de toutes les institutions du Domaine des EPF, sont établis sur le modèle de l'IPSAS (International Public Sector Accounting Standards). Ces comptes peuvent être consultés sous www.empa.ch/web/s604/annual-reports.

Stefan Hösli, stefan.hoesli@empa.ch

La gestion des risques a pour objectif d'identifier à temps les risques auxquels l'entreprise et ses collaborateurs sont exposés, de les analyser et de déterminer les mesures à prendre, puis de s'assurer de l'efficacité de ces mesures. Cette approche entretient une réelle culture de la sécurité garante de l'amélioration constante du niveau de sécurité de l'Empa.

Les bases de la gestion des risques

L'Empa règle sa politique de sécurité sur les directives de gestion des risques édictées par le Domaine des EPF et la Confédération. Cette politique rigoureuse procède d'une approche cohérente et systématique des nombreux risques encourus par et à l'Empa. La première priorité de l'ensemble des mesures est la protection de la vie et de l'intégrité corporelle de ses collaborateurs, de ses hôtes et de toute personne exposée à ses activités. Ses autres objectifs sont la protection de l'environnement, la protection du savoir-faire, de la propriété intellectuelle ainsi que de la réputation de l'établissement. L'accent porte avant tout sur la prévention.

La gestion des risques suit une procédure normalisée qui commence par l'inventaire périodique des risques. Chaque risque est évalué quant à sa probabilité d'occurrence et ses conséquences possibles, tout au moins sur les plans financier et de la réputation. Finalement, les mesures nécessaires à leur maîtrise sont précisées et mises en œuvre. Le processus de gestion des risques est périodiquement soumis au contrôle et, si nécessaire, adapté.

Extension de la gestion des risques

La sensibilité des collaboratrices et collaborateurs aux questions de sécurité s'est encore accrue cette dernière année. Cela se voit à l'augmentation du nombre de demandes touchant ces sujets. Citons le survol du campus et de ses bâtiments par des drones, la protection contre les explosions ou la sécurité des réactions chimiques et des installations à laser.

La formation des collaboratrices et collaborateurs est l'un des principaux axes de la prévention. Avec 450 à 500 nouveaux venus par année, cela représente une tâche gigantesque. L'offre a encore été enrichie et propose un large éventail de formations dans les domaines de la chimie, des nanotechnologies, de la sécurité dans l'utilisation des lasers, etc., et à tous les niveaux d'implication. Un nouveau calendrier des cours est publié au début de chaque année.

L'effort de professionnalisation de l'équipe d'intervention en cas d'incendie ou d'accident chimique a été maintenu. Il passe par des formations tactiques et professionnelles, mais avant tout par la multiplication des exercices avec les services de sauvetage des unités d'exploitation et les responsables de la chimie. L'analyse commune des situations permet de renforcer la collaboration entre équipes d'intervention et spécialistes. C'est dans cet esprit que plusieurs exercices très instructifs ont été organisés en 2019 sur les sites de Dübendorf et de Saint-Gall.

L'évolution de la société et des techniques s'accompagne d'une attention croissante portée à la sécurité informatique. Les collaborateurs et collaboratrices n'ont pas encore pris suffi-

samment conscience du fait qu'assurer cette sécurité dépasse largement la responsabilité des départements de la communication et de l'information et que leur manière de travailler et d'échanger les informations est ici déterminante. Certaines problématiques – par exemple celle du cloud – sont étudiées en groupe avec pour objectif d'établir des directives et d'entretenir la vigilance. La sécurité informatique est également abordée au niveau global du Domaine des EPF en vue d'instaurer une bonne collaboration entre ses institutions.

Le service de gestion des risques s'est trouvé face à un défi singulier à la réception des débris – pesant jusqu'à 50 tonnes – du pont Morandi qui s'est effondré au tournant de l'année 2018–2019. Il a fallu assurer dans les délais les plus brefs tant la sécurité physique des fragments du pont que la sécurité et l'intégrité des résultats, et ce sur une longue période. L'attention médiatique internationale suscitée par la catastrophe mettait également la réputation de l'établissement en jeu. Des mesures d'une ampleur sans précédent ont ainsi été prises par la gestion des risques en collaboration avec les spécialistes en sécurité informatique, puis appliquées en concertation avec les scientifiques des diverses disciplines impliquées. //

Evolution du personnel

(entre parenthèses: chiffres de 2018)

André Schmid, andre.schmid@empa.ch

A la fin 2019, L'Empa occupait 1033 (994) personnes, apprentis compris. Du fait des nombreuses possibilités de temps partiel, cela équivaut à 967,5 (928,6) postes à plein temps.

Le personnel scientifique s'élevait à 593 (558) personnes, dont 103 (108) senior scientists. 398 (396) personnes travaillaient dans le domaine technique et administratif. Avec 30,4 (28,9) pour-cent, la proportion des femmes représentait celle des diplômées des facultés des universités et des EPF représentées à l'Empa.

