

# Rapport annuel 2021



**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:

De la glycérine pour transmettre les données: Une équipe de l'Empa a mis au point une fibre beaucoup plus résistante et pouvant transmettre les données de manière aussi fiable. Le cœur de cette fibre longue d'un kilomètre est de glycérine liquide. La fibre peut même intégrer des composants microhydrauliques et des capteurs de lumière.

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

© Empa 2022 – ISSN 1424-2176 Rapport annuel Empa



Imprimé sur du papier recyclé à 100%



## L'humain au centre

Après presque treize ans à la direction de l'Empa, voici mon dernier éditorial. Quel privilège ce fut de servir une institution aussi remarquable, unique par sa culture, et de parcourir avec elle une étape du chemin! L'ouverture d'esprit de ses collaborateurs n'a jamais cessé de m'impressionner, toujours prêts à affronter de nouveaux défis et, forts de leur savoir, à déceler et se frayer de nouvelles voies. Que de fois ai-je eu ce plaisir de voir des collaborations nouées entre laboratoires a priori différents faire surgir du neuf. Lequel se cache souvent à l'interface de différentes disciplines. Cette agilité est caractéristique de notre culture. Elle nous permet de valoriser le résultat de notre recherche fondamentale pour le plus grand bien de la science des matériaux et du développement technologique. Les pages suivantes donnent une idée du spectre des recherches et des transferts de connaissances et de technologies pratiqués à l'Empa.

Ces deux dernières années ont été marquées par la pandémie. Elle a entraîné d'importants changements qui sont loin d'être terminés. La dislocation des chaînes d'approvisionnement globales a remis en valeur la production et les solutions locales. Par ailleurs, les enjeux géopolitiques se font toujours plus sentir. Les rapports entre la Suisse et l'Union européenne sont soumis à de fortes tensions qui se répercutent également sur le monde de la science. La faille entre les démocraties occidentales et les régimes autocratiques comme la Russie, la Chine, mais aussi qu'au Moyen-Orient, s'est tragiquement accentuée. L'attaque contre l'Ukraine nous montre brutalement que nous avons changé d'époque et que ce changement imposera des sacrifices à tout le monde.

La conquête de l'indépendance énergétique face aux énergies fossiles étrangères et la transition vers un système énergé-

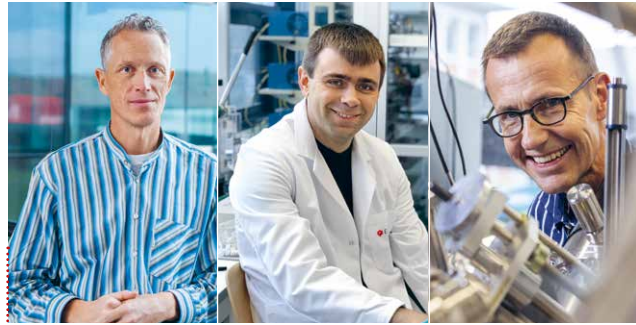
tique durable coûtera très cher à l'Europe, et donc à la Suisse. Nous devons également maîtriser les nouvelles techniques de production telles que la fabrication additive et la numérisation. Cette évolution, il s'agit de la piloter en harmonie avec nos priorités sociales, en veillant à ce que la Suisse se sente à l'aise dans le nouvel âge numérique et que son économie continue de donner la priorité à l'humain. L'informatique permet d'assurer la régulation intelligente et sécurisée de nombreux procédés de fabrication, grâce, entre autres, à l'intelligence artificielle et aux réseaux de capteurs. L'impression 3D, les nouveaux matériaux, l'apprentissage automatique dans les process industriels et les jumeaux numériques dans le suivi des systèmes nous ouvrent autant de nouveaux horizons.

Au premier coup d'œil, on peut ne voir là qu'une complexification du monde. A mieux y regarder, on perçoit la chance que cela représente pour l'Empa, un institut de recherche interdisciplinaire, ainsi que pour la Suisse, une économie fortement diversifiée. Nos laboratoires et les disciplines que nous maîtrisons nous permettent aujourd'hui de poursuivre de nombreuses recherches et d'en transférer les résultats à l'industrie. Cette agilité nous permettra demain de transférer rapidement les acquis d'un domaine à un autre. Les solutions développées aujourd'hui pour l'automobile peuvent, demain, donner des ailes aux technologies médicales.

Je suis convaincu que, dans les années à venir, l'Empa continuera d'être le moteur d'innovation d'importance capitale qu'il est déjà pour la Suisse. Par leur savoir-faire et leur riche expérience, nos collaborateurs et collaboratrices donneront naissance à de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies qui contribueront à nous façonner un avenir durable, digne d'être vécu.

*Prof. Dr. Gian-Luca Bona* directeur

## L'année en rétrospective

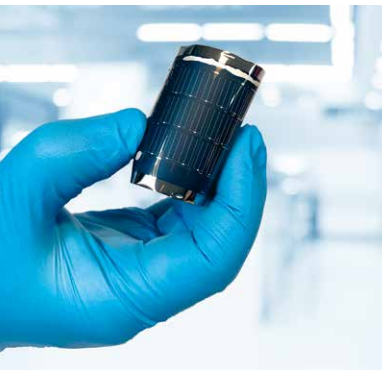


### Trois chercheurs de l'Empa sacrés «influenceurs»

Les «influenceurs» ne hantent pas que les réseaux sociaux, on en trouve dans le monde de la recherche. Leur impact se mesure au nombre de citations de leurs travaux par d'autres scientifiques. Le bureau d'analyse «Clarivate» distingue chaque année les «Highly Cited Researcher» de différents domaines. En 2021, trois de nos chercheurs ont figuré au palmarès de ce «Who's who» scientifique. Ce triplé est une première: Bernd Nowack, Maksym Kovalenko et Roman Fasel.

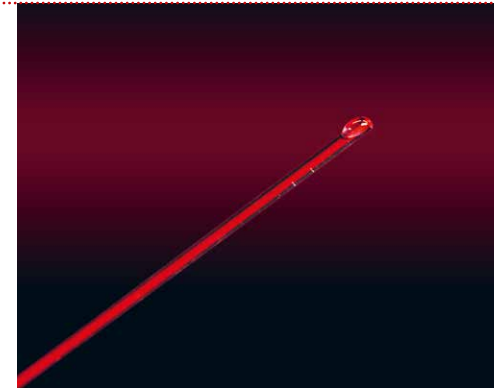
### Les cellules solaires souples deviennent concurrentielles

Un rendement de 21,4 pourcent pour les cellules photovoltaïques souples CIGS, tel est le record établi par des chercheurs de l'Empa. Ce type de cellules se prête particulièrement aux installations en toiture, sur véhicules et objets mobiles. Il se compose de couches très fines d'une liaison semi-conductrice de cuivre, indium, gallium et sélénium. A titre de comparaison: le meilleur rendement obtenu par des cellules non pliables de silicium cristallin est de 26,7 pourcent.



### De la glycérine pour transmettre les données

Les données et autres signaux transitent rapidement et de manière fiable par fibre optique... tant que la fibre ne se rompt pas. Or une forte torsion ou une traction peut la rompre. Une équipe de l'Empa a mis au point une fibre beaucoup plus résistante et pouvant transmettre les données de manière aussi fiable. Le cœur de cette fibre longue d'un kilomètre est de glycérine liquide. La fibre peut même intégrer des composants microhydrauliques et des capteurs de lumière.



### Des modèles à haute résolution permettent d'établir la jonction météo-climat

Fortes précipitations, chutes de grêle et inondations: l'année 2021 a bien illustré ce que les météorologistes entendent par épisodes extrêmes. Mais en quoi sont-ils liés au réchauffement climatique? Pour mieux le comprendre et mieux prévoir les intempéries, l'EPF de Zurich, l'Empa et quelques autres partenaires réunis dans le projet de recherche EXCLAIM développent une nouvelle génération de modèles climatiques et météorologiques de haute définition qui intègre des modèles régionaux et simulent les tempêtes, orages et ouragans. Illustration indicative: Wikipedia



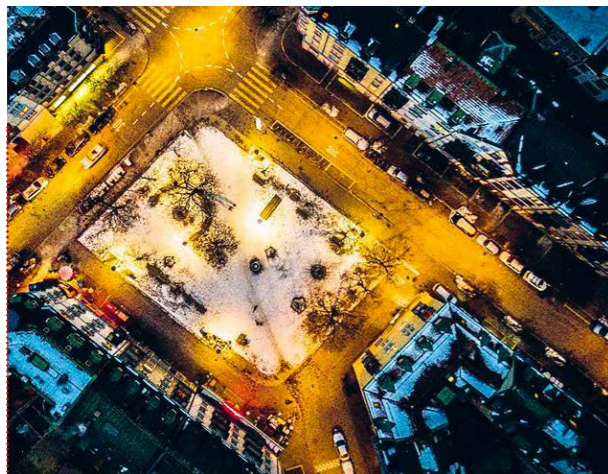
### Des carburants verts pour le trafic aérien

Des chercheurs de l'Empa et de l'Institut Paul Scherrer (PSI) ont lancé le projet «SynFuels». Il s'agit de mettre au point un procédé de production de kérosène à partir de ressources renouvelables. Résultant de la combinaison de CO<sub>2</sub> et d'hydrogène, ces carburants liquides brûleraient en ne rejetant qu'un minimum de résidus, ce qui en validerait l'utilisation pour l'aviation. Photo: Pascal Meier / Unsplash

### Le Parc d'innovation Est rejoint «Switzerland Innovation»

La plateforme d'innovation «Switzerland Innovation» s'enrichit du Parc d'innovation Est et élargit ainsi son réseau à la Suisse orientale. Le Conseil Fédéral a donné son feu vert à l'opération en avril 2021. Le site principal du parc se trouvera juste à côté de l'Empa de St-Gall.





### Le PRN «Automation» étudie les systèmes énergétiques intelligents

Le nouveau pôle de recherche national «Automation» a été créé afin d'assurer à la Suisse une position centrale dans la recherche, la formation et l'innovation en automation et techniques de commande. Quatre institutions y participent: l'EPFZ, l'EPFL, la Haute école spécialisée du nord-ouest Suisse (FHNW) et l'Empa qui apporte son expertise dans la gestion des données et de l'énergie. Photo: Claudio Schwarz / Unsplash

### Stocker du soleil sous le sol

Sous nos latitudes, les énergies renouvelables ne suffisent pas pour couvrir les besoins lors des longs mois d'hiver. C'est pourquoi l'étude des techniques de stockage saisonnier et de conversion de l'énergie est en plein boom. L'Empa participe à un surprenant projet international de recherche: l'injection simultanée dans le sol d'hydrogène et de CO<sub>2</sub>. Les microorganismes présents sur place les transforment en méthane, principal composant du gaz naturel. Image: Karin Lohberger / RAG



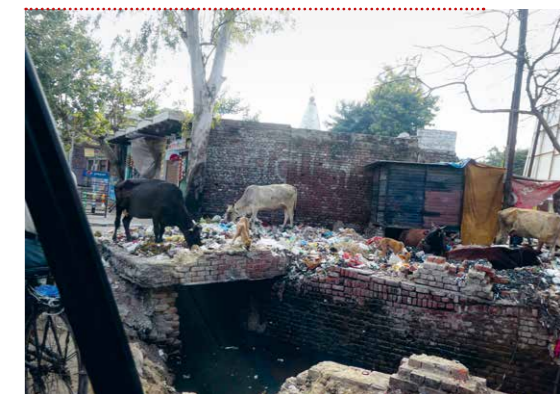
### Exposition au Musée des transports

Au Musée des transports de Lucerne, l'Empa présente depuis mars 2021, en partenariat avec Avenery Suisse et Hyundai, une exposition permanente sur les carburants renouvelables de demain. On y aborde entre autres les questions suivantes: du courant vert dans le réservoir? Et quel carburant pour quel usage? Un jeu interactif permet au public de produire virtuellement de l'hydrogène.



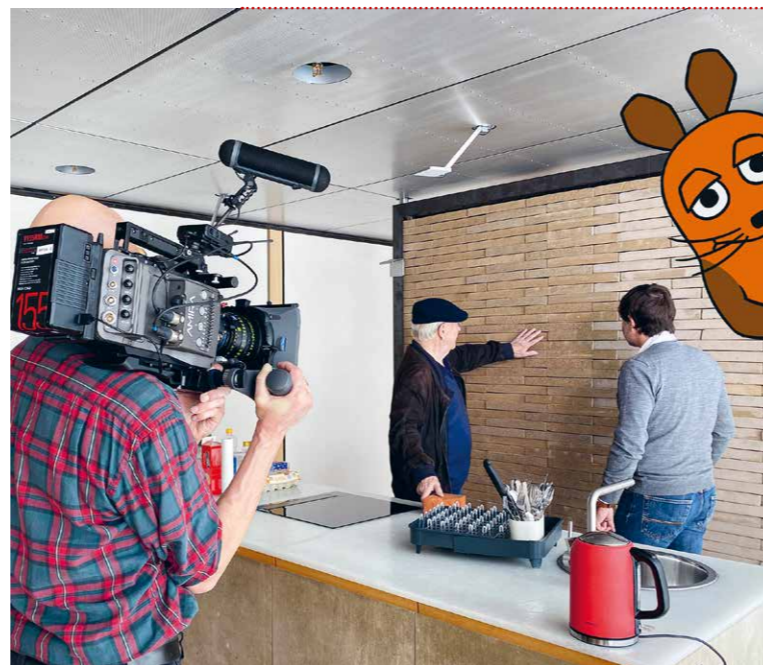
### Des agents purificateurs dans nos ordures

De précieuses bactéries se cachent dans nos décharges et sites contaminés. Elles y dégradent entre autres certains produits toxiques ou polluants. On aimerait les voir attaquer les pesticides tels que le Lindan ou les produits ignifugeants bromés qui s'accumulent dans la nature et les chaînes alimentaires. Des chercheurs de l'Empa et de l'Eawag ont développé à partir de bactéries provenant d'une décharge indienne des enzymes capables de dégrader ce type de liaisons. Image: Avinash Kumar / Unsplash



### Diagnostic en vol

Des chercheurs de l'Empa ont développé avec des équipes anglaises et allemandes un système de surveillance des composants aéronautiques. Il sera ainsi possible de détecter et de monitorer des dommages mineurs en vol sans devoir envoyer l'appareil en hangar. Ce qui réduit les coûts d'exploitation tout en renforçant la sécurité. Image indicative: carlosphotos



### La souris dans son NEST

En mars 2021, l'émission allemande de télévision pour enfants «Avec une souris» (Sendung mit der Maus) célébrait ses 50 ans. Pour l'occasion, c'est Armin Maiwald, animateur de la première heure, qui est venu rendre visite au NEST. Sujet: Comment construire demain dans une économie circulaire? Le projet «Urban Mining & Recycling» a servi d'exemple, avec ses matériaux de récupération tels que des briques provenant de démolitions ou la surface de travail pour cuisine en vert recyclé.



## 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.

## Matériaux quantiques dérivés du carbone

Sous la direction de l'Empa et de l'«International Iberian Nanotechnology Laboratory», une équipe internationale est parvenue à construire des chaînes de spins à base carbone. La revue Nature en a rendu compte en octobre 2021. Les chercheurs ont démontré expérimentalement l'existence d'un important effet physique du magnétisme quantique: la phase de Haldane prévue en 1983 par F.D.M. Haldane, l'un des trois lauréats du Nobel de physique 2016. Ces résultats pourraient améliorer notre compréhension du magnétisme quantique et contribuer à l'avancement de l'informatique quantique.

### Partager les aimants quantiques en deux

Toutes les particules élémentaires ont un «spin», propriété intrinsèque qui régit leur interaction avec les champs magnétiques. Les spins sont quantifiés: ils ne peuvent prendre que des valeurs discrètes. Les électrons ont le plus petit spin et ne peuvent prendre que deux valeurs discrètes. Les systèmes les plus simples suivants peuvent en prendre trois: «spin 0», «spin 1/2» et «spin 1». Haldane a prédit qu'une chaîne d'éléments de spin 1 se fractionnerait de manière que les unités terminales se comporteraient comme des

objets de spin 1/2. A l'instar d'un magicien qui scie son assistante en deux moitiés qu'il écarte l'une de l'autre, les corrélations quantiques dans une chaîne divisent un spin 1 en deux unités de spin 1/2.

### Les chaînes moléculaires unidimensionnelles sont meilleures que les cristaux

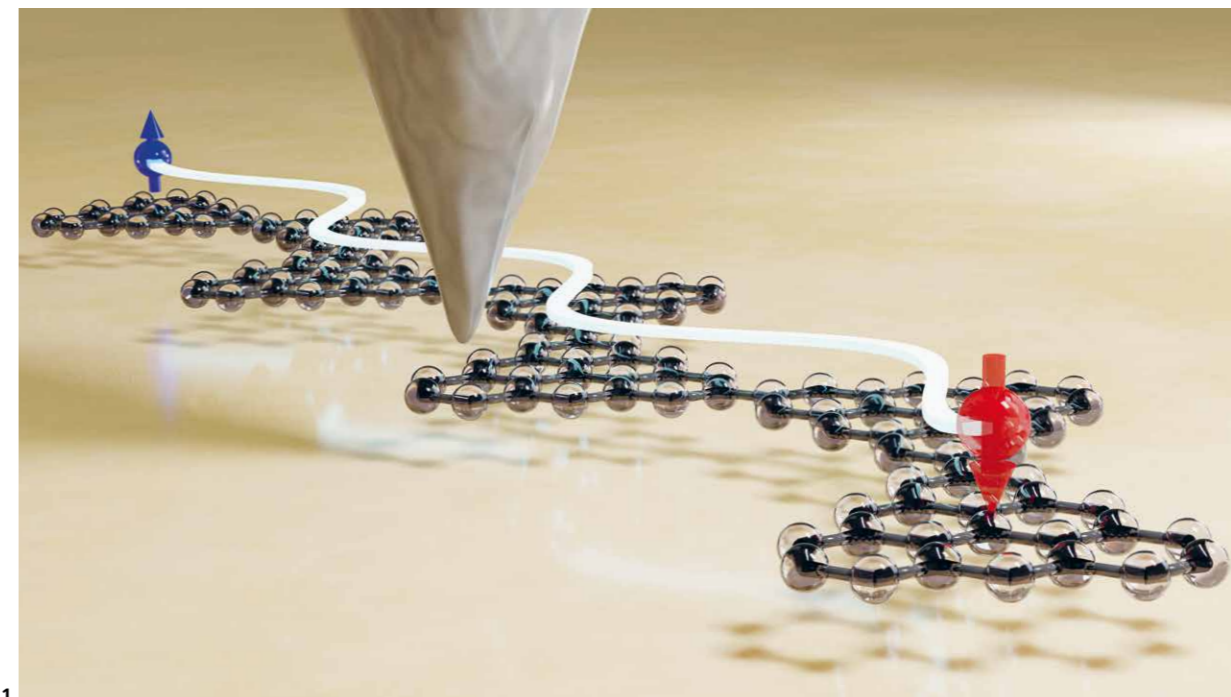
La vérification en laboratoire de la prédiction de Haldane s'est avérée difficile, en particulier parce que les matériaux habituels ne sont pas unidimensionnels. Des chercheurs ont démontré indirectement le fractionnement de spin dans des cristaux de liaisons organométalliques qui contiennent de telles chaînes de spin, mais l'observation directe du phénomène était restée hors de portée.

