

Rapport annuel 2020



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: des chercheurs de l'Empa et de l'EPF de Zurich ont produit un matériau nanostructuré agissant comme un concentrateur lumineux de rayons solaires pouvant être appliqué sur des textiles. On pourrait ainsi produire du courant et, par exemple, charger son smartphone ou d'autres appareils.

Editeur: Empa; **Conception/Maquette/Graphique:** Empa; **Impression:** Neidhart+Schön AG, Zurich.
© Empa 2021 – ISSN 1660-2285 Rapport annuel Empa



Imprimé sur du papier recyclé à 100%



Un impact énorme – malgré le COVID

L'année dernière, rien, pour ainsi dire, ne s'est passé comme prévu et, de surcroît, presque tout a changé. Le COVID nous a immédiatement posé une série de défis puis contraints à rester sur le qui-vive. A l'Empa, nous avons rapidement compris qu'il s'agissait avant tout de protéger nos collaborateurs, et que c'était également la meilleure manière d'assurer notre travail. Tout fermer, tout arrêter sous la menace du virus SARS-CoV-2 n'était pas envisageable. En revanche, il était possible d'adopter sur le champ un plan de sécurité bien réfléchi et d'y former l'ensemble du personnel.

Le premier défi a été de répondre aux nombreuses interrogations que posait le masque, une mesure de protection qui demandait à être clarifiée. Puis le travail a démarré par le rapide développement et le transfert des méthodes de test, puis s'est logiquement poursuivi par notre collaboration avec nombre de partenaires industriels et la task force COVID-19. De nombreuses industries des MEM et de la chimie ont maintenu leurs activités liées à des projets européens et Innosuisse de même que leur collaboration directe avec l'Empa. Ainsi, en 2020, nous avons pu enregistrer un nouveau record de collaborations industrielles. Les publications scientifiques des chercheurs et chercheuses de l'Empa ont également atteint un nouveau sommet avec plus de 850 articles. Le «moteur d'innovation» qu'est l'Empa a réagi au quart de tour.

L'effort concerté que nous consacrons au travail scientifique fondé sur des données – qu'il s'agisse de comprendre la structure atomique des matériaux, d'apprentissage automatique ou de «jumeaux numériques» – nous a ouvert de nouveaux horizons. Plus de 20 pourcent de nos chercheurs et chercheuses travaillent selon ce modèle, suscitant un intérêt croissant de nos partenaires extérieurs.

L'année dernière, nous avons malheureusement dû renoncer à la Journée des portes ouvertes qui devait marquer notre 140 anniversaire. En revanche, nous avons pu boucler un projet caressé de longue date, un livre intitulé «Bien plus que des matériaux – Une brève histoire de l'Empa». Il relate notre mutation en institut de recherche de pointe et nous offre une halte de réflexion dans notre marche vers l'avenir.

Un avenir que nous avons étudié et défini dans un plan de développement portant sur les quatre prochaines années, établi en commun avec nos nombreux partenaires. Outre l'étude de technologies et matériaux durables et résilients centrés sur l'être humain, il prévoit le développement à Dübendorf d'un campus Empa au bilan net de CO₂ nul, projet phare de la transition énergétique et climatique. La première étape sera lancée cette année avec un nouveau bâtiment de laboratoires et multifonctionnel. Nous comptons ainsi donner son élan à la prochaine génération de chercheurs et chercheuses de l'Empa, pour le plus grand bien du pays.

Prof. Dr. Gian-Luca Bona directeur



Attribution de financements européens ERC à l'Empa: trois d'un coup

Deux chercheuses et un chercheur se sont vu décerner l'an dernier un ERC Grant du Conseil européen de la recherche. L'un des très convoités ERC Consolidator Grants est allé à Dorina Opris (à droite). D'environ 2 millions de francs, il va lui permettre de renforcer l'équipe qu'elle anime et qui travaille à de nouveaux polymères employés dans la conversion de l'énergie. Marianne Liebi et Bruno Schuler ont reçu chacun un des «ERC Starting Grants» attribués à de jeunes talents prometteurs pour la relève. Ce financement leur permettra de développer leur propre domaine de recherche. Schuler étudie les composants de base des techniques d'informatique quantique. Marianne Liebi développe une nouvelle méthodologie d'étude non invasive de la nanostructure des matériaux.

Les aérogels, micromatériaux de l'avenir

Les aérogels sont de remarquables isolants thermiques. On les utilise surtout à l'échelle humaine, par exemple dans les techniques environnementales, lors d'expériences de physique ou dans la catalyse industrielle. Les chercheurs de l'Empa, de l'EPF de Zurich et de l'Institut Paul Scherrer (PSI) ont réussi à les introduire en microélectronique et micromécanique en réalisant par impression 3D, et avec une grande précision, de minuscules pièces d'aérogel de silice et de matériaux composites de silice. Cela ouvre la voie à de nombreuses nouvelles applications industrielles high-tech, par exemple en microélectronique, en robotique, en biotechnologie et dans la réalisation de capteurs.



Des câbles suisses en fibres de carbone pour le pont du RER de Stuttgart

Nouvelle étape pour un matériau remarquablement versatile aux origines suisses: en mai 2020, un pont de chemin de fer de 127 mètres était coulé par-dessus l'autoroute A8 au sud de Stuttgart. Ses 72 câbles sont entièrement en polymère renforcé de fibres de carbone (PRFC). Ce matériau ultraléger et extrêmement résistant a été développé en grande partie à l'Empa. Un nombre croissant d'ouvrages y fait appel.



Ilots de chaleur urbains: chaque arbre compte

Les vagues de chaleur estivales se multiplient et, avec elles, en milieu urbain, les ilots de chaleur. Peut-on créer des zones de fraîcheur pour en atténuer les effets? Un programme de simulation réalisé à l'Empa permet de préciser quel revêtement et quelle végétalisation s'y prêtent le mieux. Les chercheurs ont choisi comme exemple le Münsterhof, une place au cœur de Zurich, exemple même de l'îlot de chaleur. Leurs calculs ont indiqué que la température pourrait y être nettement réduite en remplaçant le pavage par de la terre et de l'herbe. Le sol se rafraîchirait mieux durant la nuit et, la journée, absorberait moins de chaleur. La place a effectivement été végétalisée dans le cadre d'un projet artistique durant l'été 2019. Ce genre de démarche pourrait contribuer à alléger l'effet des canicules urbaines. Image: Peter Baracchi

Un catalyseur garant de la fraîcheur des fruits

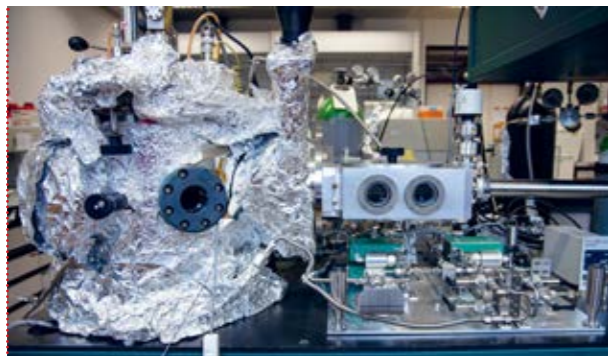
Lorsqu'on entrepose des fruits avec des légumes, ils s'influencent mutuellement dans leur maturation. Cela tient à l'éthylène libéré par certains d'entre eux et qui accélère la maturation des fruits. Pour éviter qu'ils se gâtent prématurément, des chercheurs de l'Empa et de l'EPF de Zurich ont développé un catalyseur qui décompose l'hormone végétale en eau et en dioxyde de carbone. Il est fait d'un substrat de bois dont on a soustrait la lignine et dans lequel on a dispersé des particules de platine. L'éthylène qui circule dans cette structure poreuse se heurte régulièrement à ces particules. L'équipe a pu montrer que, à température ambiante, le catalyseur décomposait la quasi-totalité de l'éthylène. Montés dans des réfrigérateurs ou des locaux frigorifiques, des catalyseurs de grande taille ralentiraient la maturation des fruits et des légumes.



Identifier les dommages à l'environnement à l'aide de drones

L'équilibre écologique des forêts doit être suivi de près, et ce n'est pas simple. Une équipe de chercheurs de l'Empa et de l'Imperial College London a développé des drones qui fichent dans les arbres des capteurs capables de détecter les dommages à l'environnement. Ces drones disposent de caméras et d'un dispositif de tir de flèches équipées de capteurs. Le tir est commandé par des métaux à mémoire de forme qui, après avoir été déformés, réagissent à la chaleur en reprenant leur forme initiale. Par ailleurs, les drones peuvent eux-mêmes collecter des informations. Lors de vols d'essais effectués à l'Empa, les chercheurs ont déjà pu tester les performances des drones. Pour le moment, ils sont encore pilotés par des humains. Lors d'une prochaine étape, ces robots volants devront apprendre à assurer leur mission de manière autonome afin de pouvoir travailler dans des endroits peu accessibles.





Un grand pas, de petits tourbillons

Les skyrmions sont des objets magnétiques qui pourraient révolutionner l'architecture des ordinateurs de demain. Mais avant de faire l'objet d'applications techniques, il devront encore surmonter quelques obstacles. Une équipe de l'Empa a réussi à créer pour la première fois un système multicouche complexe dans lequel deux skyrmions distincts – les futurs bits 0 et 1 – peuvent exister à température ambiante. Plusieurs multicouches ont été comparées à l'aide du microscope à force magnétique de l'Empa pour localiser les couches abritant les différents skyrmions. Des simulations micromagnétiques sur ordinateur ont en outre confirmé les observations. Les chercheurs sont convaincus qu'un grand pas vers la faisabilité a ainsi été franchi étant donné que la technologie utilisée pourrait également l'être à l'échelle industrielle.

Un blouson photovoltaïque

Une équipe de chercheurs de l'Empa et de l'EPF de Zurich a fabriqué un matériau fonctionnant comme un concentrateur solaire lumineux pouvant recouvrir des tissus sans les rendre cassants ou déchirables, et sans favoriser l'accumulation de l'humidité due à la transpiration. Les substances luminescentes captent les rayons lumineux sur un spectre sensiblement plus large que le photovoltaïque habituel. Porter sur soi des cellules solaires peut s'avérer très utile étant donné les besoins croissants en énergie des appareils portables.



Un diagnostic fiable pour la mère et l'enfant

La pré-éclampsie – un empoisonnement en cours de grossesse – est une complication redoutée qui menace la vie de la mère et de l'enfant. Le diagnostic de ce mal prend du temps et se révèle peu fiable. Il se fonde sur des modifications physiologiques qui en signalent déjà le progrès: la pression sanguine et la présence de certaines protéines dans l'urine de la mère. Mais ces deux indices peuvent être liés à d'autres problèmes, d'où d'inutiles hospitalisations et parfois des traitements contre-indiqués. «MOMM Diagnostics», une spin-off de l'Empa, a développé un test précis, rapide et précoce. Il permet de clarifier la situation à temps et d'éviter ainsi bien des dépenses. Le test analyse deux biomarqueurs spécifiques dans le sang de la mère. Le procédé est élégant: le minuscule biocapteur est imprimé sur une bande de papier. Une goutte de sang du doigt de la mère suffit pour détecter les molécules.



Etude des risques posés par les nanomatériaux: essais sans animaux

De nombreux essais sur animaux peuvent être remplacés par des essais sur cultures cellulaires ou sur micro-organismes. Les chercheurs continuent d'étudier les différentes manières de se passer des animaux. Mais il reste très difficile de garantir l'innocuité de nombreuses substances parfois peu étudiées. C'est particulièrement le cas des nanomatériaux. Une équipe de l'Empa met au point à cette fin une méthodologie combinant tubes à essai et ordinateurs.



Les voitures électriques en feu sont-elles dangereuses?

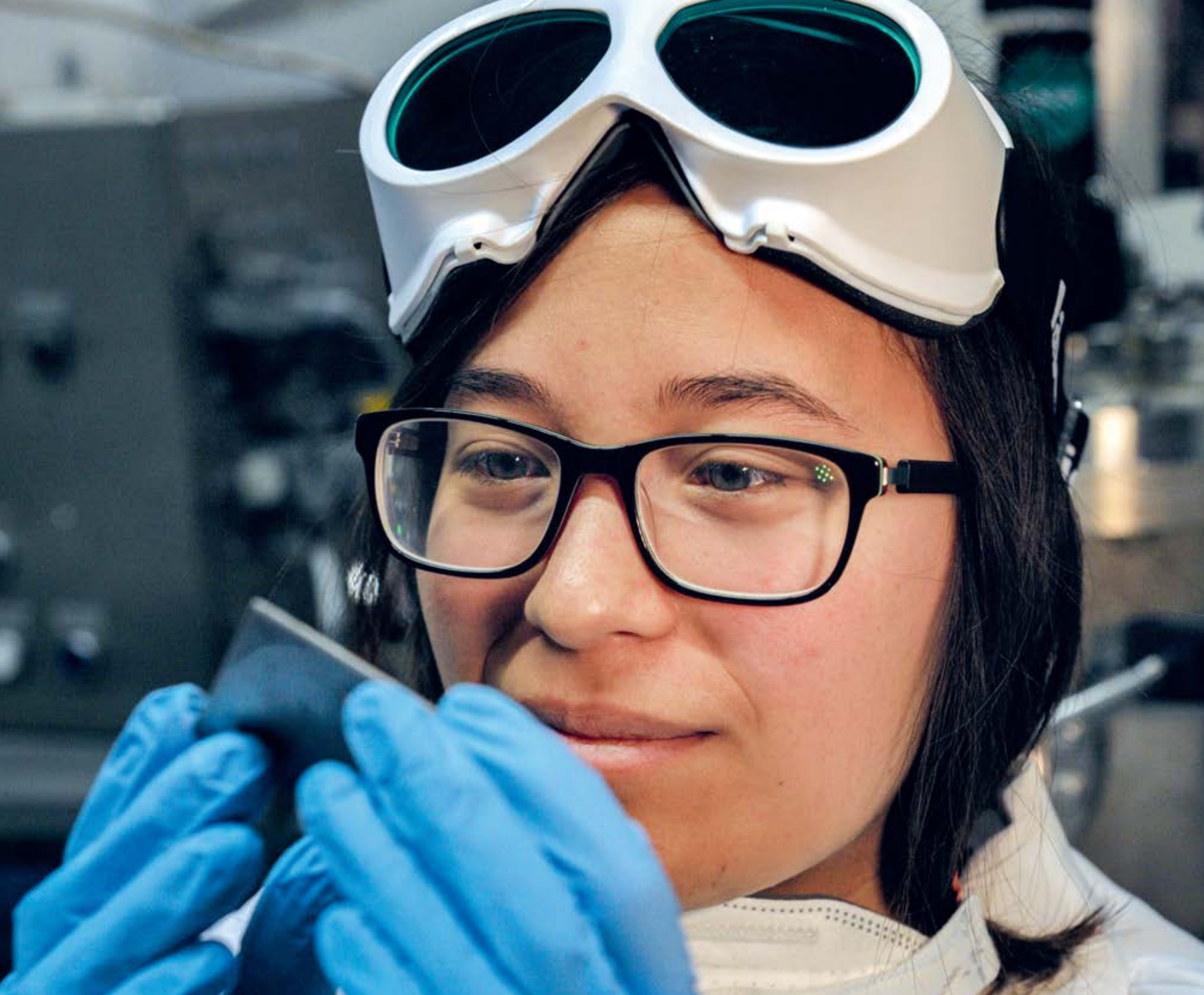
Des chercheurs de l'Empa et des experts en sécurité des tunnels ont reproduit dans une galerie d'essais, et de manière réaliste, trois scénarios d'incendie de voitures électriques: incendie dans un espace clos, dans un espace équipé de gicleurs et dans un tunnel ventilé. Ils ont ensuite analysé la répartition de la suie et des gaz de combustion ainsi que les résidus chimiques dans l'eau d'extinction. Conclusion: en ce qui concerne la chaleur dégagée, les voitures électriques en feu ne sont pas plus dangereuses que les voitures habituelles. Un problème cependant: l'eau d'extinction. Les analyses y ont montré une charge chimique très supérieure aux valeurs limites suisses. L'eau doit impérativement subir un prétraitement avant de s'écouler dans les canalisations. Le nettoyage du site de l'incendie doit aussi être confié à des professionnels en combinaison de protection.