Le nombre d'étrangers s'élevait à 468 (436), soit 45,3 (43,9) pour-cent des effectifs totaux. 287 (281) de ces personnes provenaient de l'espace de l'Union européenne, soit 61,3 (64,4) pour-cent des collaborateurs étrangers. L'Empa, qui offre une large palette d'apprentissages, occupait 42 (40) apprentis. En 2019, tous les apprentis en fin de formation ont, cette fois encore, passé avec succès leurs examens de fin d'apprentissage. //

EFFECTIFS DU PERSONNEL AU 31 DÉCEMBRE 2019

	2018	2019
Personnel scientifique	558	593
Personnel technique/administratif	396	398
apprentis	40	42
Total	994	1033

Chiffres clés

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

	2018	2019
Publications ISI	700	718
Contributions à des conférences	1372	1250
Thèses de doctorat achevées	45	37
Doctorats en cours	191	208
Activités d'enseignement (en heures)	4423	4406
Prix/distinctions	81	81

PRÉSENCE DANS LES MÉDIAS

	2018	2019
Radio	72	169
TV	56	63
Presse écrite	1250	1730
Online	3850	5500
Total	5250	7462
Langues	32	34

ACADÉMIE EMPA

	2018	2019
Manifestations de l'Empa	96	92
Participants	5931	5070
Congrès scientifiques	17	10
Manifestations spécialisées pour l'industrie	24	20

TRANSFERT DE SAVOIR ET DE TECHNOLOGIE

	2018	2019
Nouveaux accords de recherche et développement	208	193
Contrats de valorisation actifs (licences/options/ventes)	68	66
Nouveaux contrats de valorisation	16	12
Nouveaux dépôts de brevet	14	12

SPIN-OFF & START-UP (tebo et glaTec)

	2018	2019
Entreprises total	94	104
dont spin-off	26	27
Collaborateurs total	784	956
dont collaborateurs spin-off	131	136

PROJETS EN COURS

	2018	2019
SNF	122	105
Innosuisse	95	89
Projets UE	69	72

Conseil des EPF

Le conseil des EPF dirige le Domaine des EPF qui comprend les deux Ecoles polytechniques fédérales et les quatre établissements de recherche PSI, WSL, Eawag et Empa.

PRÉSIDENT

Michael O. Hengartner Prof. Dr.

VICE-PRÉSIDENT

Beth Krasna Dipl. Ing. ETH, membre du conseil d'administration indépendante

MEMBRES

Kristin Becker van Slooten Dr., EPF Lausanne

Gian-Luca Bona Prof. Dr., Empa

Marc Bürki Dipl. El.-Ing., Swissquote

Beatrice Fasana Dipl. Ing. Lm, Sandro Vanini SA, Rivera

Susan Gasser Prof. Dr., Dr. h.c. mult., Université de Bâle

Barbara Haering Dr. Dr. h.c., Econcept AG, Zurich

Christiane Leister Leister AG, Kägiswil

Joël Mesot Prof. Dr., ETH Zurich

Martin Vetterli Prof. Dr., EPF Lausanne

Industrial Advisory Board

Commission formée de personnalités de premier plan qui conseillent la direction de l'Empa sur les questions fondamentales.

PRÉSIDENT

Henning Fuhrmann Dr., Siemens, Zug

MEMBRES

Kurt Baltensperger Dr., ETH-Rat, Zurich

Burkhard Böckem Dr., Hexagon, Heerbrugg

Robert Frigg Prof. Dr. mult. h.c., 41 medical, Bettlach

Andreas Hafner Dr., BASF, Bâle

Markus Hofer Dr., Bühler, Uzwil

Urs Mäder Dr., SATW, Zurich

Andreas Schreiner Dr., Novartis, Bâle

Commission de la Recherche

La commission de la recherche et la commission «International peer review committee» conseillent la direction de l'Empa sur la recherche, sur le choix des activités R&D et dans l'évaluation des projets R&D internes.

MEMBRES

Urs Dürig Dr., IBM, Rüschlikon

Rik Eggen Prof. Dr., Eawag, Dübendorf

Thomas Egli Prof. em. Dr., Feldmeilen

Marcus Textor Prof. Dr., ETH Zurich

Alexander Wokaun Prof. Dr., Endingen

Organigramme

Etat mai 2020

RESEARCH FOCUS AREAS

(Axes de recherche)