En partenariat avec des collègues d'Espagne, du Portugal et d'Allemagne, l'équipe de l'Empa est parvenue à réaliser sous ultravide des chaînes de spin unidimensionnelles de carbone. S'aidant d'un microscope à effet tunnel, l'équipe a étudié les excitations magnétiques de la chaîne posée sur une surface en or. Elle a observé que les composants de fin de chaîne présentaient une résonance Kondo, signature spectroscopique d'objets quantiques de spin 1/2 en contact avec une surface métallique.

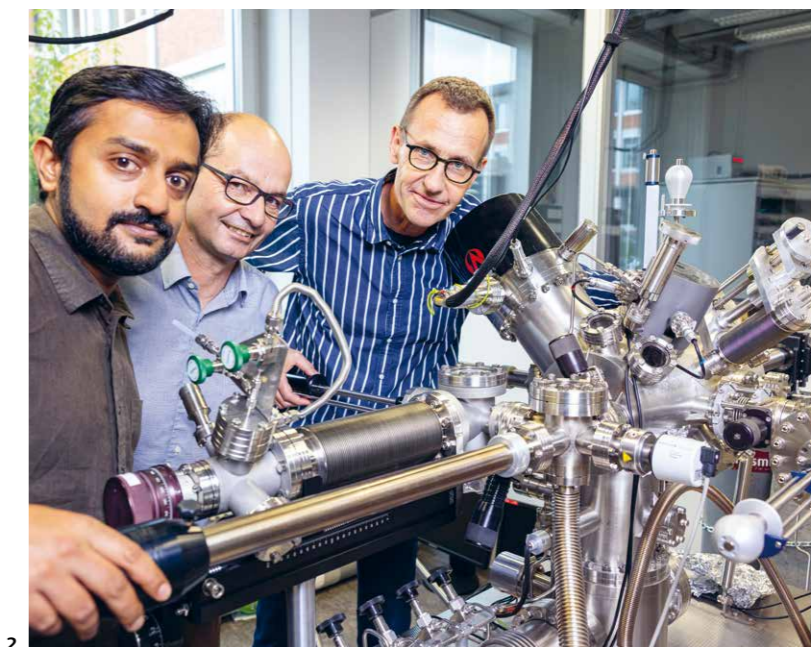
Prof. Dr. Roman Fasel, roman.fasel@empa.ch

### De la chaîne au réseau... puis à l'ordinateur quantique?

Les chercheurs sont convaincus que les systèmes de spin moléculaires facilement accessibles présentant des électrons fortement corrélés offrent un terrain fertile d'expérimentation et de vérification de nouveaux concepts théoriques. Ces réseaux de spin pourraient à leur tour servir de plateforme prometteuse de développement de nouveaux types d'ordinateurs quantiques. //



1



2

1 Représentation schématique d'une chaîne de spin quantique posée sur une surface d'or et explorée par la fine pointe d'un microscope à effet tunnel. Chacun des sept segments triangulaires présente un spin de 1, mais les corrélations quantiques en jeu dans la chaîne entraînent un fractionnement de spin conférant aux triangles terminaux un spin de 1/2.

2 Shantanu Mishra, Pascal Ruffieux et Roman Fasel (de gauche à droite), chercheurs à l'Empa et une installation à ultravide de fabrication de chaînes de spin quantique.

## Classer puis assainir

La Suisse compte environ 1,8 million de bâtiments d'habitation. Chaque année, un pourcent seulement de ces objets bénéficie d'un assainissement énergétique. A ce rythme, il faudra un siècle pour isoler correctement notre parc immobilier. C'est trop pour assurer la transition énergétique. Avant toutefois que le monde politique n'adopte des programmes d'encouragement, il s'agit de hiérarchiser cet immense chantier. Quelles sont les mesures les plus indiquées? En quel endroit? Et par où commencer?

Kristina Orehounig et une équipe du laboratoire Systèmes énergétiques urbains de l'Empa a classé les bâtiments de manière à faciliter le choix et le calendrier des mesures appropriées. L'équipe a procédé par «Data Mining». L'exploration des bases de données nationales lui a permis de classer les bâtiments d'habitation et les bâtiments d'activité en archétypes, par année de construction, par mode de chauffage, nombre d'habitants et usage spécifique.

### Ville et campagne

Comme l'énergie solaire est appelée à jouer un rôle décisif dans l'approvisionnement énergétique de demain, le potentiel photovoltaïque des différents archétypes a été soigneusement étudié. Fac-

teurs pris en compte: les données climatiques locales et la géométrie des couvertures qui permet de déterminer les surfaces et pentes exploitables.

Le choix de la méthode d'assainissement énergétique dépend également de la densité du bâti. En ville, il est judicieux de se raccorder à un réseau de chauffage alors qu'à la campagne, les distances entre bâtiments excluent généralement cette solution. Il faut donc distinguer entre bâti urbain et bâti rural. Résultat: douze archétypes de voisinages ont été identifiés dans le pays: quatre urbains, quatre suburbains et quatre ruraux. L'ensemble du construit suisse y trouve sa place.

### Comment s'y prendre

Après ce travail de classement, on a pu passer aux calculs des mesures d'assainissement de chaque archétype. Conclusion: il vaut la peine d'assainir très rapidement la couverture et de remplacer les fenêtres des bâtiments anciens. A elle seule, cette mesure permettrait de réduire de 20 à 30 pourcent l'énergie de chauffage et de climatisation, indépendamment de l'emplacement du bâtiment.

L'étape suivante consisterait à assainir les installations de chauffage de presque tous les types de bâtiments. Les écoles et

les immeubles de bureaux peuvent souvent être assainis à meilleur compte que les villas. Pourquoi? Dans les immeubles, l'assainissement du chauffage agit sur de grandes surfaces. Chaque intervention technique est donc plus efficace et comparativement meilleur marché.

### Limiter les émissions de gaz à effet de serre

Il est important de rapidement stopper les émissions de gaz à effet de serre. Par exemple en multipliant les panneaux photovoltaïques en toiture et en façade. La production de chaleur peut aussi être assurée par des pompes à chaleur à air entraînées par du courant solaire local ou d'autres sources d'énergie renouvelable. Le chauffage par biomasse – biogaz ou pellets de bois – réduit le bilan des émissions de CO<sub>2</sub>.

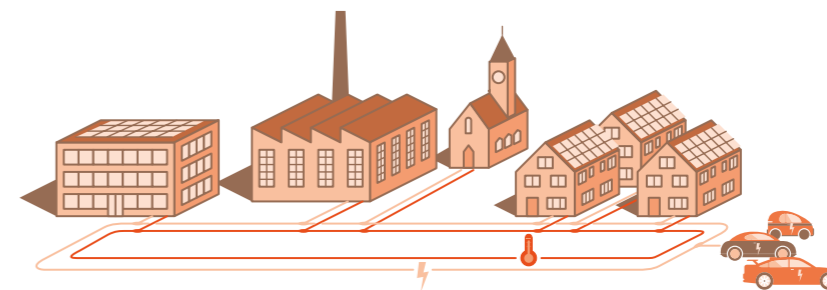
L'équipe conclut que si les mesures qu'elle préconise étaient rapidement adoptées, les émissions de gaz à effet de serre du parc immobilier suisse pourraient être réduites de 60 à 80 pourcent. //

Dr. Kristina Orehounig, kristina.orehounig@empa.ch

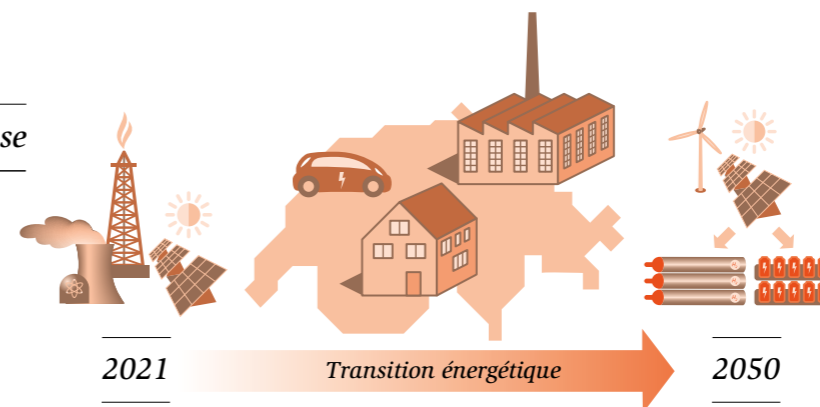
### Bâtiment



### Ville



### Suisse



1

1 Kristina Orehounig: «Les émissions de gaz à effet de serre du parc immobilier suisse pourraient être réduites de 60 à 80 pourcent.» Image: Daniel Kellenberger

2 Agir à trois niveaux pour transformer notre système énergétique. Image: Empa



## Nanomédecine: vers un traitement plus doux des tumeurs

Il existe aujourd'hui plusieurs méthodes de traitement du cancer. Elles peuvent se compléter: on combine souvent radiothérapie, chirurgie et chimiothérapie. Les oncologues ne sont cependant pas toujours satisfaits du résultat de l'irradiation. Raison: les tumeurs malignes ne réagissent pas suffisamment aux rayons ionisants. Si l'on pouvait augmenter leur sensibilité, la radiothérapie gagnerait en efficacité et l'irradiation pourrait être réduite.

L'équipe de Lukas Gerken et d'Inge Herrmann du «Particles-Biology Interactions Laboratory» de l'Empa de St-Gall et le «Nanoparticle Systems Engineering Laboratory» de l'EPFZ s'y emploie en collaboration avec des oncologues de l'Hôpital cantonal de St-Gall.

### Des particules issues d'une flamme

La recherche en oncologie étudie actuellement différentes classes de produits susceptibles d'améliorer l'efficacité de l'irradiation des tumeurs. C'est le cas des nanoparticules d'or ou d'oxydes de métaux exotiques tels que le dioxyde de hafnium. On n'en connaît pas encore clairement le mode d'action. On sait toutefois qu'une cascade complexe de réactions exerce un stress oxydatif dans les cellules cancéreuses. Lequel pourrait per-

mettre d'en bloquer les mécanismes de réparation.

Lukas Gerken, chercheur à l'Empa, a réussi à produire de tels «radiosensibilisateurs» en oxyde de métal par un procédé bien adapté à l'industrialisation: la synthèse par pyrolyse de flamme. Il permet d'obtenir des oxydes de hafnium, de zirconium et de titane de la plus haute qualité. Selon les installations, cette méthode permet d'en synthétiser plusieurs kilos par jour. Pour les analyses en laboratoire, le scientifique se contente toutefois de quelques grammes.

### Mieux que l'or

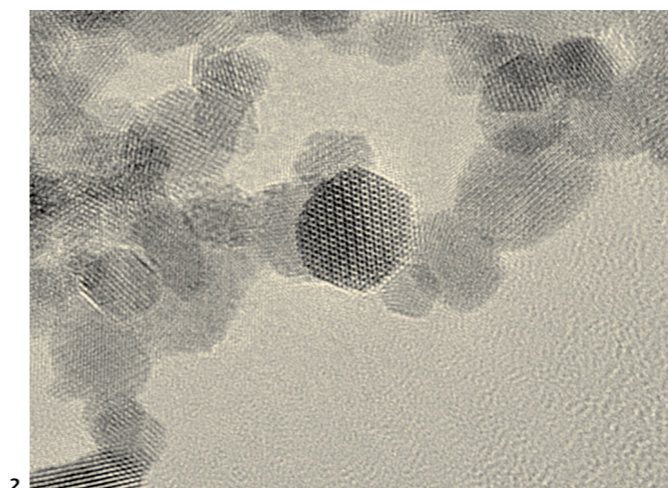
Le laboratoire a ainsi produit des nanoparticules stériles d'oxyde métallique de haute qualité et, comme l'ont montré les essais sur cultures cellulaires, inoffensives pour les cellules saines de l'organisme. Les oxydes métalliques se sont accumulés en grande quantité à l'intérieur des cellules. Le champion? Le dioxyde de hafnium avec un demi-milliard de nanoparticules par cellule, sans trace de toxicité. A taille de particules égale, le nano-or est à la traîne: 10 à 30 fois moins de particules ont pu pénétrer dans les cellules.

L'équipe a pu démontrer le puissant effet des oxydes métalliques sur les cel-

Prof. Dr. Inge Herrmann, [inge.herrmann@empa.ch](mailto:inge.herrmann@empa.ch)

lules cancéreuses. Les cellules de culture traitées aux oxydes métalliques se montrent nettement plus vulnérables aux rayons X que les non traitées. C'est l'oxyde de hafnium qui s'est révélé le plus efficace: les cellules cancéreuses traitées par ces nanoparticules ont pu être éliminées par une irradiation réduite de plus de moitié.

L'équipe entend bien poursuivre ses études pour clarifier et optimiser l'action des nanoparticules. Elle compte en faire progresser l'emploi clinique en radiothérapie. //



**1**  
Lukas Gerken produit par pyrolyse de flamme des nanoparticules destinées au traitement du cancer. Pour en permettre la visualisation, le microscope électronique doit être fortement refroidi à l'azote liquide.

**2**  
Les nanoparticules de dioxyde de hafnium ne mesurent qu'environ sept nanomètres. Image: Empa / ACS Chemistry of Materials

## Des nanoparticules dans l'environnement: dangereux ou non?

Que ce soit au sommet des montagnes, sur la banquise arctique, au fond des mers, haut dans les airs ou dans le poisson que nous mangeons, partout les scientifiques trouvent des milliers et milliers de microscopiques particules de plastique. En avril 2021, une équipe de l'Empa et de l'EPFZ a dressé dans la revue spécialisée «Nature Nanotechnology» le bilan de nos connaissances et de nos lacunes en la matière et indiqué où la recherche était le plus nécessaire.

L'inquiétude quant aux risques que les micro- et nanoparticules de plastique présentent pour les écosystèmes est largement partagée. De nombreux reportages – parfois émotionnels – diffusés par les médias témoignent de la gravité du problème. Nous ne disposons cependant que de peu d'éléments scientifiquement confirmés. L'étude des flux de micro- et nanoparticules de plastique n'en est qu'à ses débuts.

### Manque de définition commune

Ainsi, on ne dispose même pas d'une définition normalisée de la taille des nanoparticules. Le fait que plusieurs organisations étudient la question reflète la diversité des domaines impliqués. Pour la «Food and Drug Administration» (FDA), tout ce qui est inférieur au micromètre est

une nanoparticule. Pour la Commission européenne, le domaine des nanoparticules va d'un à 100 nanomètres. Il s'agit maintenant de fixer un seuil à cette taille.

Les premières connaissances sur le mode de dispersion des plus petites particules proviennent entre autres de l'Empa. Bernd Novack et son équipe ont modélisé en 2019 déjà la dispersion de microparticules de caoutchouc provenant de l'usure des pneus. En Suisse, environ 200 000 tonnes de poussière de pneus ont été libérées ces 30 dernières années. En automne dernier, une étude de l'Université d'Utrecht à laquelle a participé Dominique Brunner, chercheur à l'Empa, a permis d'estimer à 42 kilogrammes par kilomètre carré la masse annuelle de nanoparticules de plastique qui se dépose annuellement sur la neige d'un sommet alpin. Un chiffre encore incertain qui demande à être vérifié.

### Mettre au point les techniques de mesure

Il est techniquement très difficile de mesurer avec précision le nombre de nanoparticules de matière synthétique. Dans ce domaine, les méthodes quantitatives en sont encore à leurs balbutiements. Vu notre ignorance, la poursuite large et méthodique de l'étude des micro- et nano-

particules s'impose. D'autant plus qu'il est pratiquement impossible de se passer des polymères. Sans eux, la plupart des objets de notre quotidien n'auraient plus les caractéristiques voulues.

### L'Empa se penche sur la question

La recherche doit également se poursuivre dans d'autres directions. Bernd Noack étudie actuellement la libération de nanoparticules lors du lavage de vêtements. Quant à Christoph Hüglin, il s'apprête à analyser la répartition atmosphérique des microplastiques dans une étude financée par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Ainsi, dans les années à venir, l'Empa va continuer de travailler à la compréhension et à l'évaluation des problèmes posés par les nanoparticules. //

Prof. Dr. Bernd Nowack, bernd.nowack@empa.ch  
Dr. Christoph Hüglin, christoph.hueglin@empa.ch



Des chercheurs montent à la station du parc national du Hohe Tauern. Créé en 1886 dans le Land de Salzbourg, l'observatoire de l'Institut central de météorologie et de géodynamique d'Autriche (ZAMG) trône à plus de 3100 mètres d'altitude. Source ZAMG / Christian Schober.