Image: Istockphoto, trikolor



Le recyclage des accumulateurs lithium-ion: 91%

L'entreprise suisse Kyburz, fabricant de véhicules électriques, a mis en service en 2020 une installation de recyclage permettant de récupérer une grande partie des matériaux des batteries lithium-ion. L'installation a été conçue et montée en collaboration avec des expertes et experts de l'Empa. Il était important de disposer d'un procédé efficace, sûr et sans gros impact sur l'environnement. A terme, l'objectif de l'entreprise est de récupérer toutes les matières premières des batteries LiFePO₄ dont elle a équipé ses véhicules. La première étape est de traiter 4000 batteries par an. Objectif final: 24 000 batteries, correspondant à une production annuelle de 3000 véhicules. Image: Werner Hauser



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.

Le plus petit moteur du monde

Une équipe de chercheurs de l'Empa et de l'EPFL a développé un moteur moléculaire qui ne comporte que 16 atomes et tourne de manière fiable dans un sens donné. Il pourrait permettre le captage d'énergie au niveau atomique. Il a pour particularité d'évoluer à la frontière entre mouvement classique et effet tunnel quantique – et a révélé quelques phénomènes déroutants aux chercheurs du domaine quantique.

A l'instar des moteurs à échelle humaine, le moteur à 16 atomes se compose d'un stator et d'un rotor, c'est-à-dire d'une partie fixe et d'une partie mobile. Le rotor pivote sur la surface du stator (voir image). Il peut prendre six positions différentes. «Pour qu'un moteur puisse réellement fournir un travail utile, il est essentiel que le stator n'autorise le rotor à se déplacer que dans un seul sens», explique M. Gröning.

Une roue à rochet inversée

Le principe est celui, inversé, de la roue à rochet du monde macroscopique, avec son cliquet et ses dents asymétriques. Alors que le cliquet macroscopique glisse sur le bord incliné des dents pour se bloquer contre leur bord raide, le cliquet ato-

mique nécessite moins d'énergie pour franchir l'obstacle raide des dents de la roue que leur bord moins incliné. Le mouvement dans la «direction de blocage» est donc favorisé et le mouvement dans la «direction de marche» beaucoup moins probable. Le mouvement n'est ainsi pratiquement possible que dans un sens.

Le sens de la rotation est maintenu à 99%, ce qui distingue ce moteur d'autres moteurs moléculaires similaires. Il ouvre ainsi une voie au captage d'énergie à l'échelle atomique.

De la physique classique à la physique quantique

Les lois de la physique classique professent qu'une quantité minimum d'énergie est nécessaire pour que le rotor se mette en mouvement contre la résistance du cliquet. Tant que l'énergie électrique ou thermique fournie est inférieure à cette limite, le rotor reste immobile. Les chercheurs ont été surpris d'observer que, même en dessous de ce minimum, à une température inférieure à 17 K (-256°C) ou une tension électrique inférieure à 30 millivolts – la rotation se poursuit dans le même sens à fréquence constante.

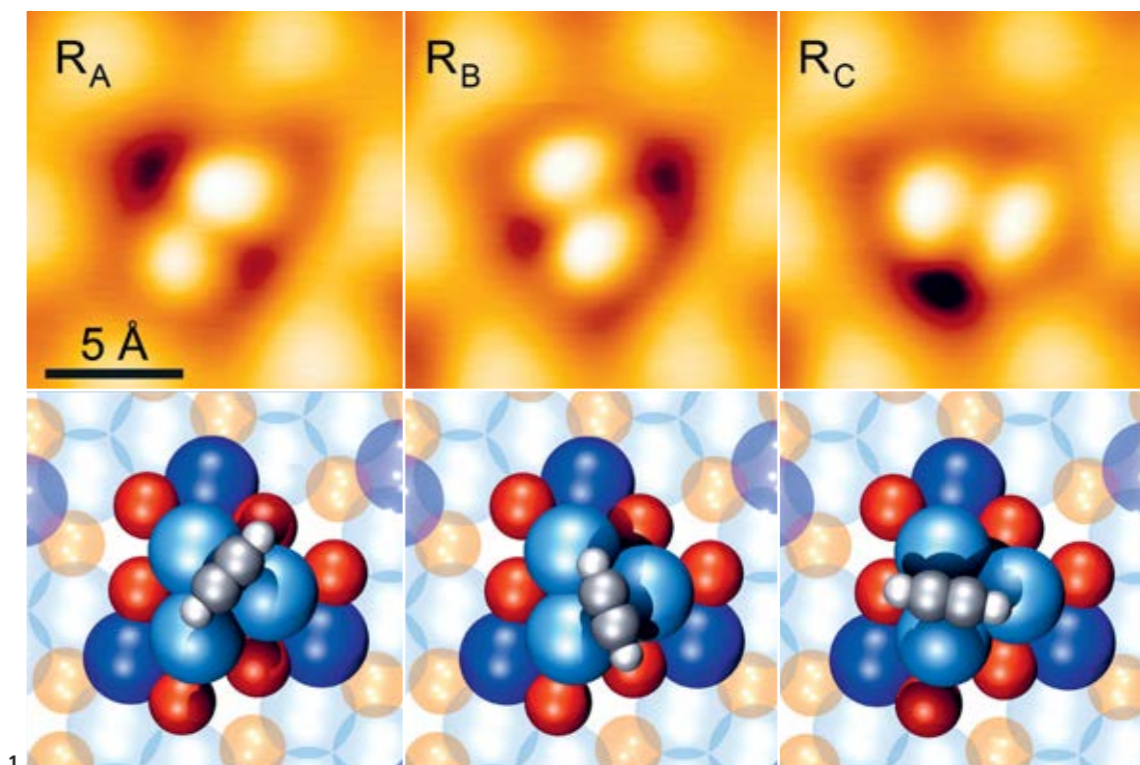
Dr. Oliver Gröning, oliver.groening@empa.ch

Des résultats dans le domaine de la physique quantique

Nous franchissons ici la frontière entre physique classique et mécanique quantique. A ce niveau, les particules peuvent se frayer un tunnel, c'est-à-dire que le rotor peut surmonter l'obstacle du cliquet même lorsque son énergie cinétique au sens classique du terme est insuffisante. L'effet tunnel se produit normalement sans aucune perte d'énergie. Théoriquement, dans cette zone, les deux sens de rotation devraient être équiprobables. Mais, surprise, le moteur tourne dans le même sens avec probabilité de 99%.

Le second principe de la thermodynamique stipule que, dans un système fermé, l'entropie ne peut jamais diminuer. En d'autres termes: si aucune énergie n'est perdue dans le passage tunnel, la direction du moteur devrait être purement aléatoire. Le fait que le moteur continue de pivoter presque exclusivement dans le même sens suggère qu'il y a une perte d'énergie lors du passage tunnel.

On voit que les chercheurs de l'Empa n'ont pas seulement mis au point un jouet pour bricoleurs moléculaires. Le moteur pourrait permettre d'étudier la dissipation d'énergie liée à l'effet tunnel. //



1 Vues au microscope à effet tunnel (grossissement de l'ordre de 50 millions) de la molécule rotor acétylène en forme d'haltère dans trois de ses positions de rotation. Représentation graphique des structures atomiques du stator (bleu et rouge) et du rotor (argenté).

«Fumée figée» pour le bâtiment et les microtechnologies

Les aérogels? C'est à vous couper le souffle! Bien que solides, ces matériaux ne consistent pratiquement qu'en pores et ne contiennent qu'un soupçon de matière, d'où le surnom de «fumée figée». Les chercheurs s'y intéressent certes pour leur beauté fantomatique, mais surtout pour leurs intéressantes caractéristiques, dont une très faible conductivité thermique. En collaboration avec le fabricant de matériaux Fixit, les spécialistes de l'Empa ont mis au point un crépi à l'aérogel remarquablement isolant. Ce qui leur a valu, voici quelques années, le Prix Suisse Environnement en catégorie innovation.

Outre le bâtiment, les aérogels se sont également imposés à toute petite échelle. L'année dernière, des chercheurs de l'Empa, de l'EPF de Zurich et de l'Institut Paul Scherrer (PSI) ont expliqué dans un article de la revue «Nature» comment imprimer en 3D des composants à partir d'aérogel de silice et de matériaux composites de silice.

Le problème à résoudre était que ces matériaux sont très fragiles. Dans la pratique, ils doivent être renforcés par des fibres ou des polymères. Cette fragilité empêche de scier ou de fraiser de petites pièces dans un bloc d'aérogel. Par ailleurs, le processus de solidification des

aérogels dans les moules miniaturisés s'avère également aléatoire et entraîne trop de rebut à la production.

L'équipe de l'Empa est entre-temps parvenue à créer par impression 3D des microstructures d'aérogel de silice ne dépassant pas le dixième de millimètre. Leur conductivité thermique est de l'ordre de $16 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$, soit moitié moins que le polystyrène, et même moins qu'une intercouche d'air immobile.

Possibilité de post-traitement

L'aérogel imprimé présente également de meilleures caractéristiques mécaniques et peut être perforé et fraisé. On peut dès lors envisager l'usinage d'éléments obtenus par impression 3D. La méthode permet également de régler la fluidité et la solidification de l'encre de silice avec la précision nécessaire à la fabrication de structures autoportantes ou de membranes très fines.

Ce genre de structures devrait permettre d'isoler thermiquement les microcomposants électroniques les uns des autres. Autre application envisageable, en médecine interne cette fois: isoler les prothèses dont la chaleur superficielle ne devrait pas dépasser 37 degrés afin de ménager les tissus voisins.

Dr. Wim Malfait, wim.malfait@empa.ch

Les spécialistes de l'Empa envisagent également d'autres applications dans le bâtiment. Ils ont conçu il y a quelques années une pâte aux particules d'aérogel avec quoi combler l'espace creux des briques. Elle offre une isolation équivalente à celle de la perlite volcanique, mais avec des briques sensiblement moins profondes, d'où un appréciable gain de place. L'idée est actuellement à l'étude.

Aerogel Architecture Award

Dans la construction en bois, où l'on recourt toujours plus à des éléments préfabriqués, le puissant isolant devrait aussi permettre d'alléger les structures. Les chercheurs de l'Empa y travaillent en visant en particulier la surélévation de immeubles.

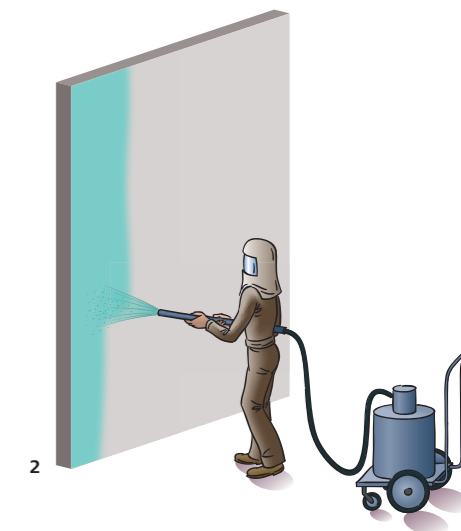
Dans le but d'encourager l'utilisation des aérogels, l'Empa a lancé un Aerogel Architecture Award. Les prix seront remis en été 2021 en un lieu tout désigné: le NEST du campus de Dübendorf de l'Empa. //



1

1 Pour illustrer la faisabilité de structures en surplomb en aérogel de silice, les chercheurs ont imprimé des feuilles et des fleurs de lotus.

2 Application pratique d'un crépi d'aérogel à haut pouvoir isolant. On le projette à la machine puis on le lisse. Après quoi, comme il est tendre, on le recouvre d'une couche de mortier à treillis d'armature.



2

Des doubles numériques pour améliorer les thérapies

Les remarquables progrès de la médecine moderne ont sensiblement amélioré notre qualité de vie en cas de graves pathologies. Ainsi, les opiacés de synthèse tels que le Fentanyl peuvent contenir les insoutenables douleurs parfois liées au cancer. Leur dosage reste toutefois délicat car leur efficacité ne doit pas s'accompagner d'effets secondaires mettant la vie du patient en danger. Pour déterminer et suivre les dosages de manière personnalisée, des chercheurs de l'Empa ont abordé la question sous l'angle de l'informatique et de la récente science des données. L'équipe de Thijs Defraeye perfectionne des «jumeaux numériques» qui permettent d'anticiper le déroulement d'une thérapie par modélisation de notre fonctionnement en temps réel.

Des centaines de personnes traitées

Les modèles mathématiques représentant nos doubles numériques intègrent une multiplicité de variables telles que l'âge et le mode de vie. L'action d'un analgésique dépend en effet d'une multitude de paramètres pouvant beaucoup varier d'un sujet à l'autre. Il faut également tenir compte des transformations métaboliques du médicament dans le corps et, finalement, de la quantité de

médicament atteignant effectivement le centre de la douleur dans le cerveau. Pour s'assurer non seulement de l'innocuité mais aussi de l'efficacité du traitement sur le patient, on fournit en retour à son double numérique des données physiologiques et psychologiques venant du patient. La thérapie peut ainsi être réglée en continu et ses effets peuvent même être anticipés. Plusieurs centaines d'avatars personnalisés ont déjà été créés et personnalisés pour suivre des essais thérapeutiques virtuels. Il s'agit maintenant – en collaboration avec des cliniques et des hôpitaux – d'optimiser à l'aide de doubles numériques d'autres champs thérapeutiques, par exemple dans le traitement du diabète.

La digitalisation contre le gaspillage alimentaires

Récemment, l'équipe a reçu l'un des prix du concours «Inclusive Growth and Recovery Challenge» de data.org pour un projet apparenté. Très bien dotée, cette distinction est financée par la Fondation Rockefeller et le Mastercard Center for Inclusive Growth. L'objectif du projet mené avec la Fondation BASE (Basel Agency for Sustainable Energy) est de soutenir une agriculture durable

Prof. Dr. Thijs Defraeye, thijs.defraeye@empa.ch

et d'améliorer à l'aide de modèles informatiques et d'apps mobiles la situation écologique et économique des petites exploitations agricoles de pays en développement. Ce projet de grande envergure est également pour les chercheurs de l'Empa une excellente base d'exploration et de développement en sciences des données, plus spécifiquement, sur la question du développement de doubles numériques pour différentes applications. //



1



2

1
Les analgésiques, l'insuline ou d'autres médicaments peuvent être dosés avec exactitude et en bonne connaissance de cause grâce au double numérique du patient.

2
Seraina Schudel, chercheuse à l'Empa, et son «fruit témoin» parfois qualifié d'espion. Ce double biophysique de fruit est équipé de capteurs. Il peut accumuler des données utiles au développement de doubles numériques dans la recherche alimentaire.

Flairer le dioxyde de carbone sur orbite

La teneur en dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère ne cesse de croître, et réduire les émissions d'origine humaine est plus urgent que jamais si l'on veut prévenir l'effondrement du climat. Pour évaluer l'efficacité des mesures politiques, il faut disposer en continu de chiffres fiables. Le réseau actuel de stations de mesure terrestres est certes précieux à cet égard, mais il n'est pas assez dense pour fournir des informations fiables sur les émissions par pays, par région, voire par ville. Actuellement, l'évaluation des émissions se fonde sur des statistiques et des données relatives au trafic motorisé, à l'industrie, au chauffage et à la production d'énergie. L'exploitation de ces données est lente et coûteuse. Le résultat est peu fiable vu le manque de données exactes et les hypothèses trop simplistes, par exemple dans le domaine du chauffage.

Les chercheurs travaillent à l'amélioration des évaluations

C'est pourquoi l'UE, en collaboration avec l'Agence spatiale européenne ESA, développe un système de surveillance des émissions de CO₂. L'un des éléments clé du projet est le lancement de satellites CO₂M («Copernicus Carbon Dioxide Monitoring»). Les premiers seront mis

sur orbite dès 2025. Ils établiront des cartes globales de la teneur de l'atmosphère en CO₂ par mesure spectroscopique. Les cartes permettront de déterminer les quantités de CO₂ émises par des sites industriels, des villes ou des pays, réduisant sensiblement les incertitudes actuelles sur les émissions provenant de la combustion d'agents fossiles.

Lors de la conception des satellites, l'ESA a fait appel au savoir-faire de l'Empa. Le problème était de distinguer entre émissions anthropogènes – c'est-à-dire humaines – et signaux biologiques. En effet, la respiration végétale entraîne de fortes fluctuations dans la répartition du CO₂. Les satellites devaient être capables d'identifier les émissions humaines. L'idée était de mesurer également le dioxyde d'azote. Il accompagne en effet la combustion du charbon, du pétrole et du gaz mais n'est pas associé à la respiration de la biosphère. En ajoutant un instrument de mesure du NO₂, on devait pouvoir distinguer le CO₂ anthropogène.