Matériaux nanostructurés

Dr. Pierangelo Gröning

Sustainable Built Environment

Dr. Tanja Zimmermann
Prof. Dr. Giovanni Terrasi

Santé et performances

Prof. Dr. Alex Dommann

Ressources naturelles et polluants

Dr. Brigitte Buchmann

Energie

Dr. Peter Richner
Dr. Björn Niesen

DIRECTION

Directeur général

Prof. Dr. Gian-Luca Bona

Suppléant

Dr. Peter Richner

Membres

Dr. Brigitte Buchmann, Prof. Dr. Alex Dommann, Dr. Pierangelo Gröning, Dr. Urs Leemann, Dr. Tanja Zimmermann

DÉPARTEMENTS

Matériaux modernes et surfaces

Dr. Pierangelo Gröning

Centre de microscopie électronique

Dr. Rolf Erni

LABORATOIRES

Technologie des assemblages et corrosion

Dr. Lars Jeurgens

Advanced Materials Processing

Prof. Dr. Patrik Hoffmann

nanotech@surfaces

Prof. Dr. Roman Fasel

Mécanique des matériaux et nanostructures

Dr. Johann Michler

Films minces et photovoltaïque

Prof. Dr. Ayodhya N. Tiwari

Surface Science and Coating Technologies

Dr. Lars Sommerhäuser a.i.

Polymères fonctionnels

Prof. Dr. Frank Nüesch

Science de l'ingénierie

Dr. Peter Richner

Center for Synergetic Structures

Dr. Cédric Galliot

Ingénierie des structures

Prof. Dr. Masoud Motavalli

Mechanical Systems Engineering

Prof. Dr. Giovanni Terrasi

Multiscale Studies in Building Physics

Dr. Ivan Fabrizio Lunati

Experimental Continuum Mechanics

Prof. Dr. Edoardo Mazza

Urban Energy Systems

Dr. Kristina Orehounig

Materials Meet Life

Prof. Dr. Alex Dommann

Center for X-ray Analytics

Prof. Dr. Antonia Neels

Magnetic and Functional Thin Films

Prof. Dr. Hans Josef Hug

Biomimetic Membranes and Textiles

Prof. Dr. René Rossi

Particles-Biology Interactions

Dr. Peter Wick

Biointerfaces

Prof. Dr. Katharina Maniura

Transport at Nanoscale Interfaces

Prof. Dr. Michel Calame

PLATEFORMES DE RECHERCHE ET DE TRANSFERT DE SAVOIR ET DE TECHNOLOGIE

NEST/dhub Reto Largo	move Dr. Brigitte Buchmann	ehub Philipp Heer	Coating Competence Center Dr. Lars Sommerhäuser	Académie Empa Claudia Gonzalez	Business Incubators glaTec Mario Jenni Startfeld Peter Frischknecht	International Research Cooperations Prof. Dr. Gian-Luca Bona
--------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------	---	--	--	--

Empa-Portal portal@empa.ch / Tél. +41 58 765 44 44 / www.empa.ch/empa-portal

Mobilité, énergie et environnement	Functional Materials	Corporate Services
Dr. Brigitte Buchmann	Dr. Tanja Zimmermann	Dr. Urs Leemann
	Materials and Technology Center of Robotics Dr. Mirko Kovac	Bibliothèque (Lib4RI) Dr. Lothar Nunnenmacher
		Fundraising / Entrepreneurship / Industry Relations Gabriele Dobenecker
Materials for Energy Conversion Dr. Corsin Battaglia	Céramiques hautes performances Prof. Dr. Thomas Graule	Service Informatiques Stephan Koch
Advanced Analytical Technologies PD Dr. Davide Bleiner	Cellulose & Wood Materials Dr. Gustav Nyström	Bureau d'étude / Atelier mécanique Stefan Hösli
Polluants atmosphériques / Techniques de l'environnement Dr. Lukas Emmenegger	Béton et Asphalte Prof. Dr. Pietro Lura	Finances / Controlling / Achats Heidi Leutwyler
Technologies de propulsion automobile Christian Bach	Building Energy Materials and Components Dr. Matthias Koebel	Communication Dr. Michael Hagmann
Materials for Renewable Energy Prof. Dr. Andreas Züttel (Antenne Sion)	Advanced Fibers Prof. Dr. Manfred Heuberger	Ressources humaines André Schmid
Technologie et société Dr. Patrick Wäger		Transfert de savoir et de technologie / Droit Marlen Müller
Acoustique / Contrôle de bruit Dr. Jean Marc Wunderli		Real Estate Management Hannes Pichler

Empa – The Place where Innovation Starts

Empa
www.empa.ch

CH-8600 Dübendorf
Überlandstrasse 129
Téléphone +41 58 765 11 11
Fax +41 58 765 11 22

CH-9014 Saint-Gall
Lerchenfeldstrasse 5
Téléphone +41 58 765 74 74
Fax +41 58 765 74 99

CH-3602 Thoune
Feuerwerkerstrasse 39
Téléphone +41 58 765 11 33
Fax +41 58 765 69 90



Empa

Materials Science and Technology