## Le bois: une mine pour la science des matériaux

Le bois est certes un matériau de construction, mais aussi une matière première prometteuse pour la science des matériaux. Quatre exemples spectaculaires de recherches conduites au laboratoire «Cellulose & Wood Materials» de l'Empa illustrent le large potentiel de cette ressource renouvelable.

### Tirer de l'électricité du bois

Pour produire une tension électrique avec du bois, on exploite l'effet piézoélectrique: la déformation élastique d'un corps solide sépare les charges et crée donc une tension électrique. Des chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ ont amplifié cet effet en plongeant le bois dans un mélange de peroxyde d'hydrogène et d'acide acétique. Reste après cette opération une structure élastique de couches de cellulose qui peuvent être facilement comprimées puis re-dilatées.

Un cube de cette cellulose d'environ 1,5 cm de côté a survécu à 600 cycles de charge, générant environ 0,7 volt à chaque compression – une tension potentiellement utilisable par un capteur.

### Pile compostable

Les micro-appareils de l'Internet des objets devront être recyclables et obtenus par fabrication additive. Des chercheurs

de l'Empa ont mis au point un minicondensateur compostable composé uniquement de carbone, de cellulose, de glycérine et de sel ordinaire. Ces ingrédients sont intégrés à des gels d'encre et projetés sur une surface par une imprimante 3D.

Le minicondensateur résiste à des milliers de cycles de charge et de décharge et à des années de stockage, même par température glaciale, et résiste à la pression comme aux chocs. Lorsqu'on n'en a plus besoin, on peut le jeter au compost ou simplement le laisser dans la nature; après deux mois, il se sera décomposé.

### Production en gros de mélanine

La mélanine, ce pigment qui, entre autres, protège la peau humaine des rayons UV, est un véritable filon pour l'étude des matériaux et des technologies. Des chercheurs de l'Empa ont découvert que l'armillaire pied-bot (*Armillaria cepistipes*), un champignon qui, dans la forêt, s'attaque aux troncs, souches et racines, produisait de la mélanine. Son étonnant métabolisme – qui fixe des métaux lourds et fait luire le bois dans l'obscurité – en produit 1000 fois plus que les autres microorganismes déjà testés pour la production industrielle.

Dr. Gustav Nyström, [gustav.nystroem@empa.ch](mailto:gustav.nystroem@empa.ch)  
Prof. Dr. Francis W.M.R Schwarze, [francis.schwarze@empa.ch](mailto:francis.schwarze@empa.ch)  
Prof. Dr. Ingo Burgert, [Ingo.Burgert@empa.ch](mailto:Ingo.Burgert@empa.ch)

Cette production peu coûteuse et durable permet d'envisager de nouvelles applications. Exemple: la mélanine fixe les métaux lourds. Pourquoi ne pas l'utiliser dans les filtres à eau? Les chercheurs en ont intégré à du polyuréthane qu'ils ont utilisé pour produire des membranes textiles très fines capables d'éliminer jusqu'à 94 % du plomb d'eaux polluées.

### Quand les champignons apprennent à écrire

Lorsqu'il pourrit, un morceau de bois se pare de couleurs et de lignes chaque fois différentes. Il faut cependant plusieurs années au «bois marbré» ou «bois échauffé» récolté sur le sol des forêts pour développer ces motifs d'origine fongique. Il n'est alors souvent plus assez stable pour la fabrication de meubles. Les chercheurs de l'Empa ont traité des bois durs indigènes tels que le frêne, le hêtre et l'érable avec des cultures fongiques pour y former des motifs spécifiques sans en compromettre la stabilité et la forme. Ils ont même réussi à y écrire des lettres à l'aide champignons – une première mondiale. //



1 Xavier Aeby et Gustav Nyström ont développé une pile entièrement imprimée en 3D et biodégradable, à base de cellulose et d'autres composants respectueux de l'environnement.

2 Une petite pression et l'éponge de cellulose génère une tension électrique. Image: ACS Nano / Empa

3 Les chercheurs de l'Empa peuvent contrôler le processus de marbrure de différentes essences de bois et ainsi écrire des lettres dans la structure du bois à l'aide de champignons. Image: Empa



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

La recherche fondamentale conduite au «Coating Competence Center» de l'Empa débouche sur des applications industrielles. L'innovation a souvent pour origine la compréhension de phénomènes physiques ou chimiques. Prenons l'exemple de l'héliogravure à haute résolution pour l'électronique imprimée. Il s'agit en premier lieu de comprendre comment l'encre s'écoule, comment elle remplit à ras les formes gravées sur le cylindre d'héliogravure, sans bulles d'air; puis comment les gouttelettes sont transférées sur l'objet à imprimer. Adhèrent-elles à la surface? Comment se répartissent-elles pour tracer les formes à imprimer? Ce n'est que lorsque tous ces phénomènes sont bien compris qu'il est possible de choisir où concentrer ses efforts pour innover et réaliser des percées technologiques. Le projet de recherche «SCALAR» – financé par le grand axe stratégique «Advanced Manufacturing» du Domaine des EPF – fait appel à l'imprimante de haute précision du Coating Competence Center. Objectif: imprimer des structures fines de l'ordre du micromètre à la vitesse de 1 m/s. Si les efforts aboutissent, il sera par exemple possible d'imprimer des capteurs tactiles de haute résolution sur des films de plastique et ainsi d'utiliser les surfaces d'appareils ou

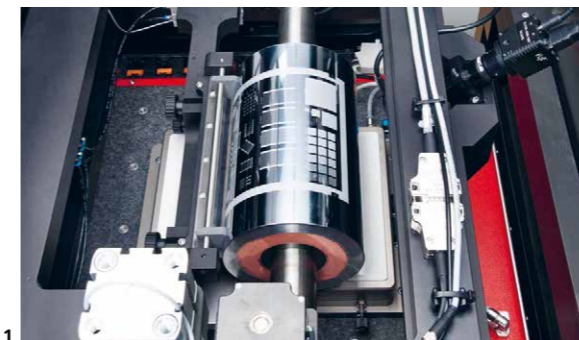
de voitures comme interfaces de contrôle bon marché.

### Fabrication additive et impression 3D de métaux

Les résultats de la recherche fondamentale poursuivie à l'Empa trouvent aussi des applications dans de tout autres domaines, par exemple celui des prothèses. La fabrication additive, et plus spécifiquement l'impression 3D de métaux, permet de fabriquer des prothèses en titane, par exemple de hanches ou de genoux. Il est indispensable pour cela de bien comprendre le processus de fabrication qui doit tenir compte dans une seule et même opération des propriétés des matériaux et de la géométrie du produit. Les résultats de ces recherches ne sont pas utilisés qu'au Coating Competence Center: le laboratoire collabore étroitement avec le «Swiss m4m Center» de Bettlach, un centre de transfert des technologies qui met les techniques d'impression 3D à la portée des petites entreprises suisses de medtech.

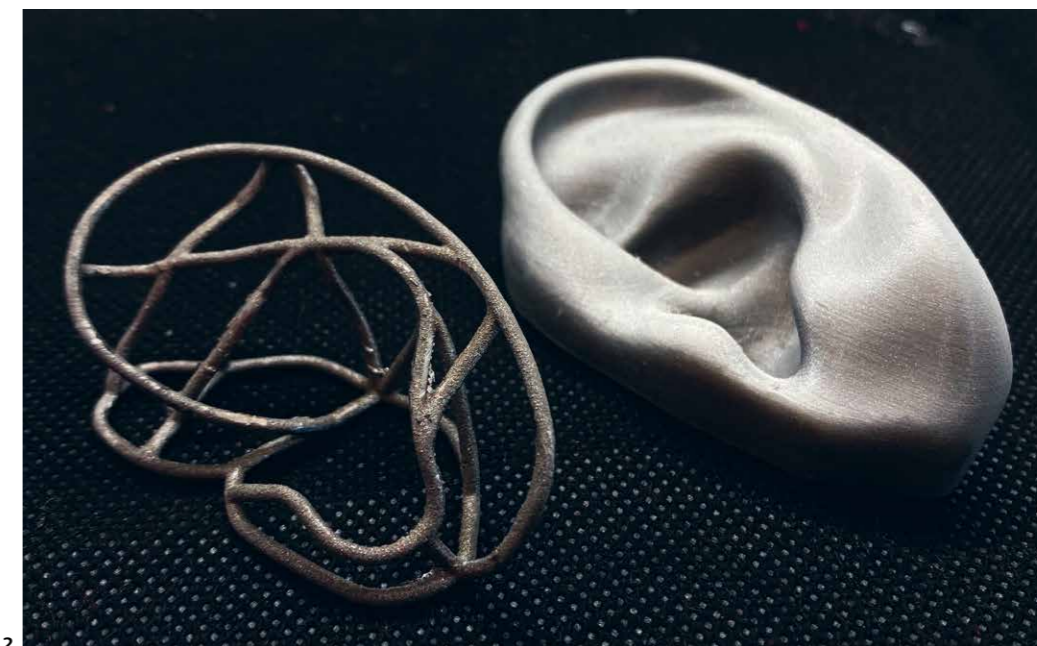
On utilise également des prothèses médicales pour remplacer les tissus tendres ou le cartilage. Elles ne doivent pas être trop rigides. On a alors recours à d'autres matériaux ou combinaisons de matériaux tels que des hydrogels renfor-

cés par des structures en treillis. En collaboration avec l'équipe de Marcy Zenobi-Wong de l'EPFZ, le Coating Competence Center a développé et imprimé en 3D des structures en treillis semi-flexibles de titane. Elles sont conçues de manière à ce que les hydrogels qui les entourent ne se déforment pas trop sous la pression et se rétablissent doucement. Cette technique permet de fabriquer des implants de disques intervertébraux et d'oreille qui ont l'élasticité et la stabilité requises. //



1 Mécanisme d'héliogravure de l'imprimante de précision NSM Challenger 600. Photo: Nsm Norbert Schläfli AG.

2 Treillis de titane pour prothèse d'oreille réalisé par impression 3D au laboratoire «Coating Competence Center» de l'EMPA. Photo: EPFZ



## Une nouvelle réalité dans le secteur du bâtiment

Reto Largo, reto.largo@empa.ch

On a compris au début de l'année dernière que la pandémie de Covid-19 ne s'évanouirait pas de si tôt. Pour le secteur du bâtiment, cela signifie la persistance des problèmes d'approvisionnement en matériaux et de nouvelles exigences architecturales; ce qui exige de la souplesse et la capacité de penser «hors de la boîte». NEST, le bâtiment modulaire d'études et d'innovation de l'Empa et de l'Eawag a montré que même en ces circonstances extraordinaires, il pouvait apporter des réponses aux besoins soudains du secteur. C'est ainsi que deux unités NEST ont été ajoutées au complexe l'année dernière, Sprint en août et HiLo en octobre.

### Deux nouvelles unités peu voraces

Les deux nouvelles unités de NEST, Sprint et HiLo montrent chacune à leur manière comment construire et utiliser un bâtiment dans le respect de la durabilité. Sprint met l'accent sur le bouclage du cycle de vie des éléments. Conçue par «Baubüro in situ», l'unité repose essentiellement sur la réutilisation de matériaux et d'éléments de construction. Elle offre des espaces de travail flexibles et adaptés aux Covid-19. Il n'aura fallu que dix mois pour la réaliser, ce qui souligne tout le potentiel de la réutilisation dans

ce secteur, un potentiel qu'il s'agit maintenant d'exploiter. Sprint montre également que les matériaux réutilisés peuvent être mis en œuvre rapidement et aboutir à des ouvrages de qualité. Qu'il s'agisse de réutiliser des éléments ou de recycler des matériaux, NEST clarifie pas à pas les questions soulevées par cette approche et leur apporte une réponse.

HiLo, à l'inverse, met l'accent sur les économies de matériaux et l'exploitation efficiente des bâtiments. L'unité illustre une nouvelle manière de projeter et de réaliser des structures en béton économes en ressources en s'appuyant sur des techniques de construction adaptatives capables d'apprentissage. L'unité, qui occupe l'étage supérieur de la plateforme NEST, a été réalisée par le «Block Research Group» et le «Architecture and Building Systems Group» de l'EPFZ avec de nombreux partenaires industriels. Elle se signale par le voile en béton filigrané de sa toiture et sa façade solaire intelligente.

### Maturité commerciale des innovations

En 2020, bien des choses se sont passées dans les coulisses de NEST. La prochaine unité dite STEP-2 est en bonne voie. L'avant-projet et été bouclé l'an dernier et les travaux devraient débuter fin 2022 ou

début 2023. L'unité réunit des innovations en matière d'économie circulaire, de fabrication industrielle et numérique ainsi que dans son enveloppe et son système énergétique. L'accent porte sur la maturité économique des nouvelles solutions et nouveaux procédés.

### Un NEST virtuel

Les innovations de NEST doivent continuer de rayonner en dépit des circonstances sanitaires. C'est pourquoi, l'an dernier, la plateforme de recherche et d'innovation de l'Empa et de l'Eawag a ouvert virtuellement ses portes, lançant ainsi un pont supplémentaire entre le laboratoire et le marché. En présentant la foule d'innovations conçues et mises en œuvre sur la plateforme à un public beaucoup plus large et international, le NEST virtuel offre une plus ample diffusion aux solutions innovantes en matière de durabilité et d'énergie dans le bâtiment et en accélère l'adoption. //

1  
L'unité Sprint a intégré divers types de cloisons démontables et réinstallables. Parmi les matériaux utilisés: vieux livres et carrés de tapis. Photo: Martin Zeller

2  
HiLo conjugue des principes de construction remontant au moyen-âge avec des méthodes d'avant-garde. Élément le plus visible de ce module de deux étages: son voile en béton à double courbure réalisé par les méthodes de design et de construction les plus modernes. Photo: Roman Keller



## Quelques pistes pour la transition énergétique

Pour le démonstrateur de mobilité «move», 2021 a été marqué par les préparatifs à l'intégration de l'installation Direct-Air-Capturing de la société Climeworks. Cette installation fournira le CO<sub>2</sub> au système de méthanisation en cours de montage. Coupler la méthanisation et l'extraction de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère n'est pas uniquement judicieux du point de vue thermique ou du procédé, l'installation Climeworks permet également d'extraire de l'eau de l'air ambiant, laquelle peut être utilisée pour la production d'hydrogène. On dispose ainsi d'un système ne dépendant pas d'une alimentation d'eau, ce qui lui ouvre également de belles perspectives dans les régions désertiques.

L'importante question de l'étalonnage des colonnes d'hydrogène est étudiée depuis l'an dernier avec l'Office fédérale de métrologie METAS et quelques autres partenaires dans le cadre d'un projet européen. Quant à celle de la chaleur produite lors du remplissage des bonbonnes d'hydrogène sous pression, elle fait l'objet d'un travail de doctorat cofinancé par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

Notre coopération avec Migros, et la collaboration de Migros avec le service de localisation spatiale HERE débouchera

prochainement sur le lancement mondial d'un logiciel co-développé à l'Empa qui calculera la consommation réelle de carburant des poids lourds et leurs émissions réelles de CO<sub>2</sub>.

### Démonstrateur de décarbonation industrielle en partenariat avec Zoug

«move» travaille prioritairement sur les systèmes techniques permettant de passer des énergies fossiles aux énergies renouvelables dans le secteur de la mobilité. Ces systèmes auraient également leur place dans l'industrie. C'est pourquoi un projet de décarbonation industrielle a été lancé à Zoug, en collaboration avec le «Tech Cluster Zug», le canton de Zoug et ses services industriels WWZ.

L'industrie est le troisième consommateur d'énergie du pays, mais elle ne dispose toujours pas de solutions efficaces de décarbonation. Le passage à l'hydrogène pourrait être la réponse. La production d'hydrogène par électrolyse reste toutefois beaucoup plus coûteuse que ne le sont les énergies actuelles. De plus, l'importante consommation d'électricité qu'elle nécessite exercerait une pression supplémentaire sur notre approvisionnement hivernal en électricité.

L'approche testée à Zoug est d'un autre type: l'hydrogène, directement utili-

sable comme vecteur énergétique, est produit par dissociation du méthane (CH<sub>4</sub>), dissociation qui fournit également du carbone solide (C). Si le méthane utilisé est renouvelable, le bilan CO<sub>2</sub> peut même s'avérer négatif. En effet, le carbone n'est pas rejeté dans l'atmosphère: se présentant sous forme solide, il peut être utilisé dans le bâtiment ou en agriculture.

### Production de méthane synthétique dans les régions désertiques

Le potentiel de production de méthane dans les régions désertiques est énorme. S'il est possible d'acheminer ce méthane synthétique en Suisse via les mécanismes commerciaux et les infrastructures actuelles, puis de l'y dissocier en hydrogène et en carbone, trois problèmes pourraient être résolus à la fois: l'hydrogène renouvelable pourrait alimenter les procédés industriels et gommer notre déficit énergétique hivernal; nous pourrions générer des «émissions négatives de CO<sub>2</sub>». Ce projet va occuper les chercheurs toutes ces prochaines années. //

Christian Bach, christian.bach@empa.ch



Livraison exceptionnelle: le démonstrateur de mobilité «move» de l'Empa a reçu en novembre 2021 un système «Direct-Air-Capturing» de Climeworks. L'installation permettra d'extraire du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, lequel sera utilisé dans la synthèse de méthane.

## Améliorer la durabilité des systèmes énergétiques

Réduire efficacement les émissions de CO<sub>2</sub> des bâtiments passe par l'optimisation des flux d'énergie des bâtiments, des quartiers et des agglomérations. Le démonstrateur «Energy Hub» (ehub) de l'Empa sert de plateforme de développement et de validation aux nouvelles approches et technologies du secteur de l'énergie.

### Du courant plus propre

La propreté du courant utilisé dans l'exploitation des bâtiments varie beaucoup. L'équipe du ehub participe à plusieurs projets qui s'occupent de cette question. Le projet «Sustainable Demand Side Management» de l'Office fédéral de l'énergie a pour but de développer et tester un système d'automatisation du bâtiment tenant compte de l'empreinte CO<sub>2</sub> du réseau électrique suisse. Objectif: optimiser l'exploitation des bâtiments et prendre dans toute la mesure du possible du courant propre sur le réseau. Les premières estimations montrent que même une maison individuelle mal isolée peut réduire ses émissions de CO<sub>2</sub> de près de 20 pourcent. Cette approche est actuellement testée sur le NEST et dans le complexe de bureaux et commercial K3 de Wallisellen.