L'Empa simule les mesures des satellites

Afin de vérifier le bien-fondé de cette idée, des chercheurs de l'Empa ont si-

Dr. Gerrit Kuhlmann, gerrit.kuhlmann@empa.ch

mulé la répartition spatiale des teneurs en CO₂ et NO₂ pour l'année 2015, avec une résolution inédite. L'analyse a montré que la mesure combinée des deux oxydes permettait de mieux déterminer la teneur en CO₂ anthropogène que ne le ferait la seule mesure du CO₂. Les satellites de CO₂M seront donc équipés d'un appareil supplémentaire de mesure du NO₂. //



Images satellites tirées des simulations des chercheurs de l'Empa: les endroits où une forte teneur en NO₂ (à droite) coïncide avec une forte teneur en CO₂ (à gauche) sont ceux où le CO₂ est d'origine humaine. On distingue clairement les émissions de Berlin et de plusieurs centrales à charbon. L'objectif de l'UE et de l'ESA est de détecter les émissions de CO₂ en temps presque réel afin de pouvoir déterminer les émissions de gaz à effet de serre sur toute la planète de manière fiable et sans retard. Image: unsplash/NASA

Recherches sur les batteries de la prochaine génération

Dr. Corsin Battaglia, corsin.battaglia@empa.ch
Dr. Kostiantyn Kravchyk, kostiantyn.kravchyk@empa.ch
Prof. Dr. Maksym Kovalenko, maksym.kovalenko@empa.ch

Le coup d'envoi des deux grands projets européens SeNSE et SOLiDIFY de recherche sur les batteries auxquels l'Empa participe a été donné au début 2020. Ces projets font partie d'une vaste initiative européenne visant à placer l'Europe en tête d'un marché dont la croissance est fulgurante. Le projet SeNSE, dont l'Empa assure la coordination, se concentre sur les batteries pour voitures électriques. On s'attend à une spectaculaire croissance de la demande dans le secteur.

Génération 3b des batteries lithium-ion

Les onze partenaires de SeNSE étudient les batteries lithium-ion de la «génération 3b». L'objectif est d'en accroître la densité énergétique, d'en améliorer la chimie et d'en perfectionner la gestion. Leur teneur en cobalt sera encore réduite. De nouveaux capteurs internes doivent permettre d'en prolonger la durée de vie et d'en accélérer la recharge.

Génération 4b des batteries à électrolyte solide

Le second projet européen de recherche auquel l'Empa participe a pour nom SOLiDIFY. Il s'intéresse à une génération ultérieure de batteries: les batteries

à électrolyte solide lithium-métal. Elles ne contiendront plus de liquide ou d'éléments inflammables et seront ainsi plus sûres, résisteront mieux à la chaleur, pourront fournir une puissance accrue et pourront être chargées et déchargées plus rapidement. Toujours dans le domaine des batteries solides, l'Empa a noué une alliance stratégique et poursuit ses recherches avec l'Institut Fraunhofer de Würzburg (D). L'industrie suisse s'intéresse aussi beaucoup aux batteries solides et plusieurs projets Innosuisse impliquant des partenaires industriels locaux ont été lancés cette année.

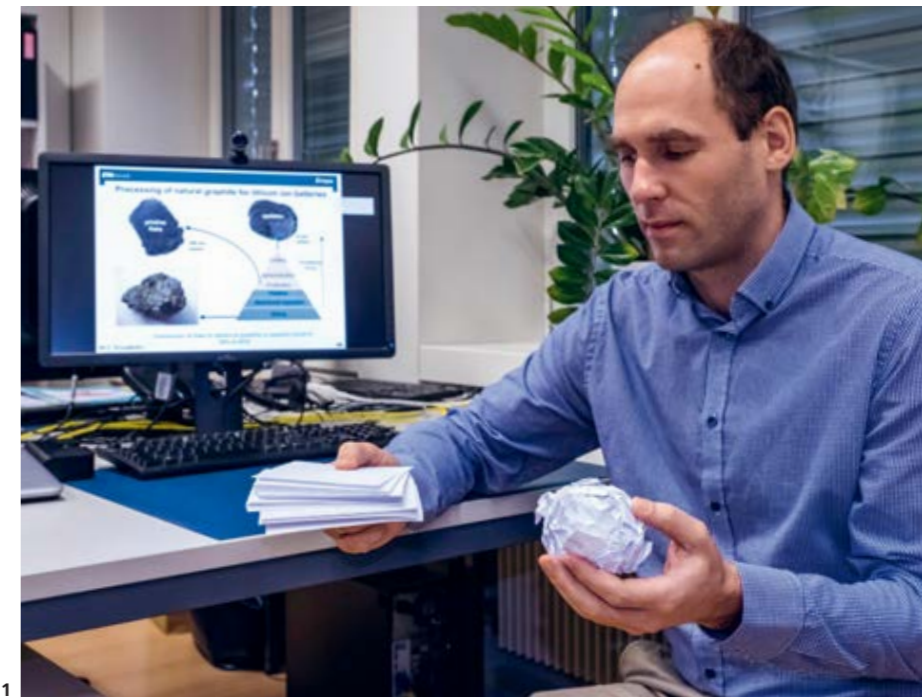
Les batteries aluminium-graphite

Les batteries lithium-ion sont encore trop coûteuses pour les applications stationnaires, qu'il s'agisse de ménages, de distribution d'énergie ou de gros consommateurs. Par ailleurs, leurs chaînes d'approvisionnement en matières premières subissent d'énormes pressions en raison de la croissance accélérée de production de voitures électriques et parce que les réserves mondiales en cobalt, nickel et lithium, inégalement réparties, se trouvent dans des régions politiquement instables.

Il faut donc développer des technologies permettant la production de batte-

ries à grande échelle et ne recourant qu'à des composants peu coûteux et largement disponibles dans la nature. Une foule de rapports ont été publiés ces vingt dernières années sur des batteries autres que lithium-ion. L'un des angles d'attaque est de remplacer le lithium par le sodium. On trouve du chlorure de sodium dans l'eau de mer et l'on peut s'en procurer pratiquement partout dans le monde.

L'aluminium, aussi, est disponible en grandes quantités, bon marché et non toxique. Mais pour des raisons de chimie, les batteries aluminium-graphite-dual-ion sont notablement plus grandes et cinq fois plus lourdes que les batteries lithium-ion de même capacité. Les alternatives bon marché et écologiques aux batteries lithium-ion ont donc encore bien des obstacles à franchir. //



1 Kostiantyn Kravchyk explique la chimie d'une batterie aluminium-graphite.

2 Stephan Fahlbusch, Corsin Battaglia et Ruben-Simon Kühnel (de g. à d.) devant le banc d'essai de cellules de batteries.



FOXIP, ou la joie de voir les choses s'intégrer

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

L'Empa s'occupe de technologie, c'est-à-dire, selon Wikipedia, de l'étude des sciences, des outils et des techniques nécessaires à la fabrication de produits industriels. Mais de quoi, au juste, a-t-on besoin pour fabriquer des produits? De personnel, de matériaux, de méthodes et de machines. Les produits de qualité procèdent de la parfaite congruence des ces quatre facteurs. De nouveaux matériaux, de nouvelles méthodes et de nouvelles machines permettent de réaliser de nouveaux produits, et donc d'innover. Nous autres humains en quête d'innovation en produits ne devons pas seulement concevoir de nouveaux matériaux, mais également les méthodes et les machines nécessaires à leur production. C'est bien ce que nous faisons à l'Empa, par exemple au «Coating Competence Center» (CCC) et dans les projets soutenus par le «Strategic Focus Area Advanced Manufacturing» (SFA-AM) du Domaine des EPF.

Une imprimante de haute précision unique en son genre

Le projet «FOXIP – Functional OXides Printed on Polymers and Paper» poursuivi dans le cadre du SFA-AM réunit un consortium de scientifiques de l'Empa, de l'EPFL, de l'Institut Paul Scherrer (PSI) et

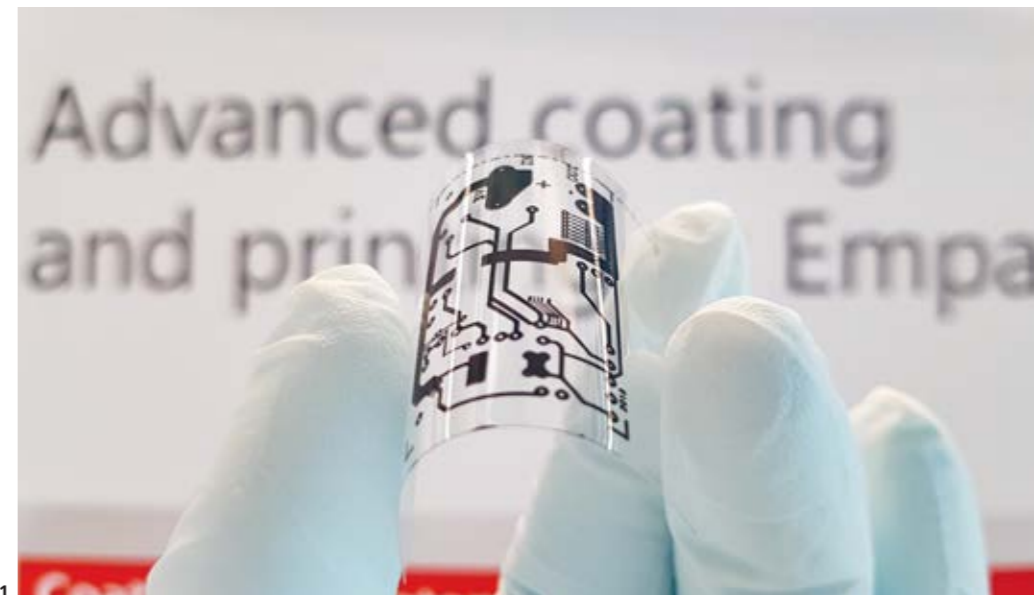
de partenaires industriels. Objectif: développer des composants électroniques dans lesquels les circuits sont imprimés sur des substrats souples tels que des films de plastique ou du papier. L'innovation ne s'arrête pas à la conception des encres nécessaires au graphène ou aux oxydes de métaux. Il s'agit également de concevoir, concrétiser et tester les méthodes et les machines permettant d'appliquer ces encres sur les substrats flexibles. L'équipe du projet FOXIP recourt à différentes techniques telles que l'impression en creux, la flexographie, la sérigraphie et l'impression par jet d'encre. La machine utilisée est une imprimante de haute précision développée spécialement par la société Norbert Schläfli AG pour l'impression de circuits électroniques et qui n'est actuellement en service qu'au CCC de l'Empa.

L'encre bombardée de flashes

Les pistes imprimées à l'aide d'encres aux oxydes de métaux doivent être soumises à une forte température pour devenir conductrices. Lors de ce frittage, il faut éviter que le substrat ne soit endommagé par la chaleur. C'est pourquoi l'équipe FOXIP procède à un traitement dit «Photonic Curing» qui soumet les pistes du circuit à des puissants flashes lumineux

d'une fraction de milliseconde. L'encre est fortement chauffée alors que le substrat, par exemple un film de PET, ne l'est que modestement, ce qui ne l'endommage pas. L'installation de «Photonic Curing» est une PulseForge 1300 de la société Novacentrix.

L'équipe FOXIP a montré qu'il était possible d'imprimer des circuits électroniques sur un film de polymère. Il est également possible d'y imprimer des capteurs tactiles. Pour utiliser de tels films sur des écrans tactiles, il faut que les pistes soient transparentes. L'équipe recourt alors à des «Transparent Conductive Oxides». Ils en ont fait la démonstration en imprimant des surfaces tactiles invisibles. En les touchant en un endroit déterminé, on peut par exemple introduire le digicode d'une porte. Outre les surfaces tactiles invisibles, il existe de nombreuses autres applications envisageables. Dans ce projet FOXIP, tout semble s'intégrer harmonieusement: le personnel, les matériaux, les méthodes et les machines. //



- 1 Film sur lequel des circuits conducteurs en encre de graphène sont imprimés au moyen d'une impression flexographique.
- 2 On peut également imprimer des capteurs tactiles invisibles sur ces films. Il faut alors utiliser une encre transparente.



Nouvelles méthodes de construction à l'épreuve de la réalité

Reto Largo, reto.largo@empa.ch

Construire ensemble le futur est le principe directeur de NEST, la plateforme modulaire de recherche et d'innovation de l'Empa et de l'Eawag. L'an dernier, NEST a poursuivi sa mission malgré les contraintes imposées par la pandémie. Le toit de béton à double courbure de la nouvelle unité «HiLo» a pu être terminé. Cet ouvrage en sandwich a été réalisé sans coffrage, au moyen d'une toile sous-tendue par un réseau de câbles réutilisables. Réussir ainsi une couverture de béton d'une telle complexité destinée à une application pratique est une première mondiale. Les chercheurs de l'EPFZ et leurs partenaires de l'industrie du bâtiment y sont parvenus en s'aidant de nouveaux algorithmes de conception et d'étude de projets.

Deux nouvelles unités à l'étude

L'étude de l'unité «STEP2», autre projet, a également progressé. Elle intègre différentes innovations dans le domaine de l'économie circulaire et de la fabrication numérique, ainsi que de par son enveloppe et son concept énergétique. L'accent porte ici sur la maturité commerciale des solutions et des procédés. Les innovations sont développées selon la démarche «Open Innovation» tout au long de leur chaîne de création de valeur. L'unité de

deux étages devrait être terminée en été 2022. Le principal partenaire dans ce projet est la société BASF avec qui l'Empa entretient un partenariat stratégique dans l'innovation.

En fin d'année 2020, le besoin en places de travail respectant les mesures de protection contre le virus a suscité un nouveau projet d'unité. Baptisé «Sprint», il devrait rapidement déboucher sur des unités de bureau intégrées à NEST et se prêtant à un aménagement souple de l'espace. Ce n'est pas tout: l'unité devrait ne recourir qu'à des matériaux et éléments de construction de deuxième main. L'équipe de l'Empa et les experts de Re-Use entendent ainsi montrer jusqu'où l'on peut pousser le principe de réutilisation et contribuer de la sorte à l'économie circulaire du bâtiment.

Mise en réseau de l'énergie

Cette dernière année, NEST a mis d'intéressantes infrastructures à disposition du «Energy Hub» ehub (voir en page 28) et du «Digital Hub» dhub. NEST y joue le rôle de quartier dont il s'agit d'optimiser les flux énergétiques, entre autres par intelligence artificielle. Quant au «Water Hub», il permet à des scientifiques de l'Eawag de travailler sur les procédés de traitement des eaux grises et de l'urine.

A cette fin, le réseau sanitaire de NEST a été entièrement équipé des toutes récentes cuvettes séparatrices «Save!».

Nouveaux partenariats

Le réseau de partenaires tissé autour de NEST s'est encore élargi l'année dernière. Citons en particulier une collaboration avec le Parc de l'innovation de Suisse centrale. Ce parc, tout comme NEST, regroupe de nombreuses entreprises et organisations décidées à innover dans le secteur du bâtiment. Le resserrement de la collaboration entre nos deux réseaux – qui ont déjà organisé ensemble plusieurs événements et ateliers thématiques – devrait favoriser les synergies débouchant sur des projets intégrables à NEST.

Alors qu'au cours des dernières années, NEST a reçu un nombre soutenu de visiteurs, la pandémie en a sensiblement réduit le flux en 2020. Afin de maintenir le contact, Peter Richner, vice-directeur de l'Empa, s'est régulièrement livré à l'exercice du podcast en direct de NEST. Il sera en outre bientôt possible de visiter et de se promener virtuellement dans NEST en passant par son site Web, de rencontrer des chercheurs et chercheuses qui y œuvrent et d'éprouver par réalité virtuelle la fascination qu'exerce cette plateforme modulaire. //



La couverture «HiLo» a été projetée sur une surface textile. Photo: Roman Keller

En route vers l'objectif climatique ... avec des carburants de synthèse

Le démonstrateur de mobilité «move» illustre de manière convaincante ce que pourrait être la mobilité de demain, libérée des énergies fossiles. Une mobilité centrée ici sur l'électricité, l'hydrogène et, pour les véhicules hybrides, les carburants de synthèse. Trois pistes dont les chercheurs de «move» étudient les émissions de gaz à effet de serre ainsi que les caractéristiques énergétiques, techniques, économiques et les aspects propres à l'exploitation.

Du renouvelable tout au long de l'hiver

L'année 2020 a été nettement dominée par le projet d'installation de méthanisation «move-MEGA» qui permet de synthétiser du méthane à partir d'hydrogène et de CO₂ atmosphérique. Ce type de carburant – parfois nommés Synfuel ou Syngas – peut être produit dans notre pays en petites ou moyennes quantités. Pour les grandes quantités, on imagine plutôt des unités de production dans le désert ou au cœur de parcs éoliens offshore. Le méthane serait ensuite acheminé sur le marché par les infrastructures techniques et commerciales existantes. Les Syngas et Synfuel peuvent jouer un rôle charnière dans la conversion aux énergies renouvelables du transport des marchandises sur de grandes distances ou, en Suisse, dans

l'approvisionnement hivernal en énergies renouvelables.

La nouvelle installation de méthanisation de «move-MEGA» se fonde sur un processus catalytique renforcé par sorption recourant à des zéolithes pour capturer au fur et à mesure l'eau produite par la réaction et l'éliminer ainsi du mélange gazeux. Le méthane issu de la réaction peut ainsi être immédiatement stocké, économisant l'étape supplémentaire nécessaire en méthanisation classique. Cette simplification, couplée à une baisse de pression, offre un gain sensible d'efficacité. L'année dernière, travaillant sur une installation expérimentale, les chercheurs de l'Empa ont clairement isolé les paramètres de dimensionnement de leur procédé «move-MEGA» et projeté une installation actuellement en cours d'évaluation par leurs partenaires industriels.

Gestion fine de la chaleur

L'hydrogène nécessaire à la méthanisation est déjà produit sur le site de «move». Le CO₂, lui, sera extrait sur place de l'atmosphère par un collecteur de la société Climeworks, une spin-off de l'EPFZ. L'utilisation de CO₂ atmosphérique est judicieuse, en particulier pour les grandes installations de méthanisation, parce qu'il est disponible en tous lieux. Son

transport s'en trouve réduit à zéro et le CO₂ est immédiatement utilisable sans opération de nettoyage. Extraire du CO₂ de l'atmosphère nécessite toutefois de grandes quantités de chaleur à haute température (env. 100°C). Le projet «move-MEGA» en puisera une bonne partie dans les rejets thermiques des installations d'électrolyse et de méthanisation.

L'équipe s'occupe également des aspects économiques de ce type d'installation. Après avoir étudié la littérature et après discussion avec ses partenaires industriels, elle en a modélisé les coûts d'investissement et d'exploitation, permettant ainsi l'analyse du coût de production du méthane. Il en ressort qu'il est nettement supérieur à celui des vecteurs énergétiques fossiles, surtout en début d'opération. Les chercheurs ont donc réorienté leurs efforts vers un scénario moins coûteux de transition des carburants fossiles vers les carburants renouvelables de synthèse d'ici à 2050. On en attend une réduction massive des émissions de CO₂ des installations qui ne peuvent pas être, ou ne seront pas prochainement électrifiées.

«move-MEGA» est soutenu par le canton de Zurich, le Conseil des EPF, Avenergy Suisse, Migros, Lidl Suisse, Glattwerk, Armasuisse, Swisspower et Seitz AG. //

Christian Bach, christian.bach@empa.ch



Le détaillant Lidl compte convertir tous ses poids lourds du diesel fossile au gaz liquide renouvelable. Photo: Lidl Suisse

Un système énergétique durable et flexible

Mettre en réseau les technologies, les vecteurs énergétiques et les secteurs de consommation, décentraliser l'approvisionnement électrique, digitaliser le tout... Le virage énergétique vers la durabilité implique de gros changements et pose d'énormes défis. Pour y répondre, nous devons améliorer la conversion et le stockage des énergies. L'Empa s'y emploie, en particulier au «Energy Hub». Cette plateforme de recherche dessert les deux démonstrateurs NEST (voir en page 24) et move (voir en page 26), optimise la gestion de l'énergie au niveau de ce quartier tout en couplant les flux liés aux bâtiments et à la mobilité.

Des infrastructures de recherche qui rayonnent hors les murs

Travailler aux systèmes énergétiques de demain, c'est étudier les interactions et l'intégration de toutes les technologies disponibles. C'est bien l'intention de l'Empa, l'EPFZ et l'Institut Paul Scherrer (PSI) lorsqu'ils ont lancé en 2018 la plateforme ReMaP (Renewable Management and Real-Time Control Platform) qui intègre toute une série de systèmes. En 2020, les chercheurs ont intégré à leur plateforme les infrastructures du ehub de l'Empa et la plateforme ESI du PSI. Il est maintenant possible de réaliser des pro-

jets communs de recherche à cette nouvelle échelle. L'équipe en charge du projet a pu effectuer sa première démonstration publique virtuelle en décembre 2020.

L'optimisation est liée à la flexibilité

Ces dernières années, plusieurs projets de recherche ehub ont porté sur la flexibilisation des systèmes énergétiques. L'un d'eux, mené en collaboration avec la start-up Aliunid, a étudié la manière d'assouplir le fonctionnement des différents systèmes présents dans les immeubles d'habitation afin d'en améliorer le rendement global et d'en réduire les émissions. Divers couplages ont été envisagés entre les installations photovoltaïques, les pompes à chaleur, les réservoirs de chaleur et les véhicules électriques. Des simulations ont montré que la flexibilisation des systèmes énergétiques au niveau des quartiers présentait un potentiel de réduction des coûts de 25%, et des émissions de 21%.

Commande à apprentissage autonome

Dans un autre projet, des chercheurs de l'Empa ont développé une commande de gestion de l'énergie des bâtiments optimisée par intelligence artificielle (IA). Une simulation sur ordinateur a initialement permis à la commande de maîtriser les différents facteurs pertinents (température

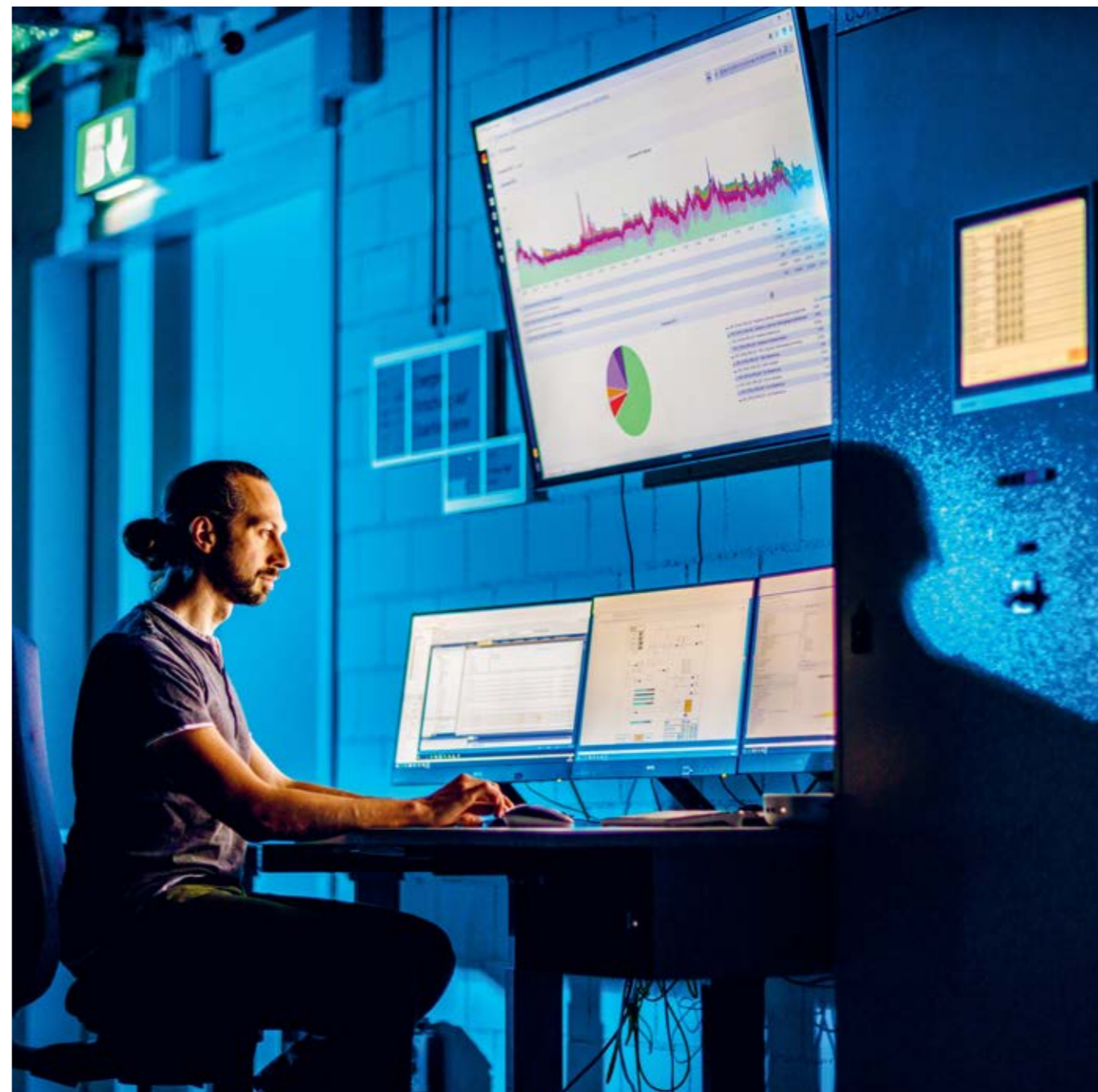
des locaux, recharge d'une voiture électrique, prise en compte des deux tarifs d'électricité). L'algorithme d'auto-apprentissage a également digéré les données météo et de chauffage des locaux des années précédentes, fournies par le démonstrateur «Digital Hub», ou dhub. Les chercheurs ont ensuite installé leur commande dans NEST et l'ont soumise à un test comparatif avec une commande classique. Résultat: 27% de gain sur le chauffage.

Renforcement de l'équipe, des projets et des échanges

L'an dernier a vu croître non seulement le nombre des nouveaux projets lancés avec des partenaires commerciaux, mais aussi la taille de l'équipe du ehub que quatre nouveaux collaborateurs sont venus rejoindre.

En été, l'Empa a organisé un webinaire réunissant des représentants de l'administration, des autorités de régulation, des associations et de start-up autour de la question suivante: Quelles conditions-cadres inhibent ou au contraire favorisent le virage énergétique? Les présentations, discussions et échanges entre la recherche, l'économie et la politique ont permis aux intervenants de multiplier les contacts et de mieux comprendre les besoins des différents acteurs. //

Philipp Heer, philipp.heer@empa.ch



Philipp Heer, chercheur à l'Empa, devant un terminal du «Energy Hub» (ehub). L'infrastructure est conçue pour que les partenaires du monde de la recherche et de l'industrie puissent agir à distance par le truchement d'interfaces spécifiques. Ils peuvent ainsi recueillir de précieuses informations pour leurs recherches et le développement de leurs produits.

La Task Force COVID-19: les chercheurs joignent leurs forces

Des experts de diverses disciplines concernées se sont réunis en «Task Force COVID-19» pour conseiller les autorités fédérales. La Task Force joue un rôle d'aide à la décision, et suit le développement des technologies applicables à la lutte contre le SARS-CoV-2 ainsi que de la recherche sur l'agent pathogène et sur les manières de le neutraliser. Image: iStock



Unis pour combler le manque de masques

Lorsqu'il a fallu assurer l'approvisionnement en matériel personnel de protection, des chercheurs de l'Empa, de l'EPFZ, de l'EPFL et du Laboratoire de Spiez ont lancé le projet «ReMask» en partenariat avec le système de santé publique et l'industrie. Objectif: proposer des techniques de réutilisation des masques, renforcer la production d'équipements de protection et développer de nouveaux masques capables de fixer et de neutraliser le virus.



HelloMask – premier masque chirurgical transparent

«HelloMask», le masque chirurgical transparent développé par des chercheurs de l'Empa, et de l'EPFL peut passer à la production industrielle. La start-up HMCARE a pu lever un million de francs. «HelloMask» est surtout destiné à améliorer les rapports entre le personnel soignant et les patients.



EmpaAIR signale quand il est temps de ventiler

Conçu par l'Empa, cet appareil pourrait limiter la propagation du coronavirus. Il mesure l'humidité, la température, la pression atmosphérique ainsi que la teneur de l'air en CO₂. Il signale par une application le moment où l'air du local dans lequel il se trouve devrait être renouvelé. Il utilise pour l'évaluer le fait que la teneur en CO₂ est un bon indicateur de la stagnation de l'air dans un espace clos.



Biocapteurs optiques pour le COVID-19

Une équipe de chercheurs de l'Empa, de l'EPFZ et de l'Hôpital universitaire de Zurich a réussi à développer un nouveau type de détecteur de présence de virus du type Corona. On pourrait en installer pour mesurer la concentration de ces virus dans un environnement donné, par exemple dans les endroits très fréquentés ou dans le système de ventilation des hôpitaux.



Activités de l'Empa...

autour de COVID-19

Bilan écologique des masques anti-Corona

On porte des masques pour se protéger et protéger les autres du COVID-19. Mais quel est l'impact environnemental de ces millions de masques? Des chercheurs de l'Empa ont étudié la question par l'évaluation de leurs cycles de vie. Il en ressort que, pour ce qui concerne la consommation d'énergie et le bilan gaz à effet de serre, les masques de coton s'en tirent mieux que les masques chirurgicaux à emploi unique. En revanche, les masques chirurgicaux nécessitent moins d'eau à la fabrication et ont un moindre impact environnemental global.

Photo: Matthias Heyde/Unsplash





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.

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

La crise climatique, la réduction des émissions de CO₂ qu'elle impose, l'approvisionnement en énergie durable et la numérisation sont les grands défis de notre temps. On ne saura les relever – tout en sauvegardant l'économie – que par le progrès technologique. A la source de ce progrès, on trouve le plus souvent de nouveaux matériaux. Dans ce domaine, ce sont les nanotechnologies qui génèrent actuellement le plus d'innovations, qu'il s'agisse de matériaux améliorés par des nanostructures ou de matériaux nanométriques aux propriétés entièrement nouvelles relevant de la physique quantique.

Transistors synaptiques, cellules photovoltaïques et supercondensateurs produits par impression

L'impression est, sous toutes ses formes, la principale technologie de traitement des nanomatériaux. Depuis plusieurs années, on cherche comment imprimer des composants électroniques nanométriques aussi aisément et à aussi bon compte qu'un journal. Cet important champ de recherches comprend les procédés de fabrication des nanomatériaux et de leur conditionnement sous forme d'encres destinées aux diverses techniques d'impressions. Les chercheurs de l'Empa ont

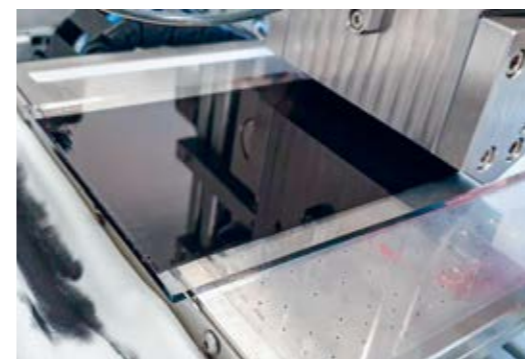
réussi une percée technologique dans la fabrication d'encres d'impression à l'aide de matériaux 2D. Deux nouveaux procédés dûment brevetés permettent, l'un d'exfolier délicatement et avec précision les matériaux 2D, l'autre de préparer des encres de la viscosité voulue avec n'importe quel matériau 2D, sans additifs, lesquels, lors de l'impression, ont toujours des effets non souhaités. Eu égard à leur comportement physique, ces encres ont été nommées «Van der Waals Ink». Leur potentiel technologique en impression de composants électroniques est énorme, comme les chercheurs l'ont spectaculairement montré avec des supercondensateurs d'une densité énergétique superficielle de 164 μWh/cm².