Dans le cadre du projet «PATHFNDR» de l'Office fédéral de l'énergie, des chercheurs

de l'Empa étudient la manière d'augmenter la part des sources d'énergies renouvelables dans le système énergétique suisse. Ils prennent en compte les interactions entre les diverses technologies et les bâtiments, les quartiers, les villes et la campagne. Plusieurs approches sont testées sur les démonstrateurs NEST et move ainsi que dans les quartiers et municipalités participant au projet.

### Les rejets thermiques source de chaleur

Dans le cadre du projet ECOQube, soutenu par le programme européen d'encouragement Horizon 2020, l'équipe du ehub étudie avec des partenaires internationaux l'intégration de centres de calcul au cœur des bâtiments. Un tel centre a été installé dans le NEST. Objectif: l'intégrer au réseau thermique pour exploiter les grandes quantités de chaleur qu'il dégage, ce qui en améliorerait le bilan environnemental.

### Prévoir pour économiser l'énergie

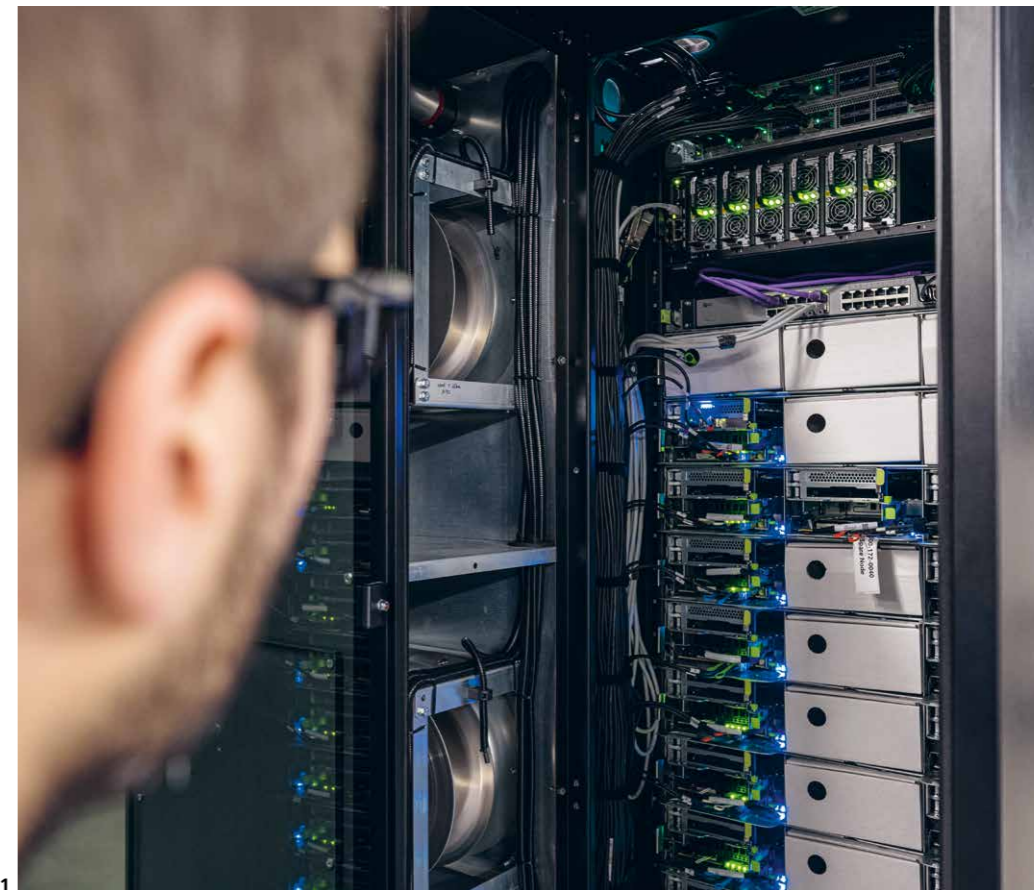
Ces dernières années, deux chercheurs ont développé un algorithme de régulation anticipatrice de la température des locaux. Cela passe par une modélisation du bâtiment fondée sur la dynamique des vannes et de la température des pièces.

Philipp Heer, philipp.heer@empa.ch

L'algorithme a également accès aux prévisions météo (températures extérieures et rayonnement solaire). Sur cette base, il évalue la manière la plus économe en énergie de chauffer ou de rafraîchir le bâtiment les douze heures suivantes. Les premiers essais effectués au NEST ont permis des économies de l'ordre de 25 à 50 pourcent. En 2021, bien décidés à commercialiser l'algorithme, les deux chercheurs ont créé la société «viboo», nouvelle spin-off de l'Empa. A la fin 2021, les premiers projets pilotes ont été lancés avec des partenaires industriels.

### De nouveaux collaborateurs, de nouveaux partenaires, de nouvelles idées

La participation de l'équipe au nouveau pôle de recherche national (PRN) «Automation» du Fonds national suisse lui a fait franchir un pas important dans la collaboration entre institutions. Plus de 40 scientifiques de l'Empa, de l'EPFZ, de l'EPFL et de la Haute école spécialisée du nord-ouest suisse étudient de nouveaux modes fiables d'automatisation des systèmes complexes et leurs applications dans les secteurs de l'énergie, de la mobilité et de la fabrication industrielle. //

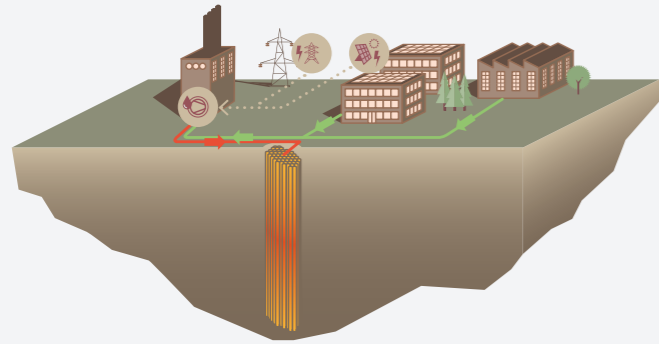


**1** Dans le cadre du projet ECO-Qube, un centre de calcul a été installé au NEST. Son raccordement au réseau thermique du bâtiment a permis d'exploiter les rejets calorifiques et d'étudier la manière la plus efficace et environnementalement responsable d'exploiter ce type d'installation.

**2** Des chercheurs de l'Empa ont calculé que le potentiel solaire des toitures, façades, parkings et autres infrastructures existantes est suffisant pour assurer le virage énergétique. La façade solaire ci-dessus du bâtiment K3 Handwerkcity de Wallisellen fonctionne depuis 2020. Image: les services industriels «werke versorgung wallisellen ag»

# Le nouveau campus de recherche de l'Empa

Kevin Olas, kevin.olas@empa.ch



## Innovations pratiques issues de nos laboratoires

Le nouveau campus fera appel à divers développements et innovations issues de nos laboratoires, en particulier dans le domaine de l'énergie et du bâtiment. Les recherches ne seront plus menées que dans les bâtiments, mais aussi sur et avec eux. Le périmètre abritera un réservoir souterrain saisonnier d'énergie qui fournira de l'énergie non seulement aux nouveaux bâtiments mais à l'ensemble du site de l'Empa. Un champ de 144 sondes plongeant jusqu'à 100 mètres sous terre permettra de stocker les rejets thermiques des bâtiments. En hiver, cette chaleur – récupérée et portée à une température supérieure par des pompes à chaleur – servira au chauffage. En son centre, le champ de sondes pourra atteindre une température allant jusqu'à 50 °C. La tuyauterie permet d'exploiter les sondes individuellement ou par zones afin d'optimiser le mix température – rendement – stockage. Ce réservoir souterrain est particulièrement efficace en raison de sa masse et de son inertie. Les chercheurs de l'Empa estiment que la température finale d'exploitation ne sera atteinte qu'après trois à quatre ans.

## Création d'un nouveau campus de recherche

Le 5 mai 2021, le «premier coup de pioche» de l'extension du campus de recherche de l'Empa et de l'Eawag a été donné à Dübendorf. Dès 2024, de nouveaux bâtiments augmenteront sensiblement les surfaces consacrées à la recherche et à l'innovation. Nos collaborateurs et nos hôtes y jouiront d'un cadre de travail attrayant, sûr et confortable dans un bâtiment de laboratoires ultramoderne et un bâtiment multifonction complété d'un parking à plusieurs niveaux. Le projet porte bien son nom: «co-operate» – c'est bien ce dont il s'agit à l'Empa.

# co-operate



## Résistance massive aux vibrations

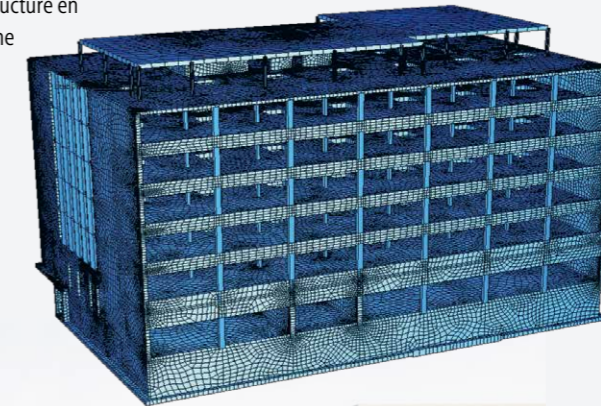
Qu'il s'agisse du microscope électronique avec lequel un chercheur scrute des atomes ou de l'appareil de thermogravimétrie mesurant des variations de masse très inférieures au microgramme, plusieurs équipements doivent être protégés contre les plus infimes secousses. Les pas d'un collaborateur ou le passage d'un tram au loin peuvent fausser le résultat des mesures. L'Empa en a tenu compte dès la conception de son futur bâtiment de laboratoires et y veillera jusqu'à sa livraison. Cela a un coût. La structure en béton, extrêmement rigide, ne transmet pratiquement aucune vibration. Extrêmement

massive, elle s'appuie sur une fondation de type dalle sur pieux. Les 48 pieux en reportent la charge par frottement latéral dans un terrain résistant où ils plongent à une profondeur pouvant atteindre 18 mètres. La dalle du local qui recevra les appareils les plus sensibles sera épaisse de 80 cm. En dessous, les habituelles plaques de polystyrène seront remplacées par des plaques plus dures en verre cellulaire qui en accroîtront la rigidité.



## «co-operate» et son jumeau numérique

L'avenir est au BIM, le «Building Information Modeling». Efficace, meilleur marché, transparent du début du projet à son exploitation. Le nouveau campus de recherche est également conçu à l'aide d'un jumeau numérique qui en facilitera lui aussi l'exploitation. Le projet est de taille: environ 3800 mètres cubes de béton pour les fondations et dalles sous le bâtiment, plus de 2450 mètres carrés de fenêtres, près de 13 000 mètres de lignes électriques. Grâce au modèle numérique, toutes les informations sur l'avancement du prochain campus de recherche de l'Empa sont accessibles en quelques clics de souris.

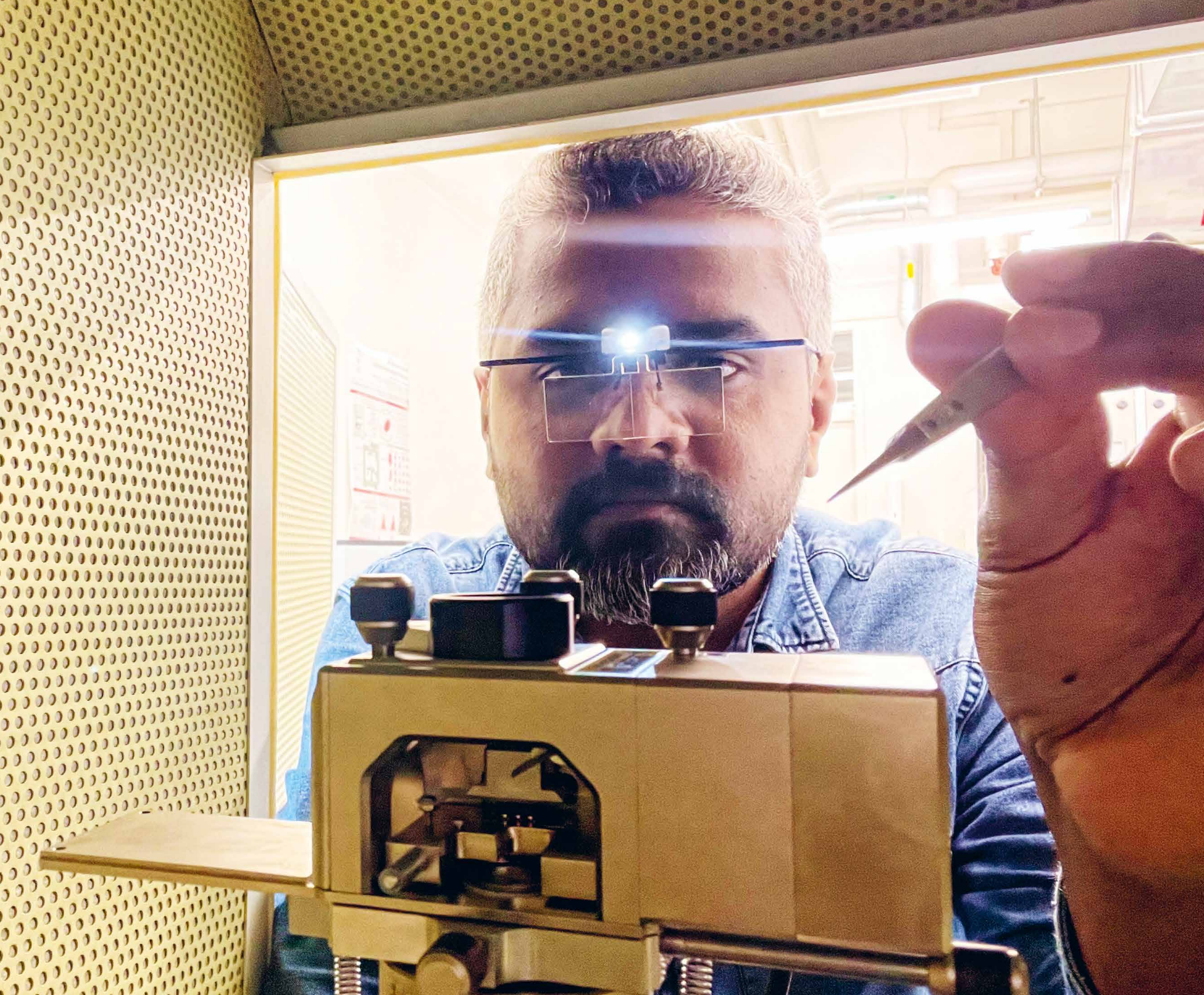


## Le campus se végétalise

Afin de libérer le campus des voitures, les places de stationnement seront regroupées dans le nouveau parking. Tout le site profitera d'une végétalisation plus abondante, en particulier grâce à la ceinture verte qui reliera les deux instituts Empa et Eawag. Les lieux seront ainsi plus accueillants et plus sûrs. Le NEST sera entouré d'une place attrayante destinée tant à nos collaborateurs qu'à nos hôtes. On peut déjà se faire une idée très réaliste de co-operate sur smartphones ou tablettes grâce à l'app «co-operate AR» de réalité augmentée qui permettra aux badauds de se glisser virtuellement dans le chantier pendant les travaux.







## 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

There is plenty of room at the bottom». C'est le titre d'un article paru en 1959 où le physicien américain Richard Feynman présentait pour la première fois une série d'idées sur les matériaux, les structures et les machines envisageables au niveau moléculaire et atomique. Il y concédait que les méthodes d'analyse et les procédés de synthèse requises n'existaient pas encore. Les spectaculaires avancées de ces dernières décennies mettent une partie des anticipations de Feynman à notre portée.

Le premier grand pas dans cette direction a été franchi par Heinrich Rohrer et Gerd Binnig qui, il y a plus de 40 ans, ont mis au point le microscope à effet tunnel au Centre de recherche d'IBM de Rüschlikon, ouvrant ainsi la porte du nanocosmos. La découverte en 1991 par Sumio Iijima des nanotubes de carbone, premier nanomatériau stable dans les conditions normales, a donné une importante impulsion à la jeune science. Ce fut en quelque sorte l'acte de naissance des nanotechnologies qui, avec les biotechnologies, s'imposèrent rapidement comme l'une des technologies clé du 21<sup>ème</sup> siècle.

Il n'existe quasi plus de domaine dans la science des matériaux, en informatique comme dans les sciences de la vie où les nanotechnologies ne sont pas

une réalité quotidienne. Du point de vue économique également, elles ne cessent de prendre de l'importance. Les analystes en estiment le marché global – sans l'industrie des puces – entre 40 et 75 milliards de dollars. L'imprécision du chiffre tient à la difficulté de délimiter le domaine. Les analystes sont toutefois unanimes dans leurs prévisions: la croissance devrait dépasser 30 pourcent toutes ces prochaines années. Le marché des nanotechnologies est l'un de ceux qui enregistrent la plus forte croissance.