Outre l'impression de composants électroniques passifs tels que condensateurs, résistances ou pistes conductrices, les chercheurs de l'Empa développent également depuis années des techniques d'impression de composants actifs tels que transistors, diodes

électroluminescentes et cellules photovoltaïques. La principale difficulté dans ce domaine tient au frittage requis pour convertir l'encre en solide cristallin aux propriétés électroniques souhaitées sans pour autant endommager le substrat en polymère ou papier. On sait aujourd'hui imprimer à l'aide d'oxydes de semiconducteurs des cellules photovoltaïques à perovskites et des transistors.

Ces derniers présentent des caractéristiques de commutation notablement meilleures que les transistors imprimés avec des encres organiques et, surtout, sont beaucoup plus stables, ce qui permet de se passer du coûteux encapsulage.

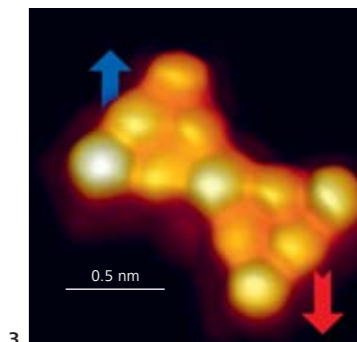
Au cours de leurs recherches sur l'impression de transistors au moyen d'oxydes, les chercheurs de l'Empa ont fait une découverte inattendue: lors de la commutation, les transistors imprimés présentent une hystérèse marquée remarquablement stable. Cela en fait de possibles composants de mémoires. Le signal qu'ils livrent en



sortie ne dépend plus uniquement de l'intensité du signal d'entrée mais également de sa fréquence. Les transistors évoquent sur ce point les synapses biologiques, d'où le nom de transistors synaptiques. Ils servent de composant de base aux réseaux neuronaux artificiels et aux nouveaux ordinateurs dits neuro-morphiques dont le fonctionnement mime le cerveau humain. Les chercheurs ont tout récemment réussi à imprimer de tels transistors assurant un fonctionnement synaptique jusqu'à 100 kHz, soit environ 100 fois mieux que tous les transistors synaptiques imprimés et présentés à ce jour dans la littérature.

Graphène magnétique – le carbone sait décidément tout faire

Le graphène – couche bidimensionnelle d'atomes de carbone disposés en nid d'abeilles et épais d'un seul atome – est un métalloïde. Mais lorsqu'on le prépare sous forme de rubans larges de quelques nanomètres, il peut prendre toutes les valeurs de conductivité entre l'isolant, le semiconducteur et le métal selon sa largeur et la topologie de ses bords. Après avoir montré que ce «simple» matériau se prêtait aussi bien à la nanoélectronique qu'à la spintronique et au calcul quantique, une équipe de l'Empa a réussi à réaliser des nanostructures de graphène présentant cette fois des caractéristiques magnétiques. Ils ont réussi la première synthèse d'un dimère triangulaire et ont montré que le moment magnétique des molécules en triangle était dans un état quantique intriqué et que le dimère pouvait être excité de l'état antiferromagnétique (spin = 0) à l'état ferromagnétique (spin = 1) moyennant une énergie de 14 meV. La thèse de doctorat de Shantanu Mishra qui a établi ces résultats a été distinguée en 2020 par le prix annuel de la Société Suisse de Physique, catégorie Physique de la matière condensée. //



1 Tomographie aux rayons X d'un gel-encre au graphène. Arrête du cube: 100 μm

2 Dans le cadre d'un projet soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), des chercheurs de l'Empa et de la société Solaronix ont mis au point un procédé peu coûteux de production de cellules photovoltaïques par buse à fente. La méthode est sept fois plus rapide que l'habituelle sérigraphie.

3 Version retravaillée d'une vue au microscope à force atomique d'un dimère-triangle. Les flèches indiquent l'orientation des spins anti-ferromagnétiques.

La «fabrication additive», un mode de construction plus durable

Dr. Tanja Zimmermann, tanja.zimmermann@empa.ch
Dr. Mateusz Wyrzykowski, mateusz.wyrzykowski@empa.ch

L'Empa peut se targuer d'une longue et fertile tradition de recherche et développement en matériaux et procédés de fabrication novateurs dans le secteur de la construction. Notre nouveau sujet de recherche «Additive Manufacturing» (AM) en est la parfaite illustration. Jusqu'à récemment, cette technologie s'en tenait à l'usage de polymères. Elle a maintenant franchi un pas en proposant une nouvelle manière d'utiliser les matériaux les plus demandés dans la construction: le béton et le bitume.

Nouvelle stratégie de précontrainte du béton imprimé 3D

L'impression 3D de béton par extrusion et dépôt de couches successives ouvre de nouvelles perspectives à l'emploi du béton dans la construction. Pour réduire l'impact environnemental de la fabrication d'éléments en béton, il est souhaitable d'améliorer l'efficacité et la précision des procédés. L'impression 3D permet avant tout de se passer de coffrage et des travaux qu'il implique. Le matériau peut être extrudé en tout endroit, ce qui est avantageux. La technologie en cours de développement à l'Empa va être encore affinée afin de se prêter à la précontrainte de l'armature. Habituelle-

ment appliquée sur des éléments finis, la précontrainte en augmente la résistance à la fissuration et en améliore le rapport résistance/poids.

L'application pratique de la précontrainte habituelle aux éléments imprimés en 3D reste cependant problématique, voire impossible. L'Empa et une équipe de l'EPF de Zurich explorent donc deux autres stratégies. La première passe par l'ajout de barres de raidissement en alliage à mémoire de forme («shape memory alloys», SMA) récemment développé à l'Empa avec le soutien d'Innosuisse et du Fonds national (FNS). Les barres noyées dans le béton sont activées par un courant électrique qui les précontraint. Les premiers éléments imprimés à l'EPF de Zurich et analysés à l'Empa présentent des caractéristiques prometteuses. Les poutres à barres noyées SMA activées offrent une meilleure résistance à la fissuration que les éléments à armature passive.

La seconde stratégie recourt à un béton expansif. Récemment breveté par l'Empa, ce béton se dilate en cours de durcissement et, ainsi, se précontraint sans intervention extérieure. Parmi les applications envisageables de l'impression 3D du béton, mentionnons les filigranes et les éléments de construction

1

Impression 3D par extrusion, couche après couche. Les éléments de béton contiennent des barres d'un alliage à mémoire de forme qui, après activation thermique, exercent une précontrainte sur le béton durci.

2

Un bras robotisé dépose un fil sur un lit de granulats. Ensuite noyé dans le revêtement, le fil améliore la résistance aux charges de l'empilement de couches. Il remplace le bitume. Cette technique pourrait à l'avenir réduire de beaucoup les atteintes à l'environnement des infrastructures routières.



ment appliqué sur des éléments finis, la précontrainte en augmente la résistance à la fissuration et en améliore le rapport résistance/poids.

La fabrication additive dans le bitumage des chaussées

Nos routes sont généralement revêtues d'asphalte, matériau dans lequel du bitume sert de liant à un granulat minéral. Tiré du pétrole, le bitume et sa modeste dose d'additifs sont à l'origine des importantes atteintes à l'environnement générées par les routes goudronnées. Un projet confié à l'Empa par l'Office fédéral des routes (OFROU) pourrait permettre de résoudre ce problème en réduisant, voire en éliminant le bitume et autres liants des revêtements routiers. La novation consiste à faire déposer par un bras robotisé une armature souple consistant en un fil traçant, couche après couche, un motif adéquat sur un lit de granulats. L'intrication des éléments du granulat avec le fil transmet les forces de traction vers les couches inférieures assurant ainsi la stabilité de l'ensemble. Par ailleurs, la fabrication de cet asphalte se prête à l'utilisation des granulats plusieurs fois recyclés ou de qualité inférieure. Les caractéristiques mécaniques de ce nouvel asphalte ont fait l'objet d'une modé-

lisation sur ordinateur par éléments finis (MEF). Très prometteurs, les premiers essais confirment la faisabilité de ce concept innovateur. //

Réduire les émissions sonores

Plusieurs facteurs environnementaux tels que le bruit et la pollution de l'air sont source de désagréments, réduisent nos performances et nuisent à la santé de la population suisse. Une équipe interdisciplinaire à laquelle participent des chercheurs de l'Empa a pu montrer que non seulement les nuisances sonores chroniques étaient dommageables pour la santé, mais aussi que les brèves perturbations sonores nocturnes pouvaient provoquer en quelques heures des crises cardiovasculaires fatales. C'est pourquoi nous développons des modèles de génération et de propagation du bruit et étudions divers moyens d'en réduire l'impact. Des équipes de l'Empa ont mis au point des traverses de voie ferrée ne transmettant pas les vibrations, des procédures de décollage moins bruyantes et des matériaux légers qui atténuent la propagation du son. Elles contribuent ainsi à l'amélioration de la qualité de vie de la population.

Rouler sur des semelles souples

A ce jour, la Suisse a déjà engagé 1,3 milliard de francs dans l'assainissement du bruit ferroviaire. Malgré cela, une centaine de milliers de personnes souffrent encore de nuisances sonores d'origine

ferroviaire supérieures aux limites admissibles. Le trafic ferroviaire génère des vibrations sur une très large plage de fréquences (de quelques hertz aux limites de l'audible), vibrations qui se propagent à travers de nombreux types de milieux. L'installation et l'exploitation des voies ferrées doivent répondre à des exigences parfois contradictoires. Il s'agit d'une part de réduire le plus possible les vibrations mécaniques et sonores mais, d'autre part, la voie ferrée doit être assez rigide pour des raisons de sécurité, pour conserver son tracé et pour limiter l'usure des rails et des traverses ainsi que le tassement du ballast. En collaboration avec l'EPFL et des CFF, l'Empa a mis au point de nouvelles semelles qui amortissent efficacement les vibrations des rails et permettent d'optimiser la rigidité dynamique de l'ensemble de la voie ferrée en fonction des fréquences. L'élément est composé d'élastomères aux propriétés viscoélastiques finement ajustées.

Les chercheurs en acoustique de l'Empa ont également développé des méthodes innovantes de prévention de la transmission par le sol des vibrations et des secousses liées au trafic. Elles font appel à des «cristaux phoniques», en l'occurrence des structures cristallines

macroscopiques dont les torsions internes atténuent la propagation des vibrations. Ces cristaux sont dimensionnés de manière à satisfaire, dans les fréquences basses les exigences contradictoires de haute rigidité mécanique et de faible transmission des ondes.

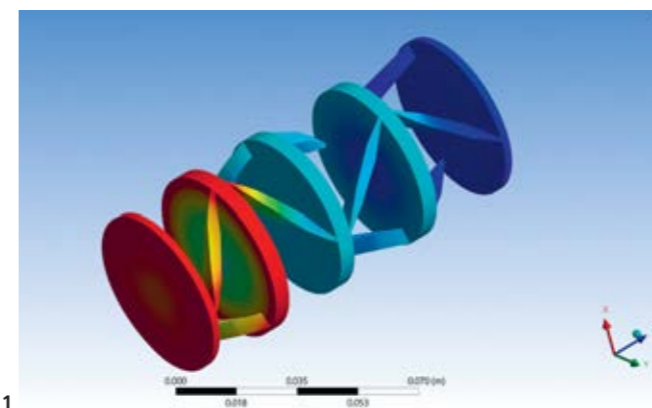
Des oasis de paix dans les villes

On sait aujourd'hui que de nombreux problèmes de santé sont liés aux nuisances sonores. L'Empa contribue aux recherches dans ce domaine par ses analyses détaillées du bruit. L'objectif est de comprendre la problématique jusque dans ses moindres détails afin d'élaborer les mesures préventives et réglementaires qui s'imposent. L'étude SiRENE («Short- and Long-Term Effects of Transportation Noise Exposure») – une collaboration entre l'Empa et l'institut Swiss TPH («Swiss Tropical and Public Health Institute») – a permis de réunir de nouvelles connaissances sur le bruit routier, ferroviaire et aérien. L'équipe de l'Empa a eu recours à des modélisations sophistiquées pour chiffrer avec précision le niveau des nuisances sonores auquel la population suisse était exposée. Les données de l'étude ont également été enrichies de paramètres environnementaux «verts». On a pu ainsi montrer que végé-

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

1
Cristaux phoniques avec un large éventail d'applications pour l'isolation des vibrations.

2
Cartographie du bruit en milieu urbain (projet SiRENE).



taliser les zones habitées contribuait à y réduire le bruit routier et ferroviaire mais y augmentait le bruit généré par le trafic aérien. Les valeurs étaient de l'ordre de -6 dB pour le trafic routier, -3 dB pour le trafic ferroviaire et +10 dB pour le trafic aérien lorsque l'indice de végétation passait de «peu vert» (percentile de 5% de la distribution des échantillons) à «très vert» (percentile de 95%). Ainsi, il serait possible de réduire sensiblement les nuisances sonores du trafic routier dans les villes en y augmentant la part de végétation bien visible et les surfaces vertes de proximité. Conclusion de l'étude: les surfaces vertes et la végétation jouent un rôle essentiel dans l'aménagement urbain. Le projet SiRENE a été suivi d'un projet RESTORE, également financé par le programme Sinergia du Fonds national suisse. Une équipe de l'Empa collabore avec le WSL (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage) pour étudier l'influence du bruit sur le stress et l'effet des espaces verts sur sa réduction et sur la détente des habitants. //

La recherche en énergie – des matériaux nanostructurés aux systèmes énergétiques nationaux

La Suisse s'est engagée à être climatiquement neutre en 2050 et donc à ne plus émettre de gaz à effet de serre – déduction faite des mesures de captage et de stockage du CO₂. Cet objectif à long terme maintenant fixé, il s'agit de passer aux actes. La transformation du système énergétique joue ici un rôle central. Sa transition vers la neutralité climatique dépendra beaucoup des conditions-cadres économiques, juridiques et sociétales. Lors d'un webinar organisé par l'Empa en juin 2020, des experts de l'Empa et des représentants des autorités de régulation, des associations professionnelles et d'entreprises du secteur de l'énergie ont réfléchi à la question de savoir si les conditions-cadres actuelles font plutôt partie du problème ou de la solution. Une table ronde fort animée a montré que la question était loin d'être résolue.

Approvisionnement durable des quartiers en énergie

La transition vers un approvisionnement énergétique durable n'est pas sans poser des problèmes à de nombreuses communes et entreprises. La question se pose en particulier lorsqu'il s'agit d'équiper de nouveaux secteurs. Les options et les opportunités diffèrent beaucoup selon la

situation et les infrastructures, que l'on pense au chauffage des bâtiments, à la production et au stockage local d'électricité ou aux infrastructures de recharge des batteries de voitures électriques. Comment réduire au mieux les émissions de CO₂ dans le cadre d'un budget donné? Où agir pour obtenir d'importants effets à bon compte? Pour permettre de répondre rapidement et avec précision à ce type de questions, le laboratoire «Urban Energy Systems» de l'Empa élabore depuis plusieurs années des algorithmes, des modèles et des méthodes qui, après plusieurs essais sur le terrain, ont atteint l'année dernière leur maturité commerciale. La spin-off «Urban Sympheny», créée en avril 2020 pour en poursuivre le développement et en faire une application cloud, s'est déjà assuré de nombreux clients.

L'Empa coordonne un projet européen de recherche sur les batteries

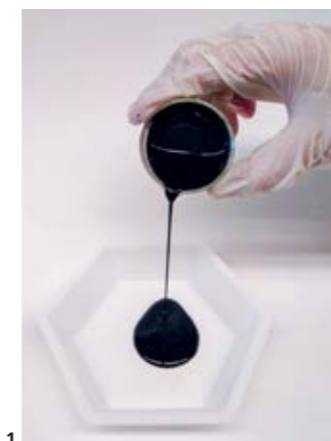
Les batteries ont de toute évidence un rôle central à jouer dans notre course à la neutralité climatique. Pensons à la mobilité électrique ou au stockage de l'électricité solaire et éolienne. Plusieurs laboratoires de l'Empa œuvrent dans ce domaine de la recherche. C'est le cas du département «Materials for Energy Conversion» qui coordonne depuis le début 2020 le projet

«SeNSE» du programme européen Horizon 2020. Dans ce projet, des instituts de recherche et des entreprises industrielles de sept pays européens étudient les améliorations possibles de la technologie lithium-ion qui domine actuellement le marché. L'accent porte sur la chimie des cellules et la gestion des batteries – dont il s'agit d'améliorer entre autres la rapidité de recharge et la durée de vie – ainsi que l'amélioration de la sécurité par l'emploi d'électrolytes non combustibles.