## Architecture à l'échelle du nanomètre

Bien dans la ligne de la vision de Feynman, des chercheurs de l'Empa développent des nanomatériaux dont les propriétés physiques tiennent au détail de leur réalisation au niveau atomique: chaque atome est là où il doit être. C'est ainsi qu'à l'Empa – en collaboration avec des collègues de l'EPFZ, de l'EPFL, de l'Institut Paul Scherrer (PSI) et du Centre de recherche d'IBM à Rüschlikon – l'équipe de Jakob Heier a réussi à augmenter l'efficacité quantique des molécules fluorescentes de pigments du niveau habituel de 5 pourcent à 60 pourcent. La parfaite ordonnance des molécules du pigment sous forme «d'agrégats J» à la fron-

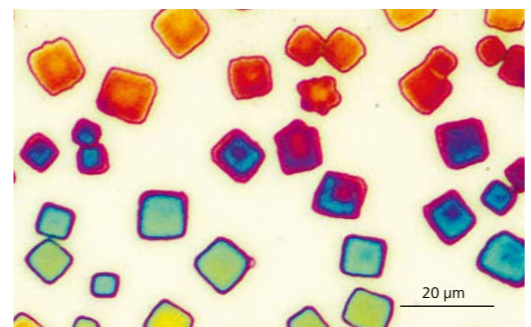
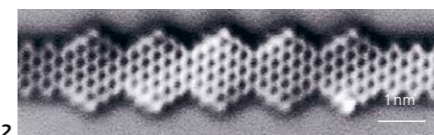
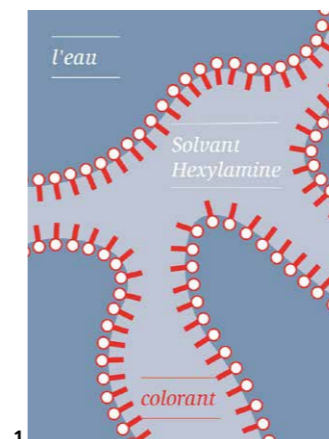
tière de phases d'une émulsion bicontinue rend cela possible. Dans ces agrégats, les molécules s'empilent comme les briques d'un mur. En résulte un fort couplage qui leur permet de s'exciter l'une l'autre sans grande perte d'énergie, d'où le considérable gain d'efficacité quantique. La prochaine étape consiste à intégrer l'émulsion dans un corps solide pour réaliser des capteurs, des composants de transmission optique des données ou des cellules solaires.

Depuis plusieurs années, une équipe de chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ animée par Maksym Kovalenko aborde la question comme un jeu de Lego et produit des nanomatériaux parfaitement ordonnés aux propriétés optiques et optoélectroniques uniques. Leurs «briques Lego» sont des nanocristaux de diverses compositions et de taille presque monodispersée. Leurs propriétés physiques ne sont plus uniquement déterminées par leur composition chimique, mais beaucoup par leur taille. En solution électriquement neutre, ces nanocristaux s'ordonnent en supercristaux colloïdaux sous le seul effet de forces entropiques. Ces briques ne sont pas des atomes, comme dans un solide anorganique, mais des nanocristaux individuels avec leurs propres caractéristiques physiques. On ne sait pas encore

1 Représentation schématique d'une molécule du pigment à la frontière de phases d'une émulsion bicontinue.

2 Image AFM d'une nanostructure de graphène avec une résolution atomique.

3 Supercristaux colloïdaux vus au microscope à lumière blanche.



quels effets et propriétés physiques propres à ces supercristaux peuvent être induits et exploités par le comportement collectif des nanocristaux les composant. Un premier effet a pu cependant être démontré: la superfluorescence des supercristaux des perovskites d'halogénure de plomb. De par leur taille et composition à peu près identiques, les nanocristaux se couplent de manière cohérente. Les émissions de photons des nanocristaux individuels sont alors cohérentes, autrement dit simultanées. Ce phénomène s'appelle superfluorescence, et c'est la première fois qu'on le met en évidence dans un corps solide. On peut lui envisager des applications dans l'éclairage à LED, les capteurs quantiques et la communication quantique.

Les résultats les plus proches de la vision de Feynman sont ceux de Roman Fasel et Oliver Gröning de l'Empa et leur création de nanostructures de graphène à propriétés quantiques ajustables. Il y a un peu plus de dix ans, l'équipe a développé une méthode de synthèse de nanostructures en graphène de précision atomique. Elle recourt à des précurseurs moléculaires spécialement conçus, déposés par vaporisation sur une surface d'or par un processus catalytique en deux étapes qui conduit à la nanostructure de

graphène souhaitée. Sa géométrie est clairement déterminée par la forme du précurseur. La géométrie et la topographie atomique des bords de la nanostructure de graphène sont définies par son état électronique, magnétique et quantique. Récemment, les chercheurs ont pu démontrer sur des chaînes de triangulène le fractionnement de spin prévu en 1983 par le prix Nobel de physique F. Duncan M. Haldane (voir page 12). Cela ouvre une perspective prometteuse, celle de produire des réseaux de spin à base de nanostructures en graphène pour la prochaine génération d'ordinateurs quantiques. Le projet «CarboQuant» financé à hauteur de CHF 15 millions par la Fondation Werner Siemens entend nous rapprocher de cet objectif dans les dix prochaines années. //

Dr. Mateusz Wyrzykowski, mateusz.wyrzykowski@empa.ch

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

Pour gérer notre patrimoine bâti de manière durable, il faut réduire la consommation d'énergie nécessaire à le chauffer ou le rafraîchir. Bien isoler les bâtiments est l'un des principaux moyens d'y parvenir. Plusieurs équipes de l'Empa ont récemment proposé de nouvelles solutions dans ce domaine.

### Des aérogels de silice comme couche mince d'isolation

Les aérogels de silice sont des matériaux nanostructurés d'une conductivité thermique moitié moindre que les isolants habituels tels que le polystyrène expansé ou la laine minérale. Les premiers produits commerciaux à base d'aérogels sont apparus sur le marché suisse il y a environ 13 ans. Aujourd'hui, il en existe plusieurs types sous forme de couvertures, plaques, crépis ou en vrac. Les aérogels de silice sont sensiblement plus coûteux que les isolants habituels. C'est actuellement le principal obstacle à leur généralisation. Leur emploi s'impose là où l'épaisseur de l'isolation est limitée, là où les matériaux habituels seraient trop minces pour être efficaces. Il est souvent impossible d'isoler les façades des bâtiments historiques sans en modifier le caractère. Les plaques ou les crépis d'aérogel per-

mettent de sensiblement réduire les pertes de conduction thermique des façades en n'y ajoutant que quelques centimètres d'isolation. Certains endroits de l'enveloppe d'un bâtiment neuf ou à rénover sont trop exigus pour les isolants habituels, comme, par exemple les caissons de stores. L'aérogel permet d'éliminer ces ponts de froid.

Wim Malfait et son équipe du laboratoire «Building Energy Materials and Components» optimisent le processus de production des aérogels pour les rendre moins coûteux et plus durables, par exemple en les combinant avec des biopolymères. Ils étudient également de nouveaux modes de mise en œuvre, par exemple en les intégrant à des tuiles ou à des façades en bois préfabriquées.

### Des isolants à base de papier recyclé

Des systèmes à base de cellulose tirée du vieux papier, tel était l'objet d'un projet conduit à bien par Thomas Geiger et ses collègues du laboratoire «Cellulose and Wood Materials» en collaboration avec la société isofloc AG et avec le soutien d'Innosuisse. Les fibres recyclées du papier peuvent être insufflées dans les espaces creux des constructions en bois où elles constituent une couche isolante continue. L'un des principaux problèmes que les

chercheurs ont dû résoudre était de trouver un stabilisateur empêchant le tassement des flocons insufflés dans des éléments préfabriqués en bois, lesquels sont transportés et érigés sur le chantier. Dans la construction, les espaces vides nuisent à l'isolation. En cas d'incendie, ils peuvent former des cheminées qui propagent le feu. Les chercheurs de l'Empa ont mis au point un additif garantissant l'intégrité de la couche compactée même en cas d'incendie. Cette solution améliore le pouvoir isolant et la résistance au feu de la couche isolante. Elle permet également de recycler de grandes quantités de papier.

### Du PET recyclé pour fenêtres haut-de-gamme

Lors de l'amélioration de l'isolation de parois, couvertures, etc., il ne faut pas négliger de réduire les pertes thermiques dues aux ponts de froid que représentent les cadres de fenêtres. Depuis peu, des chercheurs de l'Empa travaillent avec des partenaires à un nouveau type de bande isolante de profilés de fenêtre et de façades vitrées. Ces bandes sont remplies d'une mousse de PET recyclé. Une équipe de l'Empa animée par Michel Barbezat et Giovanni Terrasi du laboratoire «Mechanical Systems Engineering» a développé ce produit avec des spécia-



1

listes de l'entreprise de construction métallique Hochuli. Le projet a reçu le soutien d'Innosuisse.

Le nouveau produit sera commercialisé par la spin-off «hochuli advanced» créée à cette fin.

Aspect le plus original de la bande «Alpet»: la cavité de la barre de plastique renforcé de fibres de verre est pleine d'une fine mousse de PET recyclé. La conductivité thermique des prototypes (env. 0,1 W/mK) est sensiblement moindre que celle polyamide (env. 0,25 W/mK), autre polymère souvent utilisé dans ce cas, et clairement meilleure également que les produits haut-de-gamme actuels. Le recours à du plastique recyclé est un pas de plus vers une économie circulaire. Parallèlement avec les travaux préparatoires à sa commercialisation, le produit est soumis à des tests poussés par plusieurs fabricants de profilés de fenêtres. Les spécialistes de l'Empa continueront de perfectionner ces bandes isolantes de toute évidence utiles au développement durable. //



2



1

Bandes isolantes Alpet dans un profilé de fenêtre. La nuance verte du matériau de remplissage est due à l'usage de PET provenant de bouteilles recyclées. Image: Hochuli Advanced

2

Ancien moulin d'Oberhallau près de Schaffhouse durant et après sa rénovation avec des plaques d'aérogel de silice (2007–2008). Image: Max Schweizer AG

3

Le savoir-faire de l'Empa au service de l'industrie: Franziska Grüneberger et Willi Senn ont mis au point un nouveau procédé de liaison qui augmente la résistance au feu de l'isofloc. Les essais cruciaux ont été réalisés au laboratoire d'essais au feu.



3

De plus en plus de personnes vivent en ville ou dans les agglomérations urbaines. Ces espaces complexes et dynamiques sont appelés à prendre toujours plus d'importance. Leur développement – pour autant qu'il soit bien réfléchi – peut contribuer à résoudre nos défis globaux. L'aménagement durable des espaces urbains pré suppose la prise en compte de nombreux paramètres qui, tous, interagissent. On pense au bouclage du cycle de vie des matériaux et à l'approvisionnement en énergies permettant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, sans oublier la santé des habitants et l'acceptation sociale du changement.

## Vivre le développement urbain de manière ludique

Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, il est nécessaire de transformer massivement les infrastructures urbaines. Le projet «Villes post-fossiles» lancé dans le cadre du programme national de recherche «Economie durable» (PNR 73) du Fonds national a permis à une collaboration entre l'Empa, l'Université de Zurich, l'université technique norvégienne NTNU, la Haute Ecole spécialisée de Suisse orientale OST et la société Ulrich Creative Simulations GmbH

de réaliser un jeu informatique simulant ces changements et les processus sous-jacents. Les joueurs peuvent influencer les différents scénarios climatiques et constater les effets de leurs choix sur la qualité de vie dans les espaces urbains. Ce jeu, qui aide à identifier et évaluer diverses voies de développement des villes post-fossiles, a été développé dans le contexte d'une fictive «Ville suisse 2050», du Plateau suisse, qui ne recourt à aucune énergie fossile. Alors que le temps avance imperturbablement, les joueurs, qui endossent différents rôles (politiques, sociaux, financiers...), se heurtent aux nombreuses embûches qui parsèment la route vers un avenir post-carbone. Chaque joueur décide personnellement quelles mesures lui paraissent prioritaires et doivent être immédiatement appliquées et lesquelles peuvent attendre. Peut-on les mettre en œuvre en faisant cavalier seul ou des alliances sont-elles nécessaires?

L'objectif du jeu est également d'apprendre à évaluer l'efficacité des mesures de protection du climat et à les mettre en pratique dans son propre rayon d'action. Il en ressort que les objectifs des Accords de Paris sont atteignables à condition d'adopter des mesures drastiques et de les appliquer sans délai.

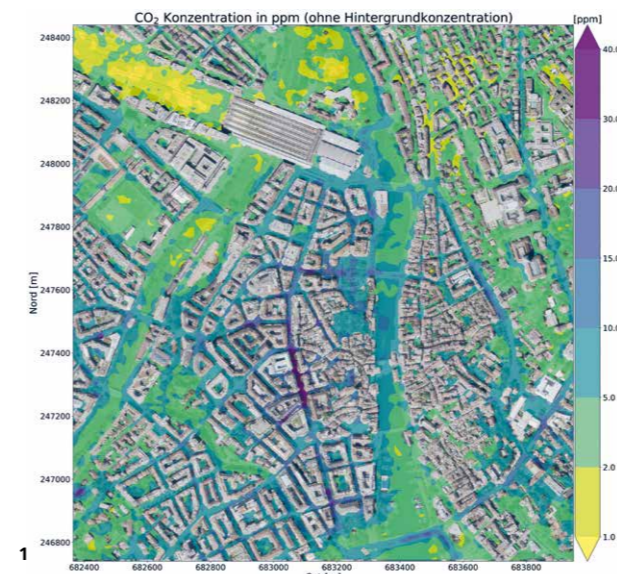
## Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans les villes

Les surfaces urbaines produisent mondialement plus de 70 pourcent des émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub>. Pour atteindre l'objectif convenu par les accords internationaux de Paris – limiter l'augmentation globale de la température de 1,5 à 2 °C – il est impératif de réduire ces émissions dans toutes les villes. De par l'hétérogénéité des structures urbaines des différentes villes, et du grand nombre de sources d'émission (mobilité, habitat...), cela constitue un défi de taille.

Le projet européen «Pilot Application in Urban Landscapes – Towards integrated city observatories for greenhouse gases» (ICOS-Cities) est l'un des éléments centraux du «Green Deal» européen, la feuille de route de la Commission européenne vers une économie durable et climatiquement neutre. La direction des activités de la région-pilote Zurich – qui, avec Paris et Munich, constitue le noyau des villes ICOS – a été confiée à des chercheurs de l'Empa bénéficiant déjà d'une longue expérience dans le duo modélisation & mesure des gaz à effet de serre.

Zurich, agglomération relativement modeste au niveau international, à la topographie et aux facteurs météorologiques délicats, peut s'appuyer sur l'expé-

Dr. Brigitte Buchmann, [brigitte.buchmann@empa.ch](mailto:brigitte.buchmann@empa.ch)



rience acquise par l'Empa dans plusieurs projets pionniers. Citons «Carbosense» pour lequel, en collaboration avec le «Swiss Data Science Center» et deux partenaires industriels Swisscom et Decenlab, l'Empa a construit dans le pays un réseau de plus de 300 capteurs de CO<sub>2</sub> pour collecter des informations d'excellente résolution spatiale et temporelle sur les émissions de CO<sub>2</sub> d'origine humaine ainsi que leurs flux dans la biosphère; citons également «EXCLAIM», en coopération avec l'EPFZ et le «Centro Svizzero di Calcolo Scientifico» (CSCS) de Lugano, qui élabore des modèles climatiques et météorologiques régionaux et globaux d'une résolution encore inédite.

L'un des aspects les plus innovants du projet ICOS-Cities est le développement commun de services, modèles et observations par l'administration municipale et des scientifiques de diverses disciplines, y compris les sciences sociales et administratives. Les travaux scientifiques tiendront compte dès le départ des besoins des différentes parties prenantes et épauleront les acteurs poli-

tiques, l'administration et l'industrie dans le choix des mesures climatiques et des investissements stratégiques nécessaires pour atteindre l'objectif de zéro émission nette. //

tiques, l'administration et l'industrie dans le choix des mesures climatiques et des investissements stratégiques nécessaires pour atteindre l'objectif de zéro émission nette. //

1 Concentrations de CO<sub>2</sub> en ville de Zurich. La simulation pour une situation typique de vent d'ouest comprend des milliers de sources d'émissions classées en neuf catégories. Le modèle de dispersion a une résolution de dix mètres dans la ville avec un modèle de bâtiments détaillé.

2 Participants au jeu de simulation «post-fossilCities»: Quelles mesures doivent être appliquées individuellement, quelles mesures doivent être appliquées en collaboration avec les autres acteurs? Les couleurs de casquettes identifient les différents acteurs.

## La Suisse est (n'est pas) une île

La politique suisse de l'énergie a connu une année agitée. Le peuple a rejeté la révision de la loi sur le CO<sub>2</sub> et l'actuel échec de l'accord cadre avec l'UE repousse aux calendes grecques la conclusion d'un accord sur l'électricité. Les problèmes que cela provoque sont encore exacerbés par la forte augmentation du prix du gaz et de l'électricité ainsi que par l'arrêt imprévu de plusieurs centrales nucléaires françaises. L'automne dernier, un rapport publié par la Commission fédérale de l'électricité évoquant le risque de pénurie de courant ces prochains hivers a provoqué de fortes vagues. Pour l'institut de recherche indépendant que nous sommes, il est d'autant plus important, dans cette situation, d'entretenir le dialogue avec la société ainsi qu'avec les décideurs et les décideuses tant de l'économie que de la politique sur les possibilités et les scénarios, les technologies et les procédés d'avenir propres à nous assurer un approvisionnement abordable, renouvelable et fiable.

### La consommation d'énergie des bâtiments poursuit sa baisse

L'une des principales mesures pouvant désamorcer la menace de pénurie hivernale d'énergie est d'améliorer l'isolation des bâtiments. L'examen du parc immobi-

lier suisse fait apparaître une série de défis, en particulier lorsqu'il s'agit d'objets historiques. L'Empa développe depuis des années des matériaux remarquablement isolants à base d'aérogels aux myriades de nanopores. Ces matériaux permettent d'isoler des bâtiments historiques par une fine couche qui n'en modifie pas l'aspect. Pour mieux faire connaître les possibilités de ces aérogels, l'Empa a décerné l'année dernière sa première «Aerogel Architecture Award» distinguant le travail effectué sur plusieurs bâtiments relevant du patrimoine.

Parallèlement au développement de matériaux high-tech, le laboratoire «Building Energy Materials and Components» de l'Empa étudie la réalisation de matériaux isolants à base de déchets végétaux tels que le varech. Leur pouvoir isolant est un peu moindre, mais leur production beaucoup plus sobre en énergie que les isolants habituels à base de polystyrène ou de laine minérale. Dans certains cas, ce procédé permet en outre de séquestrer du CO<sub>2</sub> dans l'enveloppe des bâtiments.

### Développer les énergies renouvelables

Autre pilier de la stratégie énergétique 2050: le développement accéléré des sources d'énergies renouvelables. Au vu des résistances parfois acerbes et du re-

tard accumulé dans la construction d'éoliennes et de grandes installations hydrauliques, la Suisse parie essentiellement sur le photovoltaïque. Le potentiel des modules légers de haute efficacité destinés aux toitures, façades, véhicules et appareils mobiles est élevé. Notre laboratoire «Couches fines et photovoltaïque» a franchi une nouvelle étape dans ce sens en 2021, atteignant le rendement record de 21,4 pourcent avec des cellules souples cuivre-indium-gallium-diséléniure sur film de polymère.

Cependant, la production de modules photovoltaïques nécessite de l'énergie, une énergie qui dans un premier temps sera essentiellement fossile. Comment effectuer la transition de notre système énergétique vers le post-fossile au moindre coût CO<sub>2</sub>? Le laboratoire «Technologie et société» de l'Empa a modélisé la situation afin de déterminer la stratégie optimale pour le climat. Le résultat – contre-intuitif – est d'exploiter les centrales fossiles à plein régime pendant la transition afin de fournir l'énergie nécessaire à la production accélérée de photovoltaïque. C'est ainsi que la transition se ferait en cumulant le moins d'émissions, laissant quelques chances au scénario d'un réchauffement limité à 1,5 °C.

Dr. Peter Richner, peter.richner@empa.ch

Dr. Björn Niesen, bjoern.niesen@empa.ch



1 Ces plaques isolantes sont faites de fibres du varech récolté sur les rivages méditerranéens et souvent considérés comme une nuisance.

2 Remise de l'Aerogel Architecture Award le 15 juillet 2021 au NEST. Volker Herzog, membre du jury, présente les projets en compétition.

### Transformation du système énergétique du Campus de l'Empa

Commencer par balayer devant sa porte... et par installer des panneaux solaires sur son toit. L'Empa et l'Eawag vont donner l'exemple en équipant ces prochaines années leur campus commun de Dübendorf de nouveaux panneaux. D'une puissance d'environ 460 kWc (kW crête), ils leur permettront de dépasser les 1000 kWc.



Cette mesure s'inscrit dans une complète refonte du système énergétique du campus comprenant l'installation de pompes à chaleur, d'une centrale de cogénération et d'un champ de sondes géothermiques de stockage saisonnier de la chaleur. Objectif: réduire la consommation d'énergie de 25 pourcent et les émissions de CO<sub>2</sub> de plus de 60 pourcent d'ici à 2024, ce qui nécessite également l'achat de plus de courant hydraulique et de plus de biogaz. Le laboratoire «Urban Energy Systems» assure le suivi scientifique de ces projets afin d'en optimiser l'exploitation et de tester sur le terrain de nouvelles approches telles que la charge bidirectionnelle des véhicules à batterie qui permet d'augmenter l'autoconsommation de l'électricité photovoltaïque. //

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

Pour satisfaire les besoins croissants d'une société vieillissante, l'Empa concentre ses efforts sur de nouveaux matériaux qui ouvrent la voie à une multitude d'innovations au service de la santé et du maintien des performances de la population.

### Wearables: des accessoires pour la médecine personnalisée

Les capteurs portables et les jumeaux numériques permettent la mise au point d'outils de diagnostic précoce de maladies potentiellement mortelles ou chroniques. Il est par exemple possible d'intégrer des composants actifs et réactifs à des capteurs associés à des fibres, membranes ou textiles. Ce type de système permet à la fois de surveiller l'évolution des variables corporelles d'un sujet par le suivi de variables physiques, chimiques et biologiques, et d'administrer des médicaments de manière contrôlée par voie transdermique. Dans les systèmes en boucle fermée de thérapie automatisée, un capteur mesure une variable donnée et le système réagit en libérant la dose nécessaire de substance. Les jumeaux numériques d'organes ou d'êtres humains complets permettent d'anticiper la réaction d'un sujet à une thérapie donnée. Plusieurs projets communs de recherche

sur le traitement personnalisé de la douleur, la prévention des escarres ou la détection de bactéries dans les plaies cutanées sont actuellement en cours grâce au soutien de diverses fondations et en partenariat avec différents hôpitaux, dont l'Hôpital cantonal de St-Gall (KSSG) et l'Hôpital Universitaire de Zurich (USZ).

### Bio-interfaces pour prothèses

La médecine est toujours plus demandeuse de matériaux biomédicaux et de prothèses, en raison surtout du vieillissement de la population. Il s'agit de réparer, de régénérer et d'assurer le fonctionnement de tissus et d'organes défaillants. La croissance de la demande stimule la recherche dans les secteurs les plus variés de la science des matériaux tels que les techniques de revêtement, la tribologie, la corrosion, la biomécanique et la fabrication additive. L'objectif des recherches poursuivies à l'Empa est de comprendre la réaction des cellules et des tissus, leurs modes d'adaptation ou leurs modifications au contact des matériaux auxquels on les expose. Cela nécessite un travail interdisciplinaire de haut niveau et des liens très étroits avec l'industrie comme avec nos partenaires cliniques. Forte d'une longue expérience de l'interdisciplinarité en science des

matériaux, l'Empa est à la tête d'importantes découvertes applicables en clinique.

### Techniques d'imagerie en biomédecine

Dans le domaine de l'analyse des tissus, l'Empa a adopté une approche globale qui pourrait fortement marquer l'évolution de la médecine de précision. Cette approche se fonde sur l'intégration multinationale et multimodale des données par des méthodes d'apprentissage automatique. Elle combine des données d'imagerie provenant de tomographie à rayons X 3D à haute résolution et de microscopie spectrale avec les résultats d'analyses génétiques et moléculaires, dites données «omiques». Cette approche permet de mieux comprendre les liens entre l'expression individuelle d'une pathologie (le phénotype) et les caractéristiques génétiques de l'individu (le génotype). L'Empa fait œuvre de pionnier en mettant sur pied un «hub d'imagerie» au service de la médecine de précision dans notre pays. Ses méthodes d'imagerie analytique tridimensionnelle ouvrent de nouvelles voies à la pathologie numérique non invasive, par exemple des tissus tumoraux. Cela permet d'établir des diagnostics person-

nels ciblés non seulement en médecine de précision et en oncologie, mais également dans le traitement personnalisé des patients victimes d'une attaque.

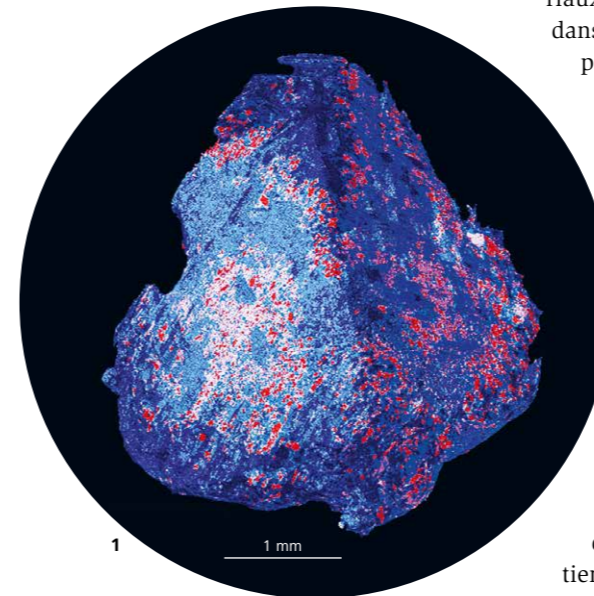
### Matériaux nanostructurés pour technologies médicales

Les chercheurs de l'Empa étudient et conçoivent par ailleurs des nanomatériaux qui exploitent les effets quantiques en jeu à toute petite échelle et aux surfaces de contact hétérogènes, en vue de leur utilisation en médecine. Il faut pour cela maîtriser une chaîne complète de compétences allant du design des matériaux et des systèmes à leur insertion dans un dispositif d'architecture donnée par des techniques de fabrication et d'analyse sur mesure. Les matériaux nanostructurés sont typiquement utilisés dans les capteurs biochimiques (biomarqueurs, protéines), en imagerie et en spectroscopie, dans le diagnostic (par exemple pour surveiller les agrégations protéiques) ainsi qu'en théranostique (médecine personnalisée).

### Systèmes nanomédicaux

Le principe désormais bien établi de traitement individualisé des patients ouvre également de nouvelles perspectives à l'étude des matériaux. Les chercheurs de l'Empa doivent leur avance dans la création des matériaux de demain

à leur savoir-faire en synthèse de nanomatériaux et en études précliniques qui leur permet de trouver des solutions sur mesure aux besoins de la pratique médicale. L'interaction entre nouveaux matériaux et modèles multicellulaires de tissus permet de toujours mieux visualiser les processus physiologiques chez l'homme, ce qui, grâce à des méthodes d'imagerie multimodales et à la bioinformatique, permet de comprendre de manière à la fois plus précise et plus globale la complexité des interactions, le cheminement des signaux et les processus de guérison. Les échanges avec diverses cliniques, entreprises pharmaceutiques et autorités ont débouché sur d'impressionnantes nouveautés. Ainsi, l'Empa a pu réaliser de nouveaux systèmes plateforme fondés sur des nanomatériaux, améliorer le contrôle des données cellulaires et trouver des moyens de mieux exploiter les données in-vitro et in-vivo nécessaires à l'évaluation des risques associés à l'usage de nanomatériaux. //



1 Témoin visuel d'une attaque: histopathologie tridimensionnelle non invasive d'un caillot de sang comprenant des globules rouges (rouge), des calcifications (magenta), de la fibrine (bleu clair) et des plaquettes sanguines (bleu foncé).



## De la recherche à l'innovation

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

Marlen Müller, marlen.mueller@empa.ch

Avec ses partenaires industriels, l'Empa explore des idées surprenantes et prometteuses dans le domaine des matériaux et des systèmes, et, bien souvent, les soumet rapidement à des essais pratiques. Cela dans le cadre de projets communs visant à développer de nouveaux produits, améliorer les technologies existantes, en particulier sur le plan de la durabilité, ou afin d'apporter des solutions innovantes à des problèmes concrets. L'Empa est toujours soucieuse de renforcer la compétitivité de ses partenaires et le progrès technologique en général.

En 2021, l'Empa a lancé plus de 200 nouveaux projets de recherche, en majorité avec des partenaires industriels. 13 demandes de brevet ont été déposées et 14 nouveaux contrats de licence et de transfert de technologie conclus.

### Des champignons pour anoblir le bois

Le bois marbré est un matériau très prisé dans l'industrie du meuble haut de gamme. L'équipe de chercheurs de Francis Schwarze du département «Cellulose & Wood Materials» de l'Empa a mis au point un nouveau procédé d'application de champignons sur des essences de bois locales telles que le

frêne, le hêtre et l'érable. Bien contrôlé, le procédé permet de faire apparaître des motifs, des images, voire de mots sur le bois sans en modifier la forme ou la stabilité.

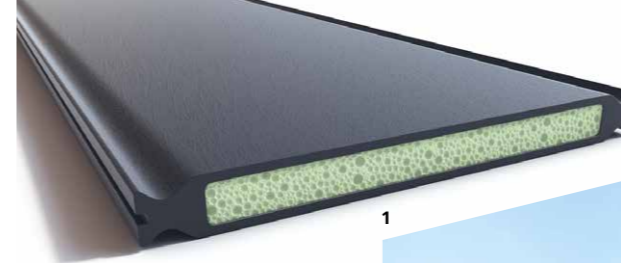
L'équipe de Schwarz a étudié en laboratoire plusieurs espèces de champignons présents dans la nature et sélectionné ceux qui offraient les propriétés les plus intéressantes pour l'anoblissement du bois. Certaines combinaisons de champignons provoquent l'apparition de marbrures foncées par un pigment, la mélanine. La mélanine est hydrophobe, antimicrobienne et protège le champignon contre ses adversaires naturels, comme des bactéries. Les motifs peuvent varier selon l'espèce de champignons, ce qui permet d'obtenir des effets différents: lignes vagabondes ou d'aspect géométriques. Ce nouveau procédé a été développé avec le partenaire industriel, Koster Holzwelten AG, dans le cadre d'un projet soutenu par Innosuisse. Il est actuellement utilisé dans la fabrication de pièces uniques.

### Barres énergétiques parmi les bandes isolantes

Les bandes isolantes cachées au cœur des profils métalliques assurent la liaison mécanique entre le cadre interne et externe

des fenêtres ou éléments vitrés de façade. Elles doivent être compactes et résister aux charges mécaniques. Elles servent également de séparation thermique, ce qui suppose des matériaux plutôt poreux, 2 tendres et fragiles. Contradictoire? Mettons qu'il existe une marge d'optimisation jusqu'à aujourd'hui. Des chercheurs du laboratoire «Mechanical Systems Engineering» de l'Empa et des experts de l'entreprise de construction métallique Hochuli de Wigoltingen ont mis au point un nouveau type de bande sandwich en plastique renforcé de fibres de verre entourant un noyau en mousse de PET recyclé.

Plusieurs séries d'essais effectués par l'institut «ift» de Rosenheim (D) et la certification qui en est issue témoignent des excellentes caractéristiques de la bande isolante Alpet. Sa commercialisation sera assurée par une société créée tout exprès: hochhuli advanced AG.



1



3

### Deux en un: installation bi-procédé de dépôt de couches minces

La nouvelle installation de dépôt de couches minces «SC-1» est le produit phare de Swiss Cluster AG, une spin-off de l'Empa. Elle combine deux procédés, l'«Atomic Layer Deposition» (ALD) et la «Physical Vapor Deposition» (PVD). Le produit ne doit plus être déplacé d'une chambre à l'autre et le vide peut être maintenu dans la chambre. Cela permet d'appliquer sans grand coût des couches minces différentes les unes sur les autres. Les multicouches combinant diverses caractéristiques soulèvent un vif intérêt dans la recherche.

Mise au point au laboratoire «Mécanique des Matériaux et Nanostructures», l'installation a fait l'objet d'une demande de brevet par l'Empa et la technologie confiée sous licence exclusive à Swiss Cluster AG. Actuellement, une équipe de six personnes projette et construit des installations ALD-PVD adaptées aux besoins de ses clients, de grandes entreprises. L'offre de Swiss Cluster AG comprend en outre la vente de composants individuels, les conseils techniques et la conduite de services de recherche spécifiques. //

1

Bande isolante Alpet en plastique. Le matériau de remplissage doit sa teinte au PET de bouteille recyclées. Image: Hochuli advanced

2

Horloge d'un mètre de diamètre en bois de frêne, hêtre et érable marbré par les champignons de la pourriture molle Kretzschmaria deusta. Traité dans des conditions contrôlées, le bois est parcouru de lignes noires. Ces pièces uniques sont fabriquées par le partenaire industriel Koster Holzwelten AG.

3

L'installation de dépôt de couches minces «SC-1» est le produit phare de la société Swiss Cluster AG, une spin-off de l'Empa.



## Du prototype à l'entreprise, puis au marché

L'année dernière également, des chercheurs de l'Empa ayant de nouvelles idées commerciales ont été coachés dans les incubateurs d'entreprises glatec à Dübendorf et Startfeld à Saint-Gall.

Exemple: le laboratoire «Urban Energy Systems» a développé une technologie de gestion efficiente des bâtiments basée sur l'apprentissage automatique cadré par des données physiques fournissant les conditions aux limites. Moyennant un modeste investissement de mise en service, elle permet de réduire les frais de chauffage et de climatisation de 25 à 50 pourcent tout en maintenant, voire en améliorant le confort thermique. La société viboo, future spin-off de l'Empa, en proposera une version adaptable, bon marché et exploitable par le cloud. Les futurs clients, par exemple des entreprises de domotique, pourront facilement intégrer l'interface à leurs produits numériques et ainsi offrir à leurs clients ce remarquable service. La technologie de viboo a été validée sur le démonstrateur de technologies du bâtiment NEST. La future spin-off a déjà passé avec succès deux des trois tours de levée de fonds de Venture Kick, lancé un projet pilote avec la société de chauffage et du froid Danfoss, et bénéficiera du soutien d'Innosuisse

dans le cadre du programme «BRIDGE Proof-of-Concept».

La société Perovskia Solar AG créée en 2021 par un ancien collaborateur de l'Empa fournit des cellules solaires sur mesure réalisées par impression numérique. Soutenue par glatec, la start-up travaille à cheval sur l'impression électronique, le photovoltaïque et la science des matériaux.

2021 a également connu une réjouissante reprise: Sensirion Holding AG, grand fournisseur de capteurs environnementaux et de flux, a acquis l'ancienne spin-off glatec IRsweep AG, fournisseur de capteurs optiques. Cette spin-off de l'EPF et de l'Empa développe, produit et commercialise des équipements de spectroscopie par peigne de fréquences à laser à cascade quantique (QCL) dans les infrarouges moyens.

### Electrodes adhésives pour applications médicales

La société Nahtlos AG, spin-off de l'Empa créée en 2017 et basée au Startfeld, avait pour but initial de commercialiser la technologie de soudure à laser de l'Empa. Depuis 2019, elle se concentre également sur les électrodes textiles développées à l'Empa. Objectif: trouver une solution satisfaisant l'ensemble des exigences (ef-

ficiance, adéquation, économie) nécessaires au remboursement des frais dans le secteur médical.

L'évolution suivie ces deux dernières années par ces électrodes est balisée par les porte-ECG entretissés d'électrodes, un ECG à électrodes à clip et les électrodes adhésives. Lorsqu'il s'agit de porter des électrodes sur une longue période, les électrodes adhésives Nahtlos sont la seule alternative validée à la technologie par gel vieille de plus de 60 ans. Elles fournissent un signal de meilleure qualité (efficacité), elles sont plus agréables à porter (adéquation) et plus économiques sur la durée pour le prestataire médical. La qualité de leur signal a été dûment validée par l'Empa et Schiller AG, un leader mondial de l'équipement en ECG. Prochaine étape: une étude sur des patients souffrant d'arythmie cardiaque, en collaboration avec l'Empa et l'Hôpital cantonal de St-Gall (KSSG).