Nouveaux matériaux pour les accumulateurs mobiles

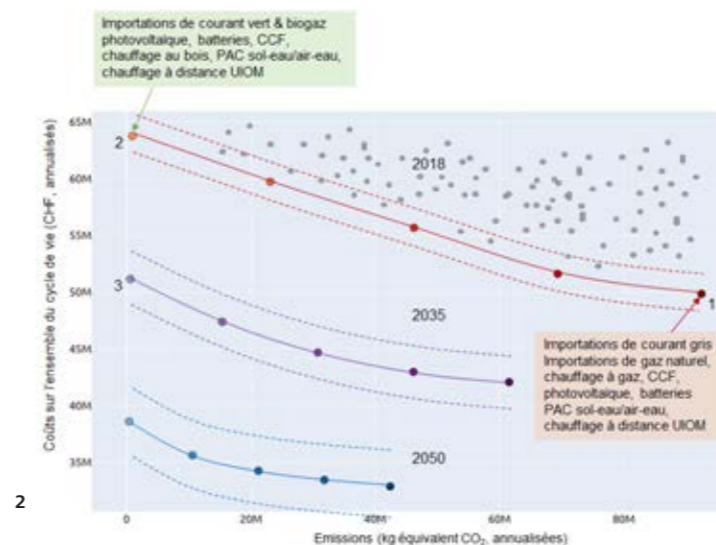
Les appareils mobiles fonctionnant en réseau et certains implants sont alimentés par piles. Il s'agit de modèles très compacts dont on attend une grande fiabilité. Les microsupercondensateurs peuvent s'imposer dans ce domaine. En effet, ils supportent plus de cycles de charge que les batteries et peuvent se charger et être déchargées plus rapidement. Les matériaux jouent ici un rôle important dans l'augmentation des puissances, la simplicité et le coût de fabrication. Un autre type de matériau bidimensionnel moins connu que le graphène focalise ici l'attention: les MXènes. Ce sont des liaisons métal (M) du groupe des éléments de transition tels que le titane, et soit du carbone,

Dr. Peter Richner, peter.richner@empa.ch
Dr. Björn Niesen, bjoern.niesen@empa.ch



1 MXène de haute viscosité en phase aqueuse pour applications en impression de composants électroniques.

2 Fronts de Pareto (ensemble de solutions optimales) pour l'approvisionnement en énergie de la ville de Coire les années 2018, 2035 et 2050, obtenus par le logiciel de Sympheny. Les points gris montrent toutes les solutions non optimales pour l'année 2018.



soit de l'azote (X). Les couches 2D de MXènes présentent des caractéristiques électriques, optiques et mécaniques différentes selon leur composition chimique et la fonctionnalisation de leurs surfaces. Il est entre autres possible de fabriquer des encres aux MXènes conductrices de l'électricité et de viscosité quelconque sans recourir à des additifs. L'impression des électrodes de microsupercondensateurs s'en trouve très simplifiée. Le département «Functional Polymers» de l'Empa a réalisé l'année dernière une telle encre à base de MXènes. Fidèle à la maxime «turning trash into treasures», il a également utilisé comme matière première des produits intermédiaires nécessaires à la fabrication des MXènes et qui finissaient naguère au rebut. Le remarquable potentiel de cette encre n'occasionnant pour ainsi dire aucun déchet a ensuite été démontré par la fabrication de microsupercondensateurs de haute puissance. //

La pandémie de COVID-19 a mis en évidence l'importance de la cohérence des interactions entre la recherche, les hôpitaux, l'industrie, les offices fédéraux et le monde politique. Comme il y a des années que l'Empa entretient des relations avec toutes ces institutions, il n'est pas surprenant que nous ayons notre place dans la task force scientifique de la Confédération. Affronter une pandémie nécessite une approche holistique. Les spécialistes de différentes disciplines doivent œuvrer en commun par exemple à la production rapide de masques textiles. Pour assurer la qualité du produit, il faut connaître les caractéristiques des matériaux, la structure textile des différentes couches ainsi que la manière de passer à la production industrielle.

Signalons aussi que, cette dernière année, nous avons beaucoup développé notre secteur bio-informatique, lequel s'est révélé fort utile dans le traitement des données de la pandémie. Ce développement visait l'accélération et l'amélioration du traitement des données de santé, profil génétique compris, pour pouvoir répondre aux exigences de la médecine personnalisée. Nous avons par ailleurs développé nos capacités de simulation. Il est chaque jour plus clair que les

bonnes solutions – rapides et efficaces – naissent des échanges entre expérimentations et simulations. Notre force, en ces temps troublés, est de disposer d'une vue d'ensemble et d'un savoir-faire général en synthèse et mise en œuvre des matériaux, bio-analyse, modélisation et simulation informatique, bio-informatique, imagerie et sciences biologiques.

Simulation

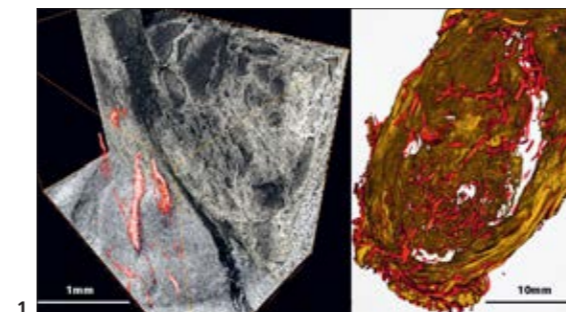
Le suivi médical de longue durée ouvre des perspectives prometteuses pour la détection précoce des problèmes de santé. Lorsqu'un patient et le personnel médical s'accordent sur un tel suivi, il est essentiel que la collecte des données et les capteurs utilisés à cette fin soient fiables, n'entravent en rien les activités du patient et soient dénués d'effets secondaires. L'Empa développe actuellement des fibres conductrices de l'électricité et des fibres optiques qui, sous forme de tissus, peuvent mesurer divers signaux corporels: électrocardiogramme, activité respiratoire, saturation du sang en oxygène, etc. On en étudie actuellement l'intégration dans la routine clinique en partenariat avec, entre autres, l'Hôpital cantonal de Saint-Gall, l'Hôpital universitaire de Zurich ou l'Inselspital de Berne. Le croisement et l'étude statistique de ces signaux

permet de développer des modèles anticipateurs figurant divers aspects du patient. Combinés avec des modèles physiques multifactoriels de tissus humains, ils prennent valeur de double numérique. Un double numérique permet de suivre l'état de santé d'un sujet et de lui offrir des thérapies sur mesure telles que l'infiltration de médicaments par timbre transdermique. Les doubles virtuels permettent par exemple d'individualiser le traitement de la douleur ou du diabète. Ils permettent aussi de prévoir le déroulement de la thérapie et de réguler en temps réel le dosage des médicaments délivrés de manière non invasive, sur la base des données physiologiques propres au patient.

Nouvelles techniques en nanomédecine

Le développement de la médecine personnalisée a incité les chercheurs de l'Empa à en anticiper les besoins. Forts de leur savoir-faire en synthèse des nanomatériaux et à la suite d'études pré-cliniques, ils ont conçu des matériaux et des dispositifs innovants susceptibles de satisfaire les besoins de la clinique. Nos modèles multicellulaires de barrières tissulaires sont en mesure de reproduire des processus physiologiques humains et – à l'aide de procédés d'imagerie mul-

Prof. Dr. Alex Dommann, alex.dommann@empa.ch



1 Tomographie en contraste de phase à haute résolution d'un réseau vasculaire (rouge) dans un carcinome thyroïdien.

ti-échelles et de la bio-informatique – de fournir une représentation holistique des interactions complexes, du cheminement des signaux, et des processus de guérison. Le savoir, élaboré en échange avec les cliniciens, a, cette année encore, débouché sur de beaux succès. Nous avons pu développer de nouveaux nanomatériaux adhésifs à utiliser en fin d'intervention chirurgicale et qui exercent en outre une influence bénéfique sur la guérison des plaies et la vascularisation des tissus. Ce domaine d'activité a essaimé avec succès sous forme de spin-off.

Nous avons encore renforcé nos activités en biologie des systèmes et l'équipe a rejoint cette année le Swiss Institute of Bioinformatics. Pour rester en phase avec l'évolution rapide de ces domaines, il faut pouvoir compter sur un excellent réseau d'experts. C'est ainsi que nous explorons avec l'Hôpital cantonal de Saint-Gall une nouvelle piste sur le rôle des cellules immunitaires dans les

tissus cancéreux en vue de développer de nouvelles thérapies oncologiques basées sur l'usage de nanoparticules.

Éviter les infections bactériales lors de l'usage d'implants

Autre point fort de la recherche à l'Empa: les matériaux qui, après une blessure ou une maladie, favorisent la régénération des cellules et des tissus, ou alors préviennent la prolifération des bactéries sur les tissus – par exemple en présence de plaies – sur les prothèses ou sur le matériel médical. Les besoins en nouveaux types de matériaux conviennent aux nouveaux types de traitements sont énormes. L'Empa y travaille dans de nombreuses directions: matériaux pour la régénération des os et du cartilage, prothèses personnalisées réalisées par impression 3D ou autres procédés novateurs, matériaux d'intégration et de régénération des parties molles, matériaux qui optimisent et accélèrent la

guérison des plaies. Les idées sont souvent inspirées de principes observés dans la nature. L'hybride cellulose-polymère destiné au soin des blessures en est un exemple: il se base sur les peptides de liaison spécifiques de la cellulose et a été enrichi de diverses fonctionnalités répondant à des besoins cliniques.

Technologies et imagerie biomédicales

Les progrès de la médecine personnalisée dépendent beaucoup de la disponibilité d'images de haute résolution des structures observées dans les tissus tumoraux. Elles nous permettent de mieux comprendre les rapports entre les symptômes (phénotype) et les caractéristiques génétiques individuelles (génotype). C'est pourquoi nous faisons œuvre de pionnier dans le développement des méthodes non invasives d'imagerie analytique tridimensionnelle des tissus tumoraux. Les masses de données réunies sont traitées à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique et servent au diagnostic oncologique ciblé en médecine personnalisée. L'exemple montre le réseau vasculaire du carcinome d'une glande thyroïde humaine. //



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 plus de 600 scientifiques hautement qualifiés et son infrastructure technique de haut niveau.

Marlen Müller, marlen.mueller@empa.ch

Comme le contexte économique et social ne cesse de changer, il est indispensable de faire preuve de souplesse et de réactivité. Autrement dit, les connaissances et résultats récemment acquis en laboratoire doivent en sortir le plus rapidement possible pour déployer leurs effets dans l'économie réelle sous forme de produits et de services commercialisables. L'Empa insiste beaucoup sur le rapide transfert technologique vers l'économie, ce qui implique une étroite collaboration avec ses nombreux partenaires industriels.

En 2020, l'Empa a lancé 208 nouveaux projets de recherche en partenariat avec l'industrie. Elle a déposé 15 demandes de brevet et conclu 14 nouveaux contrats de licence et de transfert de technologies avec des partenaires commerciaux.

Actuateurs polymériques: une collaboration fructueuse

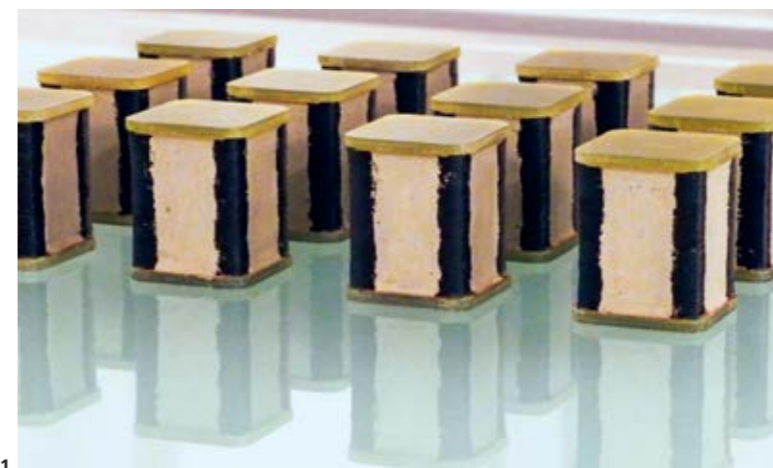
CTsystems AG, une spin-off de l'Empa, collabore depuis 2018 déjà avec l'entreprise suisse Dätwyler AG sur la question des actuateurs polymériques. Il s'agit de polymères électroactifs (EAP) dont la forme change lors d'une mise sous tension. Ils peuvent par exemple s'allonger ou s'épaissir. Leur similitude

fonctionnelle avec les muscles les fait parfois qualifier de «muscles artificiels». CTsystems a maintenant présenté ses premiers prototypes de convertisseurs électromécaniques polymériques multicouche. Ils se composent d'un empilement déformable de fines couches d'élastomères revêtues d'électrodes adéquates. Ils permettent de convertir l'énergie électrique en travail mécanique. On peut en envisager l'application dans l'automobile pour des vannes, pompes, systèmes de fermeture, réglage des sièges, feed-back haptique, interrupteurs, etc. Outre leur robustesse et leur faible consommation de courant, ces applications se passent d'éléments mécaniques complexes, fonctionnent silencieusement et peuvent également servir de capteur.

La jeune société se concentre sur le développement de technologies et de procédés de fabrication ainsi que sur la recherche avancée. Pour lancer sa technologie sur le marché, elle propose des licences de production à différentes entreprises industrielles fabricant des actuateurs. Son premier partenaire est Sateco XT AG qui monte actuellement une installation pilote. Dätwyler AG réfléchit également à la production en grande série.



2



1

1 Prototypes d'actuateurs polymériques réalisés par empilement de couches très fines d'élastomères. Image: CTsystems

2 Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa (à gauche) en compagnie des lauréats Joshua Avossa (HelloMask), Andrew Bollinger (Urban Sympheny AG) et Tino Matter, chercheur à l'Empa (anavo AG).

L'Empa Innovation Award 2020

Les fleurons du transfert technologique de produits ou de prestations innovantes méritent d'être célébrés. Depuis 2006, l'Empa décerne tous les deux ans un Empa Innovation Award à trois projets ayant réussi le grand saut.

Le premier prix est allé à une technologie du domaine de la santé qui donne un coup de vieux au matériel de couture chirurgical: Nanoglue est un nouveau type de colle chirurgicale favorisant la guérison rapide et plus sûre des plaies et entailles. Elle a été développée par des chercheurs de l'Empa et le Nanoparticle Systems Engineering Lab de l'EPF de Zurich. Cette technologie est en cours de développement par la spin-off anavo AG.

Un prix honorifique a été attribué au projet «HelloMask» de masques transparents mené par des chercheurs de l'Empa et de l'EPF de Lausanne. Les masques seront commercialisés par la start-up HMCare AG. Un autre prix honorifique est allé à «Sympheny», une plateforme informatique d'étude des systèmes énergétiques durables qui est commercialisée par la spin-off Urban Sympheny AG. //

Nouveaux ponts entre la science et l'économie

Les incubateurs d'affaires de l'Empa ont accompagné l'année dernière 48 start-ups totalisant 474 collaborateurs, du projet commercial initial jusqu'à leur entrée sur le marché.

Douze d'entre elles travaillaient dans les murs de l'incubateur glatec de Dübendorf où les équipes de dix autres jeunes entreprises – certaines pas encore officiellement créées – bénéficiaient également de conseils ou d'un coaching. Parmi les futurs entrepreneurs hypermotivés se trouvait Kilian Schillai et son entreprise epra Engineering. Après de nombreuses années dans la recherche à l'Empa et à l'EPF de Zurich, il s'est fixé pour but de donner un tour pratique à son savoir et à son expérience dans le vieillissement des infrastructures énergétiques. Une part importante du réseau d'approvisionnement en énergie a plus de 50 ans. Les matériaux, modes de construction et procédés d'alors étaient bien différents des techniques d'aujourd'hui; les modes actuels de construction et de fixation risquent d'y provoquer des dommages. L'activité d'epra Engineering portera sur les bilans d'état, l'analyse des défaillances, la simulation et la mesure.

Les spin-off de l'Empa logées dans l'incubateur glatec ont bien poursuivi

leur développement au cours de cette année difficile. «Urban Sympheny» s'est vu décerner l'un des prix d'honneur «Empa Innovation Award 2020» pour sa plateforme informatique d'étude des systèmes énergétiques durables. L'Empa distingue ainsi les efforts de ses chercheurs qui, engagés dans la recherche appliquée orientée marché, lancent de nouveaux ponts entre la science et l'économie (voir en page 46).