Au-delà de leur utilisation en ECG, les électrodes de longue durée Nahtlos font l'objet d'une étude clinique sur des patients souffrant de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) dont on suit les variations cardiaques sur plusieurs semaines afin de détecter toute aggravation de l'état (poumons). Tablant toujours sur la technologie des élec-

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

trodes de l'Empa, Nahtlos AG développe également un caleçon à stimulation fonctionnelle pour la Fondation suisse pour paraplégiques. Fonction: exercer sur une longue période la stimulation électrique pluriquotidienne du grand fessier (gluteus maximus) afin de le développer ou d'en favoriser l'irrigation et d'assurer ainsi un bon décubitus en position assise en fauteuil roulant. Nahtlos prépare une ronde de financement et l'industrialisation des électrodes adhésives pour 2022. //



1

1 Les fabricants de thermostat peuvent intégrer l'algorithme viboo à leurs thermostats intelligents via une liaison au cloud. Image indicative: iStock / Andrey Popov



2

2 Ceinture pectorale Nahtlos pour le suivi cardiaque (fréquence et variabilité) sur de longues durées.

Gabriele Dobenecker, gabriele.dobenecker@empa.ch  
Dr. Martin Gubser, martin.gubser@empa.ch

L'Empa est un institut de recherche du domaine des EPF. A ce titre, il est financé à environ 60 pourcent par la Confédération. Les autres 40 pourcent sont assurés par des fonds de soutien suisses ou de l'UE ainsi que par des projets de recherche avec l'industrie de notre pays. Une part croissante de ce financement tiers provient de dons et d'aides directes de fondations privées qui nous permettent de lancer des projets de recherche innovants et de soutenir de jeunes talents dont les travaux n'ont pas encore trouvé d'autre financement.

## Nouvel élan

En février 2021, Martin Gubser a rejoint le Zukunftsfonds de l'Empa. Il y apporte l'expérience de nombreuses années dans la levée stratégique de fonds. Avant de nous rejoindre, Martin Gubser a pratiqué la levée de fonds à la Fondation suisse pour paraplégiques puis à la Fondation UZH, fondation donatrice de l'Université de Zurich.

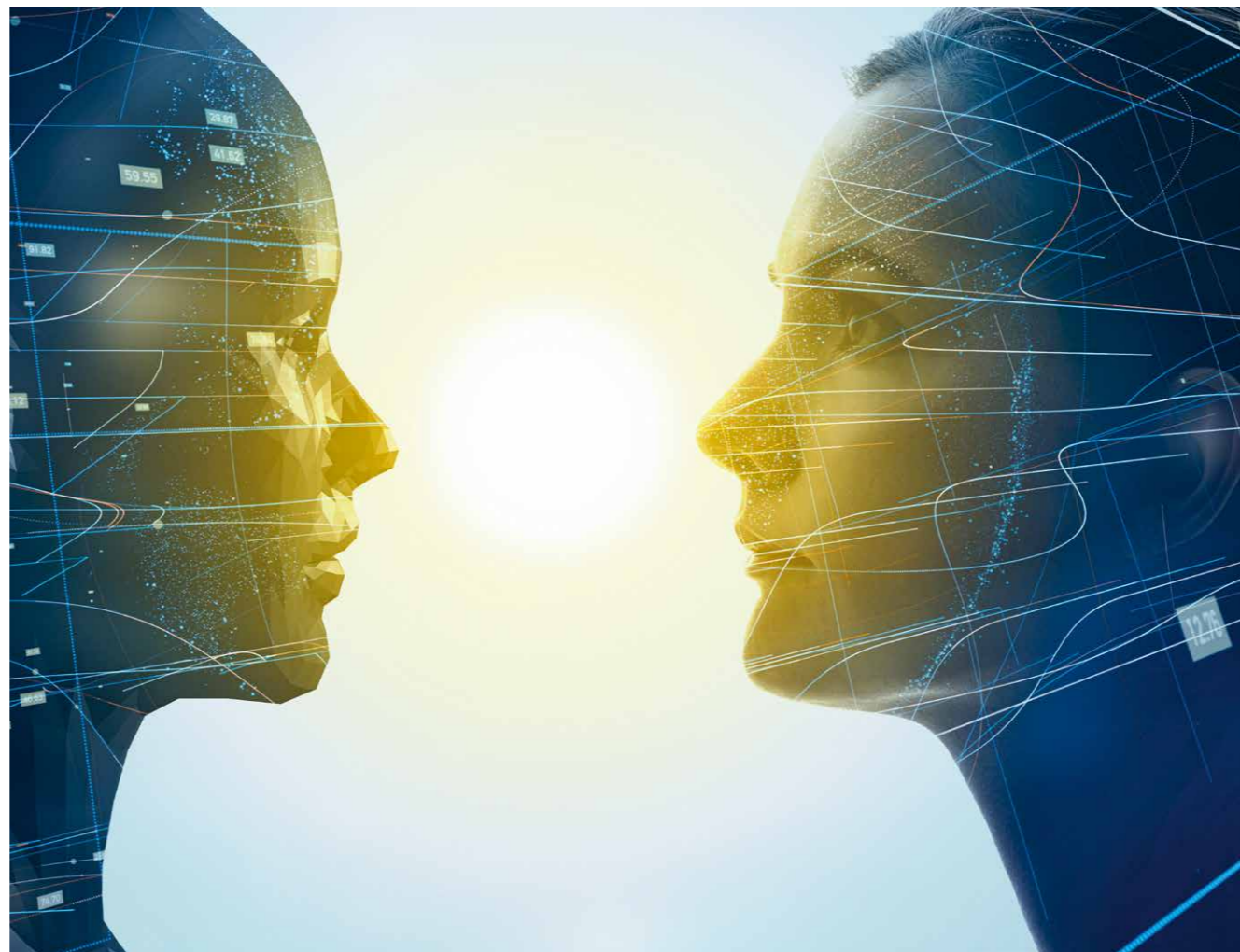
## Fonds thématique pour idées neuves

Ouvrir de nouvelles voies vers un avenir énergétique climatiquement neutre et efficient, trouver des solutions innovantes dans la construction durable, favoriser la revalorisation des matériaux dans une économie circulaire, améliorer la qualité de

l'air, développer de nouveaux matériaux et systèmes de diagnostic et de thérapie... L'Empa a les moyens de soutenir des projets de recherche ou d'infrastructure dans de nombreux domaines, et les moyens d'offrir une formation continue ciblée aux jeunes talents les plus prometteurs. Outre son Fonds pour l'avenir – principal instrument de financement – l'Empa a créé en 2021 cinq nouveaux fonds thématiques en durabilité, santé, énergie, nanotechnologies et soutien aux jeunes talents.

## Soutenir les meilleurs

La promotion de la relève est prise très au sérieux par l'Empa. Quelque 400 jeunes chercheurs y travaillent à leur thèse ou y abordent leur carrière comme postdoc, ce qui est énorme. Promouvoir la relève, c'est investir dans l'avenir du pays. En 2021, l'Empa a attribué son premier «Empa Young Scientist Fellowship» qui offre à de jeunes scientifiques de talent la possibilité de commencer leur carrière par deux années de travail autonome sur un sujet de recherche pertinent. Un autre Empa Young Scientist Fellowship pour les chercheurs du site de Saint-Gall, d'un montant de CHF 270 000, a été financé par la fondation Ria et Arthur Dietschweiler. D'autres dons non liés sont allés au Fonds de soutien aux jeunes talents.



## Des avatars numériques pour le traitement de la douleur

Les patchs de Fentanyl permettent de remplacer les méthodes habituelles de libération progressive de morphine dans le traitement de douleurs chroniques. Toutefois, pour assurer l'effet antalgique sans effets secondaires non souhaitables, le taux de Fentanyl dans le sang doit être attentivement suivi. Par ailleurs, certains facteurs physiologiques tels que l'âge, le sexe, le poids, l'activité des enzymes hépatiques, peuvent influencer le cours de la thérapie. Des chercheurs de l'Empa ont lancé un nouveau projet: concevoir un jumeau numérique personnalisé regroupant les caractéristiques physiologiques du patient ou de la patiente, qui permettrait une meilleure gestion de la douleur. Ce projet a été rendu possible par un soutien de plus de CHF 140 000 de la Fondation Margrit Weisheit. //

1  
Les jumeaux numériques doivent permettre de pratiquer des thérapies sur mesure, par exemple dans le traitement de la douleur. Image indicative: Shutterstock

## Le réseautage virtuel, nouveau normal

Dans sa seconde année, la pandémie a continué de compliquer les échanges directs et le réseautage entre l'Empa et ses partenaires internationaux. La majorité des rencontres physiques se sont tenues en été et en automne, saisons déclarées moins favorables au virus.

Le ministère fédéral autrichien du numérique et des entreprises a donc organisé deux visites à l'Empa auxquelles ont participé des représentants et représentantes de l'industrie, de la recherche et de l'administration. Les échanges ont porté sur l'énergie, la durabilité, en particulier sur les nouvelles technologies pour batteries et sur divers projets innovants tels que le Energy Hub (ehub) de l'Empa et les techniques durables en matière de béton et d'asphalte. Au mois de juillet, l'Empa a reçu une délégation thaïlandaise conduite par l'ambassadeur Chakri Srichawana, avec présentation de nos dernières nouveautés et échanges exploratoires sur les possibilités de collaboration.

### Rencontre dans la sphère numérique

Ce qui n'était souvent pas possible dans le monde réel l'est devenu dans l'espace numérique. Au mois de mars a eu lieu un «voyage virtuel dans l'avenir» à la faveur

duquel des experts de l'Empa et de délégués autrichiens – cette fois de l'économie et de l'industrie – ont discuté des matériaux et des processus de fabrication de demain. Ils ont assisté entre autres à une présentation du «Swiss m4m Center» – qui réalise des impressions 3D d'implants médicaux – et de quelques initiatives suisses en matière de Advanced Manufacturing (AM).

En mars également (et de nouveau avec des partenaires autrichiens), Peter Richner, vice-directeur de l'Empa, a assisté virtuellement à une journée de la plateforme internationale de recherche «ReConstruct» et participé, entre autres avec Leonore Gewessler, ministre autrichienne des affaires climatiques, à un podium sur la question de la construction climatiquement neutre.

La célèbre conférence de trois jours «NanoMed Europe», organisée (et présidée) par Peter Wick, chercheur à l'Empa, en collaboration avec l'Université de St-Gall et l'Hôpital cantonal de St-Gall, s'est également tenue sous forme virtuelle. Il y a surtout été question des applications médicales des nanotechnologies et des «medtechs», en particulier de leurs applications dans la pratique médicale.

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

### Collaborer à l'utilisation durable des ressources

Le «World Resources Forum 2021» s'est déroulé en octobre sous forme hybride, partiellement sur scène et majoritairement en ligne. Au cours des trois journées, un millier environ de participants de la politique, de la recherche, de l'industrie et de la société ont échangé sur l'usage durable des ressources naturelles.

En matière de collaboration internationale sur la recherche, l'Empa et BASE («Basel Agency for Sustainable Energy») se sont trouvés en début d'année parmi les lauréats mondiaux du «Inclusive Growth and Recovery Challenge» lancé par la Fondation Rockefeller, «Mastercard Center for Inclusive Growth» et «data.org» pour aborder les grands défis sociétaux par le biais de l'informatique et de la science des données. Le projet «Your Virtual Cold-Chain Assistant» développé par des chercheurs de l'Empa est une app destinée aux petits agriculteurs d'Inde. Objectif: prévenir la détérioration des aliments et ainsi éviter le gaspillage alimentaire. En octobre, le projet a également été repris à Lagos, au Nigéria, avec la Société allemande de coopération internationale (GIZ) lors du sommet ouest-africain sur



1

1

En 2021, deux délégations autrichiennes de l'industrie, de la recherche et de l'administration sont venues s'informer des recherches poursuivies à l'Empa sur l'énergie et la durabilité, ainsi que sur les techniques plus douces d'utilisation du béton et de l'asphalte.

2

Peter Richner, vice-directeur de l'Empa, a participé virtuellement à la réunion de la plateforme internationale de recherche «ReConstruct» où il est entre autres intervenu lors du podium sur la construction climatiquement neutre avec Leonore Gewessler, ministre autrichienne des affaires climatiques.



2

la chaîne du froid (West Africa Cold Chain Summit).

Il fut aussi question de durabilité – plus précisément de biomatériaux à base de bois et de cellulose – lors de l'accord de coopération conclu en octobre entre l'Empa et l'Université de Colombie-Britannique. A cette occasion, l'Empa a également adhéré à l'Alliance boréale, initiative internationale fédérant la recherche des pays de la ceinture boréale et visant à exploiter les ressources forestières dans le respect du développement durable. //

# Echanger par tous les canaux

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

Le Covid a entraîné en 2020 une baisse de 80 pourcent des personnes venues profiter de nos visites guidées ou d'un événement. L'an dernier, les chiffres sont vivement repartis à la hausse, du moins en ce qui concerne les événements, pour atteindre à nouveau le niveau d'avant la pandémie... à ce détail près que 70 pourcent des participations étaient virtuelles. Ce fut le cas lors de l'ouverture virtuelle des deux nouvelles unités de NEST: Sprint et HiLo (voir page 24). Mille grâce au numérique...

Au sujet de NEST et de la numérisation: le bâtiment dédié à la recherche a ouvert ses portes virtuelles au milieu de l'année dernière. Depuis lors, il a déjà reçu plus de 5000 intéressés dont 40 pourcent d'étrangers. Les deux nouvelles unités sont en cours de numérisation et pourront bientôt rejoindre le NEST virtuel.

Un visiteur d'un genre particulier est venu fouiner au NEST l'an dernier: la mascotte de l'émission télévisée «Avec la souris» (Sendung mit der Maus). C'était en mars, à Dübendorf. L'équipe animée par le vétéran Armin Maiwald y a réalisé la livraison célébrant les 50 ans de son émission pour enfants. Sujet: Comment construire demain dans une économie circulaire?

## Riches échanges avec le monde politique

En juin dernier, Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa, a reçu le conseiller fédéral Ueli Maurer, le directeur de l'Office fédéral des constructions et de la logistique Pierre Broje et son vice-directeur Herbert Tichy. Différents projets de recherche leur ont été présentés, ainsi que des démonstrateurs. Ils ont discuté avec la direction de nouveaux procédés s'inscrivant dans la politique «Netto Null», portant sur l'économie circulaire dans le bâtiment, la mobilité et la recherche sur l'énergie.

Par ailleurs, plusieurs commissions parlementaires ont visité le Campus de l'Empa et de l'Eawag à Dübendorf: la Commission de l'environnement, de l'aménagement et de l'énergie du Conseil national (CEATE) et une partie de la Commission des finances du Conseil national.

L'«Innovationspark» de Zurich, qui doit être érigé sur le terrain d'aviation de Dübendorf, non loin de l'Empa, fut le sujet d'échanges avec la commission spéciale du canton de Zurich sur le développement de ce périmètre. Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa, y a précisé ce que le monde de la recherche souhaitait y trouver pour que le parc de l'innovation s'y développe harmonieusement. Selon Bona, l'«Innovationspark Zürich» assure



1



2



3



4

1 La visite virtuelle permet au grand public – chez lui ou en déplacement – de se faire sa propre idée sur l'innovation en matière de technologies, matériaux, procédés dans les secteurs de la construction et de l'énergie, ainsi que sur la plateforme d'innovation NEST.

2 Roland Bilang, directeur de Avernery Suisse, et Brigitte Buchmann, membre de la direction de l'Empa, lors de l'ouverture de l'exposition Powerfuel au Musée suisse des transports de Lucerne.

3 Le directeur de l'Empa Gian-Luca Bona (à droite) en juin 2021 avec le conseiller fédéral Ueli Maurer au NEST.

4 En octobre dernier, lors du Salon Public – le plus grand festival scientifique de Suisse – Peter Richner, vice-président de l'Empa, a expliqué au Kursaal de Berne l'ampleur de la réalité couverte par l'expression «bâtiment intelligent».

la cohérence de l'écosystème de l'innovation de la région zurichoise en proposant les locaux très recherchés pour les partenariats avec l'industrie, en particulier les grandes surfaces nécessaires aux installations pilotes et aux infrastructures de test, ce dont manquent actuellement les hautes écoles.

## Le Covid, sujet de conversation, objet d'études

En 2021, le virus a de nouveau tenu les chercheurs de l'Empa en haleine. Outre leur participation à la task-force Covid de la Confédération, ils ont aussi conduit plusieurs études en étroite collaboration et bonne harmonie avec les autorités du canton des Grisons. Ainsi, ils ont analysé (et modélisé) au début de l'année 2020 les risques de contamination dans les téléphones et gondoles, étudié l'efficacité du dépistage répété de masse pour contenir la pandémie, ainsi que l'influence de la qualité de l'air dans les espaces clos sur la propagation de l'infection.

## «On the road»

Le dialogue avec le grand public n'a pas été oublié. En octobre, à l'occasion du Salon Public – plus grand festival scientifique de Suisse – Peter Richner, vice-directeur de l'Empa, a expliqué au Kur-

saal de Berne l'ampleur de la réalité couverte par l'expression «bâtiment intelligent» et pris le risque d'en anticiper l'évolution bien au-delà de ce que nous voyons aujourd'hui.

La question de la mobilité durable est au centre de l'exposition «Powerfuel» visible au Musée des transports de Lucerne et présentée en octobre dernier à l'Olma de St-Gall. Le public peut entre autres y tester sur simulateur la manière de faire le plein d'hydrogène dans une voiture à pile à combustible et découvrir comment la mobilité pourrait afficher un bilan carbone neutre.