«Swiss Wood Solutions» a créé une carte bancaire en bois nommée «Wooden Smart Cards». Le bois, érable, érable à sucre, cerisier, chêne ou épicéa est de production locale. La carte est d'excellente présentation, agréable au toucher et parfaitement fonctionnelle. Elle devrait remplacer les cartes en plastique, du moins partiellement. L'utilisation de matières synthétiques issues du pétrole occasionne non seulement des émissions de gaz à effet de serre mais crée par la suite d'énormes problèmes de déchets étant donné les carences du recyclage.

Et voici le Parc de l'Innovation Est!

En 2020, Startfeld, à Saint-Gall, célébrait ses dix ans. L'incubateur commun de l'Empa, de l'Université de Saint-Gall, et de la Haute Ecole de Suisse orientale a fourni en 2020 plus de 150 premiers

conseils, soutenu douze projets par des montants pouvant atteindre 10 500 francs et a assuré douze financements pour un total de 900 000 francs.

Le projet anavo de l'Empa a obtenu le «Label Spin-off» de l'Empa et de l'Université de Saint-Gall. La composition originale de sa pâte à nanoparticules s'appuie sur les nanotechnologies les plus récentes. Elle renforce la capacité du corps de se rétablir par lui-même et bloque les infections bactériennes. La pâte aide les chirurgiens soucieux de la sécurité et de la survie des patients en réduisant le nombre de complications et en accélérant le processus de guérison. La technologie a été développée à l'Empa de Saint-Gall et à l'EPF de Zurich. anavo a emporté l'Empa Innovation Award 2020 (voir en page 47).

matriq AG, une spin-off du campus OST de Buchs, a remporté le Diamant Startfeld 2020, les phases I et II du Venture Kick et s'est assurée une position de finaliste à «venture». matriq propose des solutions innovantes d'identification des pièces en plastique de tout genre. Sa technologie DynamicMold permet de procéder au marquage lors de l'étape même de production des pièces, qu'il s'agisse de moulage par injection, par soufflage ou de thermoformage. Outre

Mario Jenni, mario.jenni@empa.ch

Peter Frischknecht, peter.frischknecht@empa.ch

son utilisation dans le traçage, la technologie DynamicMold permet également l'intégration au produit d'une protection contre la contrefaçon.

Les activités de Startfeld sont citées dans la candidature de la Suisse orientale au Parc d'innovation Est du réseau «Switzerland Innovation». La candidature, déposée auprès du Conseil fédéral, a reçu l'appui du conseil de fondation «Switzerland Innovation». //



1



2

1 Site principal du projet de Parc de l'Innovation Est, à proximité immédiate de l'Empa.

2 «Swiss Wood Solutions» a mis au point la carte bancaire «Wooden Smart Cards» en bois de production locale. Image: Swiss Wood Solutions

Gabriele Dobenecker, gabriele.dobenecker@empa.ch

Mobilité débridée, boulimie énergétique, en pleine forme jusqu'à un âge avancé, des logements confortables... comment satisfaire toutes ces attentes quand elles vont à l'encontre du bien-être de la Terre que nous transmettrons à nos enfants? La réponse se trouve dans le développement de technologies innovantes et de nouveaux matériaux qui nous assureront un avenir durable, agréable, résilient et économiquement prospère.

Notre pointe de mire: un système économique fonctionnant en boucle et se distançant de l'actuelle société du tout-jetable. C'est pourquoi nous gardons toujours présent à l'esprit que les cycles de vie des matériaux doivent être bouclés dans toute la mesure du possible. Nos ressources ne sont pas inépuisables et nos matières premières sont trop précieuses pour ne pas être réutilisées.

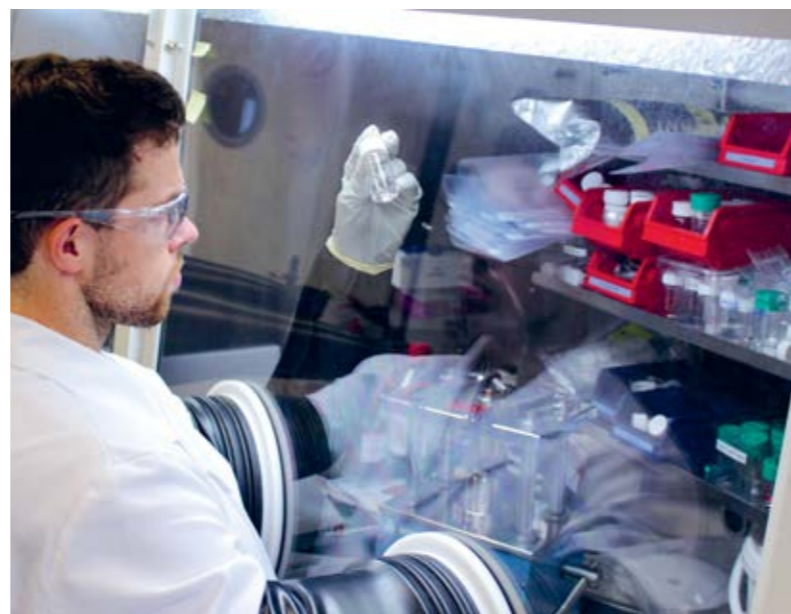
Le Fonds de l'Avenir de l'Empa soutient des projets de recherche et des talents prometteurs difficilement finançables par d'autres voies, il soutient des idées novatrices pouvant jouer un rôle moteur dans le développement durable. Les moyens alloués proviennent de donations d'intérêt général accordées par des entreprises, des fondations et des personnes privées.

Un grand pas vers l'économie circulaire

Une économie circulaire écologiquement et économiquement viable a besoin de nouveaux matériaux, procédés et systèmes. «Research Call 2020» – l'appel à contribution de l'Empa sur le thème de l'économie circulaire – avait pour but d'identifier des idées novatrices, voire révolutionnaires, susceptibles de relever ce défi. Y ont répondu une quarantaine de projets. Quinze d'entre eux ont reçu un soutien financier, dont deux par la Fondation Ernst Göhner.

Recyclage du fluor des accumulateurs lithium-ion

L'un de ces projets de recherche a pour nom «Fluoribat». L'énorme quantité d'accumulateurs qu'il s'agit de fabriquer puis de recycler a rappelé l'existence d'un élément chimique discret, le fluor. On en trouve en petite quantité dans toutes les batteries lithium-ion. L'électrolyte liquide contient un sel riche en fluor qui, au contact de l'air, se transforme en hydrogène fluoré très agressif. En service, les accumulateurs doivent être parfaitement étanches à l'air, faute de quoi il s'en dégage des composés chimiques toxiques. Mais finalement, lors du recyclage, l'accumulateur est éventré. L'hydrogène fluoré



1

1

Maximilian Becker manipule des sels de lithium résistant à l'eau pour un nouveau type d'accumulateurs lithium-ion.

2

Flamme allumée lors de l'explosion d'une batterie au lithium-ion (type 18650). Les batteries lithium-ion à base d'eau seraient plus sûres à manipuler et plus faciles à recycler.

2



qui s'en échappe complique et renchérit l'opération. «Fluoribat» entend résoudre cette question, ce qui réduirait l'impact du cycle de vie de ces accumulateurs

Un béton ultraperformant à moindre impact sur l'environnement

Un autre projet a pour ambition de réduire l'impact environnemental de l'industrie du bâtiment en proposant un béton ultraperformant précontraint par barres d'acier à mémoire de forme (SMA, «shape memory alloy»). Cela permettrait d'employer des bétons contenant beaucoup moins de ciment de Portland, premier responsable du lourd bilan CO₂ de ce matériau, et de réaliser des éléments plus fins, plus légers, qui se prêtent idéalement à la réfection des bâtiments, prolongeant ainsi leur durée de vie.

Tout en ligne

La pandémie ayant empêché l'organisation de l'événement en présentiel, la rencontre avec les donateurs du Fonds Empa de l'Avenir s'est tenue pour la première fois de manière entièrement virtuelle. Une rapide présentation a permis aux personnes et organismes qui nous soutiennent de se faire idée des projets les plus prometteurs de l'année. //

Cultiver virtuellement notre réseau global

Prof. Dr. Gian-Luca Bona, gian-luca.bona@empa.ch

L'Empa entretient un réseau de contacts quasiment planétaire et poursuit des projets en coopération avec des chercheurs de presque 100 pays. Ce sont sans doute les échanges directs avec ces partenaires internationaux qui ont le plus souffert de la pandémie. Nombre de rencontres ont tout d'abord été annulées, puis transférées à l'espace virtuel grâce à Zoom et Co.

En début d'année, notre réseau a fonctionné à peu près «normalement». L'Empa a pu recevoir en janvier et février 2020 diverses délégations internationales et échanger avec elles sur les défis que nous réservait l'avenir et les pistes à explorer en matière d'innovation. En février, Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa, a pu faire visiter notre plateforme de recherche NEST à une délégation de l'ambassade britannique. Peu avant, une délégation de l'Institut fédéral d'étude et de contrôle des matériaux, le BAM allemand, est venue nous rendre visite et discuter avec notre directeur adjoint Peter Richner de nouvelles possibilités de coopération dans le domaine de l'énergie.

Au cours des mois de mars et avril, nous n'avons pu tenir que de rares réunions en présentiel. La direction de l'Empa n'a pu maintenir les échanges

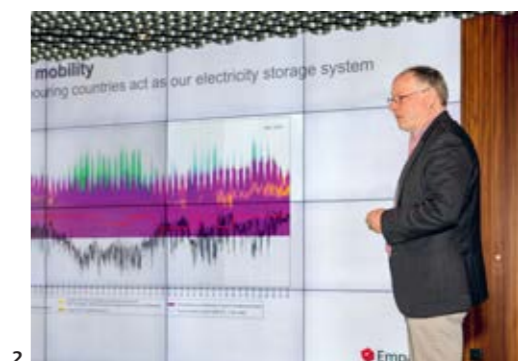
nécessaires à son travail que par écran interposé: conseils d'administration et comités consultatifs d'universités et d'instituts de recherche étrangers, réunions liées aux grands projets internationaux de recherche auxquels l'Empa participe comme, par exemple, le projet ICON de développement de nouvelles technologies de batteries avec la Fraunhofer-Gesellschaft. Pierangelo Gröning a en outre représenté la Suisse avec des délégués du Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) lors de la rencontre d'experts du domaine nano, bio, matériaux et techniques de production (NMBP) du nouveau programme cadre de recherche et d'innovation de l'Union européenne «Horizon 2020». En juin, Brigitte Buchmann et Philipp Heer, chercheur à l'Empa et directeur de la plateforme ehub (voir en page 28), ont participé et présenté des exposés aux «Swiss-US Energy Innovation Days 2020» (SUEID).

Que tirons-nous de cette expérience, quel sera «le nouveau normal» de demain? Bien des choses ont fonctionné à satisfaction, certaines se sont même améliorées. Nous avons découvert qu'il était plus rapide et plus simple de se rencontrer dans l'espace virtuel que de nous transporter d'un point à l'autre de la pla-

nète. L'empreinte écologique de l'Empa s'en est trouvée réduite. Toutefois, dès que la situation le permettra, l'Empa va reprendre et cultiver les échanges personnels directs avec ses partenaires. Maintes choses sont plus simples lorsqu'on se rencontre, en particulier pour la première fois. Cela aussi, la pandémie nous l'aura rappelé. //



1 Le directeur de l'Empa en compagnie de l'ambassadrice du Royaume-Uni Jane Owen (deuxième à droite) et d'autres membres de sa délégation dans l'unité Urban Mining de NEST.



2 Christian Bach, chef de section à l'Empa, présente à un groupe de visiteurs réunis dans la salle de NEST le «Future Mobility Demonstrator» et les options à la mobilité post-fossile. C'était en février 2020, peu avant que ce genre de réunion ne puisse plus être tenu que virtuellement.

Quand le dialogue n'est plus que virtuel...

Dr. Michael Hagmann, michael.hagmann@empa.ch

En temps normaux, nous vous aurions rappelé ici toute l'importance que l'Empa accorde au dialogue direct avec ses partenaires et comment elle le cultive. Rien n'a changé, sauf les modalités. En cause: le COVID.

Les chiffres sont clairs, voire inquiétants: en 2019, nous avons reçu plus de 15 000 visiteurs et visiteuses, que ce soit pour un tour des laboratoires, pour l'une des nombreuses rencontres spécialisées de l'Académie Empa, sur le site du NEST ou dans le cadre d'autres projets phare. Ce nombre a chuté à moins de 3000, soit carrément 80 pour-cent. D'innombrables visites et événements déjà programmés ont dû être annulés, dont en particulier la Journée des portes ouvertes du mois de juin prévue pour le 140^e anniversaire de l'Empa.

L'Empa se virtualise

Pour réagir à la situation, l'Empa a donné un coup d'accélérateur à sa «virtualisation» déjà bien engagée. Notre Académie a organisé un nombre croissant de réunions en mode hybride ou virtuel, réunissant jusqu'à 850 participants en ligne. Elle continuera d'élargir cette offre. De son côté, NEST permet depuis

peu aux intéressés d'explorer sa plateforme, de visiter ses différentes unités et d'interagir avec ses nombreuses innovations par podcast, vidéo, chatbot, etc. Nous nous efforçons d'offrir un substitut aussi efficace que possible aux personnes qui auraient souhaité participer à des événements en présentiel, tout en sachant que cela ne permet ni la vivacité des échanges, ni la qualité de réseautage habituelles – deux préoccupations centrales de notre travail de communication.

Cela dit, dès que la situation s'est assouplie, plusieurs organisations – majoritairement du monde des affaires – nous ont rendu visite et ont eu des échanges avec notre direction et nos chercheurs sur les points chauds de l'actualité et les projets en cours. Parmi elles: le Fonds national suisse (SNF), les associations Science Industries et Swissmem, ainsi que l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). A l'issue de sa visite du mois de juillet, la direction de l'OFEV a pu inaugurer avec les responsables du projet de l'Empa la toute nouvelle station du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL) de Dübendorf, de manière festive mais en cadre restreint.



1

1

L'ouvrage «Bien plus que des matériaux» retrace l'histoire l'Empa et en esquisse l'avenir. Il montre comment les innovations sorties de ses laboratoires contribuent à maîtriser notre devenir et à maintenir la compétitivité internationale de la Suisse.

2

Tournage de la télévision suisse dans le laboratoire du département «Membranes et textiles biomimétiques». L'intérêt des médias pour la recherche de l'Empa – en particulier en relation avec Corona – a été extrêmement élevé pendant l'année de la pandémie.

3

La rencontre «Empa PhD Symposium 2020» a, comme plusieurs autres, été conduite en mode hybride.



2



3

Un écho médiatique sans précédent

La communication numérique n'a pas souffert du virus (biologique), au contraire. En 2020, elle a fleuri malgré ou grâce au COVID... Les chercheurs de l'Empa ont participé à plusieurs projets visant à maîtriser la situation sanitaire, entre autres comme membres de la Science Task Force de la Confédération (voir en page 30). Si bien que les médias ont continué de manifester un grand intérêt pour les recherches menées à l'Empa en cours de pandémie: 7700 articles en 38 langues ont rendu compte de nos recherches, soit plus, et dans plus de pays que jamais, mieux encore que le record de l'année précédente.

En 2020, nous avons publié un nouvel auxiliaire de communication: l'ouvrage «Bien plus que des matériaux», richement illustré, qui raconte en 220 pages les 140 années d'histoire de l'Empa, de ses débuts de «laboratoire d'essai des matériaux» dans une cave de l'EPF de Zurich, jusqu'à l'institut moderne de recherche actuel. Cent quarante années en compagnonnage actif avec l'industrie suisse. //

Femmes et science: belle productivité en dépit du Corona

Des chiffres récoltés dès le mois d'avril 2020 indiquent que, mondialement, les femmes ont publié moins d'articles scientifiques depuis le début de la pandémie. Cela tient au fait qu'elles consacrent plus de temps que les hommes aux soins, à leur ménage et à leur famille. C'est tout particulièrement le cas des familles monoparentales. Nous avons compté le nombre de premières auteures féminines travaillant chez nous dans des revues à comité de lecture. Il en ressort que nous avons été épargnés par le phénomène. Le nombre d'auteures n'a pas baissé par rapport aux deux années précédentes, passant de 26,2 à 28,9 %. Ce mouvement va même contre celui de nos effectifs scientifiques où le nombre de femmes est passé de 26 à 25,5 %. Nous vérifierons ces prochaines années si l'effet Corona se manifeste aussi chez nous, mais avec retard.

Dans ce contexte difficile, on pourrait presque qualifier d'anticyclique le fait que la chercheuse Dorina Opris a obtenu en 2020 un des prestigieux Consolidator Grants du Conseil européen de la recherche (CER) doté de deux millions d'euros. Ce financement lui permettra de poursuivre le développement de son équipe de recherche sur les nouveaux polymères au cours des cinq prochaines années.

Plan quadriennal d'action sur l'égalité des chances

Un groupe de collaborateurs et collaboratrices de l'Empa s'est chargé de revoir notre plan d'action sur l'égalité des chances. Il repose sur les cinq points suivants: l'ancrage du principe d'égalité des chances; des comportements respectueux; l'égalité des chances pour tous et toutes, en particulier pour les femmes occupant des fonctions de cadre; un bon équilibre entre vie professionnelle et vie privée; diversité et inclusion.

Le plan prévoit différentes mesures, dont:

- la sensibilisation annuelle de tout le personnel de l'Empa au problème des préjugés inconscients
- le soutien aux carrières féminines dans la science et l'industrie par divers programmes ciblés («Fix the leaky pipeline», CONNECT et le nouveau «We advance»)
- des échanges de savoir sur les programmes de soutien et l'adaptation des horaires pour les jeunes parents
- une meilleure connaissance de la culture des collaborateurs d'origine étrangère.

Pour plus de détails, voir la page «Egalité des chances» du site Web de l'Empa.

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

Recherche pour les jeunes

L'été dernier, nous avons pu organiser à nouveau un camp pour les enfants du personnel de l'Empa malgré les contraintes posées par le virus. Ils ont ainsi pu découvrir de manière ludique la place de travail de leurs parents. Par contre, la très populaire journée Futur en tous genres du mois de novembre, qui permet de se faire une idée sur les possibilités professionnelles dans la sphère technique et scientifique de l'Empa, a dû être annulée, comme plusieurs autres rendez-vous et manifestations. //



1
Dorina Opris, chercheuse à l'Empa, étudie de nouveaux types de polymères. En 2020, elle a pris place parmi les 330 bénéficiaires d'un très convoité Consolidator Grant du Conseil européen de la recherche (CER). Top photo: BM PHOTOS on behalf of the SNSF



2
Cool. Lorsqu'on fond de l'étain, l'important est de garder son calme et la flamme à l'œil.

L'environnement et l'énergie en cette année de COVID-19

2020 a sans conteste été une année intéressante: la situation créée par la pandémie nous a en effet permis d'étudier plusieurs phénomènes en grandeur réelle. Ainsi des mesures radicales telles que la réduction des vols d'affaire ou des effectifs dans les bureaux et les laboratoires, en faveur du travail à domicile. Ont-elles été suivies d'une réduction comparable de notre impact environnemental? Pour ce qui concerne les voyages d'affaires, les chiffres confirment ce à quoi on s'attendait: les vols comme les trajets en train ou en voiture ont nettement diminué (de près de 80% pour les vols). Notre consommation d'eau et de papier également. Par contre, nous n'avons enregistré quasiment aucune économie dans notre consommation d'électricité et de chaleur. Nos infrastructures semblent nécessiter autant d'énergie que nous les utilisons ou non, ce qui doit nous inciter à en améliorer la souplesse. Quant aux conséquences environnementales du travail à domicile, elles sont difficiles à discerner. Quels ont été les effets de la réduction du trafic pendulaire et de la forte augmentation des flux de communication virtuelle?

Compensation des émissions de CO₂ dues aux déplacements professionnels

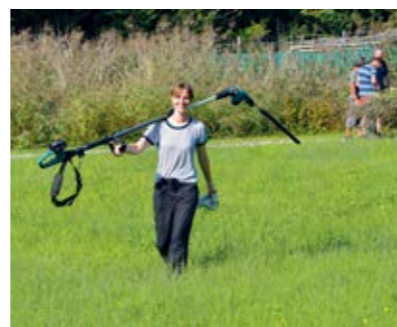
Le versement de taxes environnementales à titre de compensation est régulièrement critiqué – souvent à juste titre – et se voit même qualifier de trafic d'indulgences dans la mesure où il nous dégagerait de nos responsabilités individuelles. En 2020, l'Empa a introduit un intéressant système de compensation du CO₂ applicable à l'ensemble des déplacements en avion et en voiture. Notre taxe par tonne de CO₂ est supérieure à celle pratiquée par le marché et dont les projets de compensation se situent majoritairement à l'étranger. A l'Empa, les montants réunis sont utilisés en interne pour le passage des combustibles fossiles au biogaz, ce qui nous aide directement à atteindre nos objectifs climatiques. Rappelons que le train de mesures sur le climat édicté par la Confédération impose à son administration, Domaine des EPF compris, d'atteindre le «zéro net» d'émissions de CO₂ dès 2030.

L'engagement environnemental de collaborateurs de l'Empa

Dans leur vie privée, bon nombre de nos collaborateurs veillent à réduire leur im-

part environnemental. Au travail, en général, les décisions de l'employeur l'emportent et l'on se fonde dans les habitudes de l'entreprise. Heureusement que cela aussi évolue. Ainsi, en 2020, un groupe sur les questions de durabilité s'est créé au sein du personnel pour soutenir par des actions ciblées les efforts officiels de l'Empa dans ce sens. Citons comme exemple le Clean-Up Day national organisé en commun avec l'Eawag. //

Marcel Gauch, marcel.gauch@empa.ch



1



1

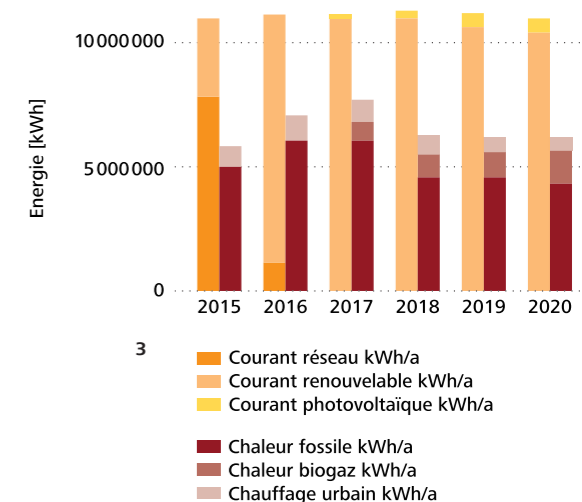
Engagement commun de militants de l'Empa et de l'Eawag lors du Clean-Up Day de septembre 2020, avec l'appui du Facility Management de l'Empa.

2

Restrictions massives du trafic aérien: hall d'enregistrement à l'aéroport de Zurich.

3

Evolution de la consommation d'énergie de l'Empa. Les besoins en énergie thermique (bâtiments) n'ont pas reculé malgré la réduction des personnes présentes. La part du biogaz et des énergies renouvelables a pu être augmentée grâce aux rentrées de notre taxe interne CO₂. La consommation d'électricité s'est légèrement tassée.



2



Faits et chiffres

Les chercheurs aiment bien mesurer, y compris leurs propres performances: en 2020 les chercheuses, chercheurs, ingénieures et ingénieurs de l'Empa ont publié 852 articles dans des revues scientifiques et déposé 15 brevets pour leurs développements. A la fin de l'année, 104 projets financés par le Fonds national suisse (FNS), 81 projets soutenus par Innosuisse et 72 projets UE étaient en cours à l'Empa. Ses 29 spin-off occupaient avec les autres start-up de ses deux incubateurs d'entreprises au total 1147 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.

Principes

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 des collaborateurs, des hôtes de l'Empa, ainsi que 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 et 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, puis sur les plans financier et de la réputation. Finalement, les mesures nécessaires à la maîtrise de ces risques sont précisées et mises en œuvre. Le processus de gestion des risques est périodiquement soumis à contrôle et, si nécessaire, adapté.

Le cas du COVID-19

Comme bien d'autres aspects de notre vie, la gestion des risques a été dominée en 2020 par le COVID-19. L'Empa a appliqué les règles de confinement. La direction a décidé de maintenir une activité minimale. La majorité du personnel a poursuivi son travail à domicile. Ont fait exception les équipes très réduites de chercheurs et le personnel de soutien engagés dans des projets critiques tels que la mise au point de masques et la sécurité.

Assurer ce régime minimum en garantissant la sécurité des personnes restées sur le site a constitué un défi pour le service de gestion des risques, mobilisant une bonne part de ses ressources. Il existait déjà un premier plan pandémie, il nous a facilité le passage vers cette situation inconnue. L'équipe d'intervention de l'Empa a joué un rôle particulier dans la maîtrise de la crise. Elle a assuré la liaison entre l'Empa et les autorités nationales et cantonales, collecté et transmis toutes les informations épidémiologiques nécessaires à l'adaptation des processus et à l'adoption des bonnes mesures, et collaboré à la ligne directrice de la conduite à suivre. L'équipe d'intervention s'est par ailleurs chargée d'assurer, outre le service médical habituel de l'Empa et de l'Eawag, le traçage des contacts et les conseils à l'ensemble du personnel sur les questions relatives au COVID-19. Elle a également conduit plus de 100 formations sur les mesures d'hygiène et l'usage du masque sur les trois sites et pour l'ensemble du personnel de l'Empa et de l'Eawag. Plusieurs centaines d'entretiens, de courriels et de téléphones ainsi qu'une série de mesures bien ciblées ont permis de sensibiliser et de tranquilliser l'ensemble du personnel. Nous avons réussi à prévenir la contamination directe entre personnes sur les sites.

Evolution des organes de sécurité

La formation des collaboratrices et collaborateurs est l'un des principaux axes de la prévention. Le service offre un large éventail de formations dans les domaines de la chimie, des nanotechnologies, de la sécurité dans l'utilisation des lasers, etc. adaptés aux différents niveaux d'engagement. Avec 450 à 500 nouveaux venus par année – collaborateurs et hôtes universitaires, cela représente une tâche gigantesque.

Les équipes d'intervention, le service du feu et l'équipe d'intervention en cas d'accident chimique ont pu maintenir en 2020 le rythme habituel de leurs formations. Plusieurs exercices communs ont été repoussés en raison du COVID-19.

Le nombre croissant de vols de drones sur le campus a rendu nécessaire l'adoption de règles de sécurité et la clarification de questions juridiques. Il a en outre été décidé d'acquérir des équipements spécifiques tels que des barrières, du matériel d'information et des extincteurs adaptés. La réglementation est entrée en vigueur le 1^{er} octobre 2020.

La question de la sécurisation de l'information s'est faite encore plus pressante ces dernières années. Des directives sur la problématique complexe du cloud ont été adoptées et entreront tout prochainement en vigueur. Un groupe «sécurité informatique» a été créé avec pour mission d'analyser systématiquement la situation, de définir les besoins propres de l'Empa et d'appliquer les mesures préconisées. //

Evolution du personnel

(entre parenthèses: chiffres de l'année précédente)

André Schmid, andre.schmid@empa.ch

A la fin 2020, L'Empa occupait 1022 (1033) personnes, apprentis compris. Du fait des nombreuses possibilités de temps partiel, cela équivaut à 958,2 (967,5) postes à plein temps.

Le personnel scientifique s'élevait à 588 (593) personnes, dont 104 (103) senior scientists. 393 (398) personnes travaillaient dans le secteur technique et administratif. Avec 29,7 (30,4) %, la proportion des femmes reflétait celle des diplômées des facultés des universités et des EPF représentées à l'Empa.

Le nombre d'étrangers s'élevait à 470 (468), soit 46,03 (45,3) % des effectifs totaux. 285 (287) de ces personnes provenaient de l'Union européenne, soit 60,6 (61,3) % des collaborateurs étrangers. L'Empa, qui offre une large palette d'apprentissages, occupait 41 (42) apprentis. En 2020, tous les apprentis en fin de formation ont cette fois encore passé avec succès leurs examens de fin d'apprentissage. //

EFFECTIFS DU PERSONNEL

	2019	2020
Personnel scientifique	593	588
Personnel technique / administratif	398	393
apprentis	42	41
Total	1033	1022

Chiffres clés

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

	2019	2020
Publications ISI	718	852
Contributions à des conférences	1250	494
Thèses de doctorat achevées	37	28
Doctorats en cours	208	199
Activités d'enseignement (en heures)	4406	4942
Prix / distinctions	81	46

PRÉSENCE DANS LES MÉDIAS

	2019	2020
Radio	169	118
TV	63	55
Presse écrite	1730	1405
Online	5500	6090
Total	7460	7665
Langues	34	38

ACADÉMIE EMPA

	2019	2020
Manifestations de l'Empa	48	24
Participants	2280	1300
Sur place / en ligne		450 / 850
Congrès scientifiques	12	6
Manifestations spécialisées pour l'industrie	21	13

TRANSFERT DE SAVOIR ET TECHNOLOGIE

	2019	2020
Nouveaux accords de recherche et développement	193	208
Contrats de valorisation actifs (licences / options / ventes)	66	66
Nouveaux contrats de valorisation	12	14
Nouveaux dépôts de brevet	12	15

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

	2019	2020
Entreprises total	104	119
dont spin-off	27	29
Collaborateurs total	956	1147
dont collaborateurs spin-off	136	155

PROJETS EN COURS

	2019	2020
FNS	105	104
Innosuisse	89	81
UE	72	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-PRÉSIDENTE

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

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

Susan Gasser Prof. Dr., Dr. h. c. mult., Universität Basel

Christiane Leister Leister AG

Joël Mesot Prof. Dr., ETH Zürich

Cornelia Ritz Bossicard 2bridge AG

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, Zürich

Burkhard Böckem Dr., Hexagon, Heerbrugg

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

Andreas Hafner Dr., BASF, Basel

Markus Hofer Dr., Bühler, Uzwil

Urs Mäder Dr., SATW, Zürich

Andreas Schreiner Dr., Novartis, Basel

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

Thomas Egli Prof. em. Dr., Feldmeilen

Marcus Textor Prof. Dr., ETH Zürich

Alexander Wokaun Prof. Dr., Endingen

Organigramme

Etat mai 2021

RESEARCH FOCUS AREAS (Axes de recherche)

Nanomatériaux et Technologies
Dr. Pierangelo Gröning

Sustainable Built Environment
Dr. Tanja Zimmermann
Dr. Mateusz Wyrzykowski

Santé et performances
Prof. Dr. Alex Dommann

Ressources et polluants
Dr. Brigitte Buchmann

Energie
Dr. Peter Richner
Dr. Björn Niesen

PLATEFORMES DE RECHERCHE ET DE TRANSFERT DU 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

DIRECTION

Directeur général

Prof. Dr. Gian-Luca Bona

Suppléant

Dr. Peter Richner

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

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

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

Mobilité, énergie et environnement

Dr. Brigitte Buchmann

Materials for Energy Conversion

Dr. Corsin Battaglia

Advanced Analytical Technologies

PD Dr. Davide Bleiner

Polluants atmosphériques / Techniques de l'environnement

Dr. Lukas Emmenegger

Technologies de propulsion automobile

Christian Bach

Materials for Renewable Energy

Prof. Dr. Andreas Züttel (Antenne Sion)

Technologie et société

Dr. Patrick Wäger

Acoustique / Contrôle de bruit

Dr. Jean Marc Wunderli

Functional Materials

Dr. Tanja Zimmermann

Scientific IT

Dr. Tanja Zimmermann

Materials and Technology Center of Robotics

Prof. Dr. Mirko Kovac

Céramiques hautes performances

Prof. Dr. Thomas Graule

Béton et asphalte

Prof. Dr. Pietro Lura

Cellulose & Wood Materials

Dr. Gustav Nyström

Building Energy Materials and Components

Dr. Wim Malfait a.i.

Advanced Fibers

Prof. Dr. Manfred Heuberger

Corporate Services

Dr. Urs Leemann

Bibliothèque (Lib4RI)

Dr. Lothar Nunnenmacher

Fundraising / Entrepreneurship / Industry Relations

Gabriele Dobenecker

Service Informatiques

Stephan Koch

Bureau d'étude / Atelier mécanique

Stefan Hösli

Finances / Controlling / Achats

Heidi Leutwyler

Communication

Dr. Michael Hagmann

Ressources humaines

André Schmid

Transfert de savoir et de technologie / Droit

Marlen Müller

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