Finalement, dans le cadre de la journée numérique 2021, l'Empa a présenté plusieurs vidéos sur des sujets d'avenir tels que les drones, l'intelligence artificielle, le pilotage automatique, les «jeux numériques» et le gaspillage alimentaire. //

## Appliquer ensemble notre plan d'action

Notre force, nous la devons beaucoup à notre diversité. Les hommes et les femmes qui travaillent à l'Empa sont d'origines fort diverses, fréquentent des milieux culturels variés et sont chargés de travaux de toutes natures. L'excellence de peut résulter que du respect des uns envers les autres», Gian-Luca Bona, directeur de l'Empa, en est convaincu.

### Création d'un bureau de la diversité et de l'inclusion

Le 1er septembre 2021 s'est ouvert le nouveau bureau commun de la diversité et de l'inclusion (D&I) du PSI, de l'Empa et de l'Eawag. Marianne Senn a transféré ses responsabilités de chargée de l'égalité des chances à Melina Spycher. Marianne Senn a conduit le bureau avec la plus grande compétence ces six dernières années, attentive aux évolutions de la société et collaborant activement à la conception de plusieurs plans d'action. Elle a beaucoup contribué à la remarquable réputation de l'Empa comme employeur.

Le nouveau bureau D&I PSI – Empa – Eawag se compose de Natalie Lerch-Pieper (directrice du bureau et responsable pour le PSI), Johanna Alves (stagiaire D&I au PSI) et Melina Spycher. Melina Spycher, experte en diversité & inclusion, responsable pour l'Empa, travaille également pour l'Eawag et le PSI. Le bureau peut nouer des synergies entre les trois instituts de recherche et en renforcer les liens. La régularité des échanges entre le bureau D&I et Urte Reckowsky, coordinatrice de l'Institut forestier suisse, s'en trouve de facto institutionnalisée.

### Plan d'action Egalité des chances & diversité

En 2021, il s'est agi d'appliquer le nouveau plan d'action Egalité des chances & diversité 2021–2024 de l'Empa ([www.empa.ch/web/equal-opportunities](http://www.empa.ch/web/equal-opportunities)). Il met l'accent sur les points suivants:

- Ancrage de l'égalité des chances à l'Empa
- A l'Empa, on se comporte de manière respectueuse
- Egalité des chances pour tous, en particulier pour l'accès des femmes aux postes de direction
- Equilibre travail – vie professionnelle
- Diversité et inclusion

En avril 2021, l'Empa a adhéré à Advance, principal réseau d'entreprises pour l'égalité des sexes dans notre pays. Plus de 120 entreprises suisses en font partie, qui toutes travaillent à augmenter la part des

Dr. Marianne Senn, [marianne.senn@empa.ch](mailto:marianne.senn@empa.ch)  
Melina Spycher, [melina.spycher@empa.ch](mailto:melina.spycher@empa.ch)

femmes aux postes de direction. Advance propose de passionnants ateliers de renforcement des compétences, des ateliers de bonnes pratiques, ainsi que d'autres événements. Les plus récents sont mentionnés sur la page «Chancengleichheit» de notre Intranet ou sur [www.weadvance.ch](http://www.weadvance.ch).

### «We are still CONNECTing»

En octobre 2021, le programme «CONNECT» (connecting women's careers in academia and industry) est entré dans sa troisième phase. Deux femmes employées par l'Empa y participent et, lors de visites chez Medtronic, au DETEC, chez Hitachi et GE, peuvent faire connaissance de femmes extraordinaires ayant vécu le virage professionnel université – industrie.

### Des enfants abordent la recherche en s'amusant

Malgré les complications occasionnées par la pandémie, 24 enfants de collaborateurs ont participé l'an dernier à notre camp d'été. Divers ateliers tels que «Le fil chauffant», «La voiture fusée», «my-BoomBox», «Chaud et froid» ou «Hydrogène liquide» leur ont permis de découvrir en jouant le monde de l'ingénierie et de l'étude des matériaux. //



1  
Transfert symbolique des responsabilités de Marianne Senn (à droite) à Melina Spycher.



2  
Deux jeunes chercheuses du camp d'été.

## Passer du gravier à un oasis écologique

La fondation Nature&Economie distingue l'exemplarité sur le plan naturel et de la biodiversité d'espaces réalisés en zones construites. Elle a certifié et labellisé plus de 500 réalisations, parmi lesquelles les deux sites de l'Empa de St-Gall et Dübendorf. La fondation a d'autre part soumis à l'Empa un projet de valorisation écologique d'une surface de gravier basaltique dépendant du site de St-Gall. Il s'agit de laisser cette aire dénudée évoluer d'elle-même en espace de vie pour la végétation et la petite faune. La pandémie n'a pas permis d'attaquer le projet en 2020. Mais en 2021, une équipe de collaborateurs a entrepris les travaux de réaménagement.

### Sprint, la nouvelle unité de NEST entre en fonction

Alors que la pandémie a ralenti, voire arrêté plusieurs projets, elle a accéléré la construction de la nouvelle unité Sprint de NEST. Dix mois ont suffi pour réaliser ces espaces de bureaux flexibles et conformes aux consignes Covid-19 à partir de matériaux et éléments de construction majoritairement recyclés. Le personnel de l'Empa dispose ainsi de plus de bureaux (voir page 24). Cette réalisation démontre que le volume de matériaux réutilisables est bien là et que son potentiel

d'emploi dans l'industrie est réel. Elle montre également que cette manière de construire constitue une alternative sérieuse et rapide à la construction en neuf. La nouvelle unité applique le principe «Design for Disassembly» afin que, en cas de besoin, les cloisons flexibles puissent être démontées pour faire place à des bureaux pour plusieurs personnes.

### «Net Zero Day» des instituts de recherche

Notre société doit passer au «zéro net» d'émissions de CO<sub>2</sub>. Pour étudier les moyens d'y parvenir, les quatre instituts de recherche du domaine des EPF – Empa, PSI, Eawag et WSL – ont organisé une Journée zéro-net en octobre 2021. Objectif: partager l'information sur les recherches en cours, renforcer les réseaux entre ces chercheurs et identifier les possibilités de coopération. Premiers sujets à se cristalliser: l'analyse des cycles de vie, les batteries, les carburants synthétiques, l'exploitation des données et la simulation multi-échelle.

### Papier 100% recyclé pour les publications de l'Empa

Il y a belle lurette que les photocopieuses de l'Empa n'utilisent que du papier recyclé. C'est maintenant au tour de ses pério-

diques (Rapport annuel, magazine Empa-Quarterly et journal EmpaIntern) qui ne seront plus imprimés que sur du papier 100% recyclé. Par ailleurs, nous renoncions en général à envelopper nos envois d'un film plastique. Economie: environ 80 kg de plastique par an.

### Impressionnante réduction des gaz à effet de serre

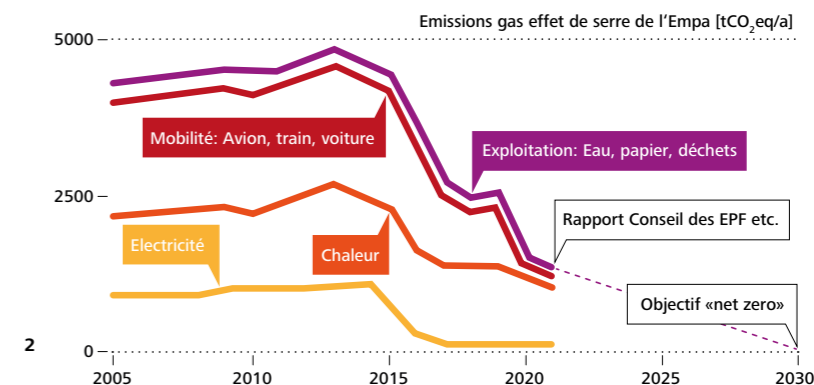
La forte réduction des émissions de gaz à effet de serre concomitante à la limitation du trafic aérien due au Covid a été suivie d'une autre réduction tendancielle dans le domaine de la mobilité: nos collaborateurs et collaboratrices semblent prioriser les moyens de communication modernes. Il faut cependant s'attendre à un certain effet de rattrapage dans le proche avenir.

Dans le chauffage, la réduction enregistrée des émissions de gaz à effet de serre s'annonce durable. Les importants aménagements qui ont amélioré notre efficacité énergétique à Dübendorf et réduit notre dépendance aux énergies fossiles font sentir leurs premiers effets. //

Marcel Gauch, marcel.gauch@empa.ch

1 Que se passe-t-il lorsqu'on laisse la nature suivre son cours? Dans le cas d'une surface de gravier déserte sur le site de St. Gall, on renonce à brûler les plantes qui poussent «spontanément». Cela permet de créer un espace vital pour les petits animaux et les plantes.

2 Evolution des émissions de gaz à effet de serre de l'Empa: par rapport à l'année de référence 2006, nous avons pu fortement réduire notre consommation électrique et notre consommation liée à la mobilité. Il reste à voir si cette dernière réduction, attribuable au Covid, se confirme. En matière de chauffage, plusieurs reconversions techniques vont permettre d'intéressantes réductions. L'Empa entend bien concrétiser la consigne du Conseil fédéral: «Zéro net en 2030».





## Faits et chiffres

Les chercheurs aiment bien mesurer, y compris leurs propres performances: en 2021 les chercheuses, chercheurs, ingénieures et ingénieurs de l'Empa ont publié 850 articles dans des revues scientifiques et déposé 13 brevets pour leurs développements. A la fin de l'année, 112 projets financés par le Fonds national suisse (FNS), 98 projets soutenus par Innosuisse et 71 projets UE étaient en cours à l'Empa. Ses 28 spin-off occupaient avec les autres start-up de ses deux incubateurs d'entreprises au total 1097 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](http://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 et de prendre les mesures nécessaires pour y remédier. La politique de l'Empa est d'entretenir une réelle culture de la sécurité garante de l'amélioration constante du niveau de sécurité qui y prévaut.

### Principes de base dans les situations à risques

L'Empa règle sa politique de sécurité sur les directives de gestion des risques édictées par le Domaine des EPF et la Confédération. Cette politique rigoureuse procède d'une approche cohérente et systématique des nombreux risques encourus par et à l'Empa. La première priorité de l'ensemble des mesures est la protection de la vie et de l'intégrité corporelle 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 et ses conséquences possibles, puis évalué sur le plan 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 défi du Covid-19

Comme bien d'autres aspects de notre vie, la gestion des risques a été dominée en 2021 par le Covid-19. L'Empa a appliqué les règles de confinement. La direction a décidé de maintenir une activité adaptée à la situation. Cela a exigé souplesse et pragmatisme de la part des membres de la task-force Covid-19, de la gestion des risques ainsi que de tous les autres membres du personnel. La task force et les collaborateurs de la gestion des risques ont suivi la situation de près, entretenu le contact avec les autorités et régulièrement proposé à la direction des mesures bien adaptées qui ont été appliquées. En conséquence, le nombre des collaborateurs travaillant de leur domicile a fortement fluctué au cours de l'année, tout comme celui des événements proposés par l'Empa et celui de leurs participants. Les réunions de formation professionnelle de base ont été maintenues. La formation de la relève étant de première importance pour l'économie suisse, l'Empa a décidé de suivre son programme quasi intégralement, en les soumettant à des mesures de protection supplémentaires.

L'équipe d'intervention 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, transmis toutes les informations épidémiologiques nécessaires au réglage 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. Beaucoup d'attention a été portée au soutien de l'ensemble du personnel pour tout ce qui avait trait au Covid-19. Des centaines d'entretiens, de courriels et de téléphones ont permis de maintenir un bon état d'esprit sur tous nos sites. C'est ainsi, et grâce aux mesures

de protection bien adaptées, que la contamination entre collaborateurs a pu être maintenue à un bas niveau.

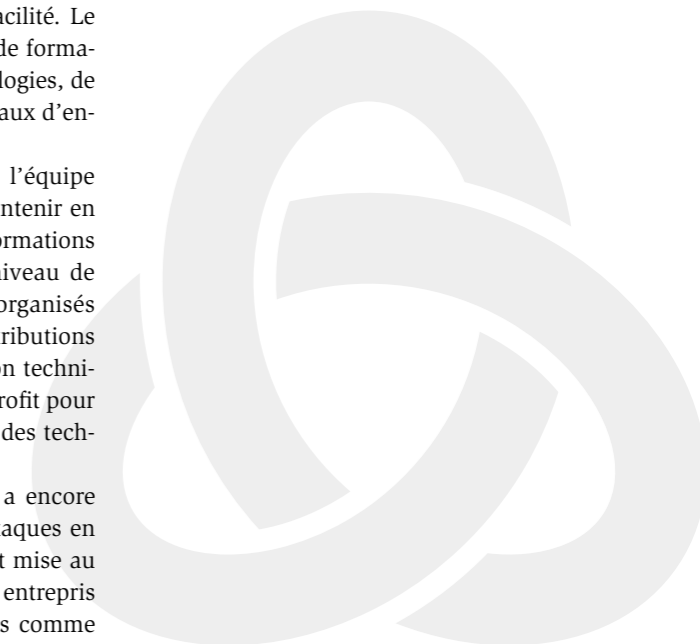
### Evolution des organes de sécurité

La formation des collaboratrices et collaborateurs est l'un de nos principaux axes de prévention. Avec quelque 500 arrivées et départs par année – collaborateurs et hôtes universitaires – il s'agit d'un véritable défi que la pandémie n'a pas facilité. Le service de gestion des risques offre un large éventail de formations dans les domaines de la chimie, des nanotechnologies, de l'utilisation des lasers, etc. adaptés aux différents niveaux d'engagement.

Les équipes d'intervention, le service du feu et l'équipe d'intervention en cas d'accident chimique ont pu maintenir en 2021 le rythme habituel de leurs exercices. Quelques formations continues ont permis de conserver et renforcer le niveau de préparation. Plusieurs exercices communs ont été organisés malgré le Covid-19 et ont fourni d'importantes contributions à l'amélioration continue des procédés. La suppression techniquement complexe du serveur d'alarme a été mise à profit pour optimiser et élargir les processus d'alerte en fonction des techniques les plus récentes.

La question de la sécurisation de l'information a encore gagné en importance avec l'accumulation de cyberattaques en 2021. Une équipe sur la sécurité de l'information s'est mise au travail et a élaboré des instructions sur la question et entrepris l'inventaire du patrimoine des données informatiques comme base nécessaire à la fixation des règles adaptées aux divers types d'information. Objectif: protéger les informations en fonction des risques encourus sous l'angle de la confidentialité, de l'intégrité et de la disponibilité. La question de la sécurisation conti-

nuera d'être creusée et développée à la lumière des normes en vigueur et continuellement adaptée à l'institution. //





## Evolution du personnel

(entre parenthèses: chiffres de l'année précédente)

André Schmid, andre.schmid@empa.ch

**A** la fin 2021, L'Empa occupait 1012 (1022) personnes, apprentis compris. Du fait des nombreuses possibilités de temps partiel, cela équivaut à 948,2 (958,8) postes à plein temps.

Le personnel scientifique s'élevait à 574 (588) personnes, dont 101 (104) senior scientists. 395 (393) personnes travaillaient dans le secteur technique et administratif. Avec 28,2 (29,7) %, 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 457 (470), soit 45,2 (46,0) % des effectifs totaux. 268 (285) de ces personnes provenaient de l'Union européenne, soit 58,6 (60,6) % des collaborateurs étrangers. L'Empa, qui offre une large palette d'apprentis-sages, occupait 43 (41) apprentis. En 2021, tous les apprentis en fin de formation ont cette fois encore passé avec succès leurs examens de fin d'apprentissage. //

### EFFECTIFS DU PERSONNEL

	2020	2021
Personnel scientifique	588	574
Personnel technique / administratif	393	395
apprentis	41	43
<b>Total</b>	<b>1022</b>	<b>1012</b>

# Chiffres clés

## PRODUCTION SCIENTIFIQUE

	2020	2021
Publications ISI	852	850
Contributions à des conférences	494	942
Thèses de doctorat achevées	28	34
Doctorats en cours	199	226
Activités d'enseignement (en heures)	4942	4529
Prix / distinctions	46	50

## PRÉSENCE DANS LES MÉDIAS

	2020	2021
Radio	118	143
TV	55	57
Presse écrite	1405	1370
Online	6090	6880
<b>Total</b>	<b>7665</b>	<b>8450</b>
Langues	38	39

## ACADÉMIE EMPA

	2020	2021
<b>Manifestations de l'Empa</b>	<b>24</b>	<b>70</b>
Participants	1300	4490
Sur place / en ligne	450 / 850	1266 / 3224
Congrès scientifiques	6	18
Manifestations spécialisées pour l'industrie	13	14

## TRANSFERT DE SAVOIR ET TECHNOLOGIE

	2020	2021
Nouveaux accords de recherche et développement	208	232
Contrats de valorisation actifs (licences / options / ventes)	66	54
Nouveaux contrats de valorisation	14	14
Nouveaux dépôts de brevet	15	13

## SPIN-OFF & START-UP (Startfeld & glaTec)

	2020	2021
<b>Entreprises total</b>	<b>119</b>	<b>107</b>
dont spin-off	29	28
<b>Collaborateurs total</b>	<b>1147</b>	<b>1097</b>
dont collaborateurs spin-off	155	173

## PROJETS EN COURS

	2020	2021
FNS	104	112
Innosuisse	81	98
UE	72	71

## 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

Stefan Ramseier Dr., Consenec AG

### MEMBRES

Burkhard Böckem Dr., Hexagon Geosystems Services AG

Beat Flühmann Dr., Vifor Pharma Group

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

Markus Hofer Dr., Bühler AG

Christian Koitzsch Dr., Robert Bosch GmbH

Katharina Lehmann Blumer-Lehmann AG

Chris Luebkeman Dr., ETH Zürich

Céline Mahieux Shell (Switzerland) AG

## 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 T. Dürig Dr., SwissLitho AG

Thomas Egli Prof. em. Dr.

Marcus Textor Prof. Dr., ETH Zürich

Alexander Wokaun Prof. em. Dr.

# Organigramme

Etat mai 2022

## 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 Startfeld**  
Mario Jenni  
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 / [empa.ch/empa-portal](http://empa.ch/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

#### 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](http://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