Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #68 II MAI 2020

FOCUS

Idées - la sortie de la crise

DES ALLIAGES FAITS SUR MESURE
TEXTILES INTELLIGENTS
DES FRUITS DURABLES GRÂCE AU PLATINE

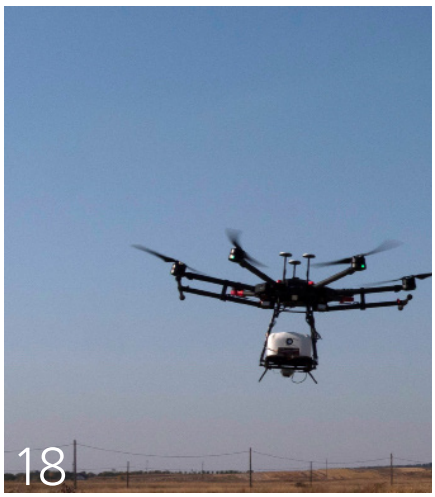
www.empaquarterly.ch

[CONTENT]

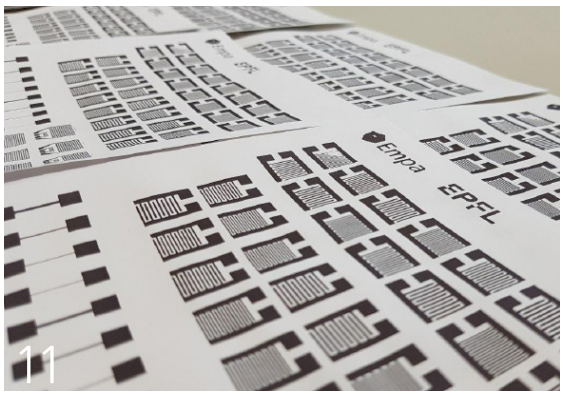
[FOCUS: LA SORTIE DE LA CRISE]

32

14


18

24


11

Fotos: Unsplash, iStock, Empa

LA NORMALE, C'ÉTAIT HIER

Chère lectrice, cher lecteur,

Vous ne voulez plus entendre parler de home-office, de coronavirus ou de distanciation sociale? Nous non plus. Rapidement cependant: ce numéro d'EmpaQuarterly a été largement réalisé en mode «remote control». Initialement prévu pour la journée des portes ouvertes de début mai – naturellement tombée à l'eau –, il a été profondément remodelé.

Cela dit, osons un regard optimiste vers l'avenir. Au lendemain des actuelles turbulences, la Suisse aura toujours en main un grand atout: sa capacité d'innovation. Il va falloir le jouer correctement afin de limiter les dégâts subis par notre économie. Quelques propositions issues de nos laboratoires illustrent comment nous pourrions nous y prendre.

Autre chose qui ne pourra que s'avérer utile: continuer de bien écouter les informations et analyses des scientifiques sur les sujets les plus divers, du virage énergétique à l'approvisionnement en matériel de première nécessité tel que les tenues de protection. Quelles qu'aient pu être les divergences sur l'évolution de l'épidémie, je préfère de loin une politique fondée tant que possible sur les faits aux divagations des moulins à paroles politiques qui (surtout à l'étranger) cherchent avant tout à se maintenir au pouvoir ou à le conquérir. Souhaitons que les chercheurs et chercheuses continuent longtemps de participer aux conférences de presse et, en général, restent bien présents sous les projecteurs.

En vous souhaitant bonne lecture

Votre MICHAEL HAGMANN

[FOCUS]

08 IMPRESSION 3D
Des alliages sur mesure

11 ÉLECTRONIQUE
L'encre et les composants

14 TEXTILES INTELLIGENTS
Du capteur à la régulation du microclimat corporel

18 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE
Mesure en vol des polluants

21 CONSTRUCTION LÉGÈRE
Moins de béton, mais du béton autocontraignant

24 BATTERIES POUR VÉHICULES
Vers une gigafabrique européenne

27 ÉNERGIE
Production écologique et économique de courant

28 STOCKAGE DE L'ÉNERGIE
L'après batteries lithium-ion

32 ALIMENTATION
Des fruits restant frais plus longtemps

[RUBRIQUES]

04 LA PHOTO

06 BRIÈVEMENT

34 EN ROUTE

[COUVERCLE]

Il est désormais important d'avoir des idées fraîches et innovantes pour donner un nouvel élan à l'économie. Photo: iStock

Foto: istock

[IMPRESSUM]

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

ISSN 2673-1746
Empa Quarterly (édition française)

PERFORMANCE myclimate neutral Imprimé
No. 01-20-406415 – www.myclimate.org
© myclimate – The Climate Protection Partnership

Empa Social Media

Photo: L. Haspel, sbp Stuttgart

PREMIÈRE MONDIALE DANS LA CONSTRUCTION DES PONTS

Etape marquante pour un matériau d'origine suisse remarquablement polyvalent: le 3 mai 2020, un pont ferroviaire de 127 mètres sera posé par-dessus l'autoroute A8 près de Stuttgart. C'est le premier pont dont les 72 suspentes sont entièrement en polymère renforcé de fibres de carbone (PRFC). Ce matériau ultraléger et d'une étonnante résistance a été développé en grande partie à l'Empa. Il est utilisé dans la construction d'un nombre croissant d'ouvrages.

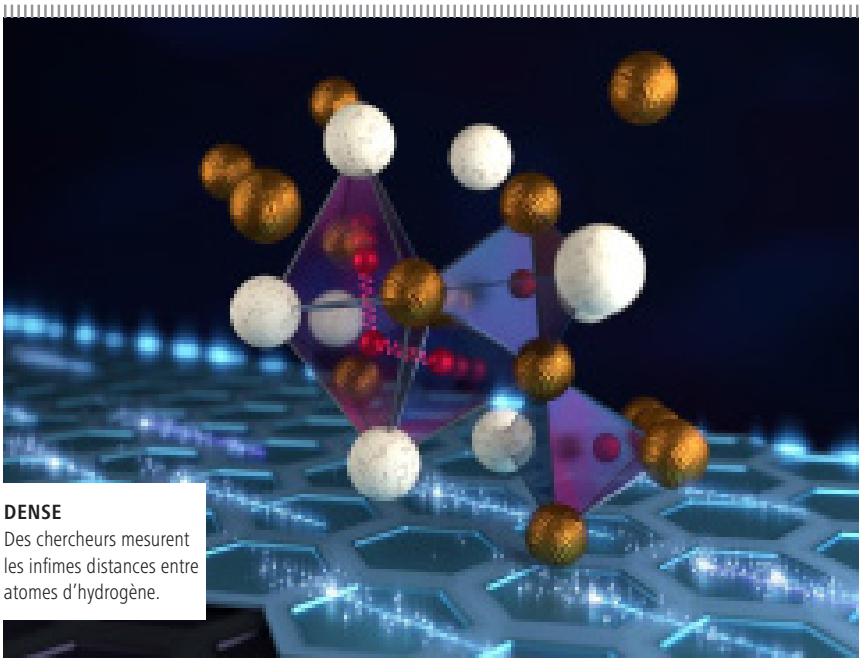
Pour toute information complémentaire:
www.empa.ch/web/s604/cfk-stuttgart

«REMASK» – CONTRE LA PÉNURIE DE MASQUES

RÉUTILISATION
Les masques correctement désinfectés peuvent servir plus longtemps.

La crise du COVID-19 a entraîné une pénurie de masques de protection. Pour en assurer l'approvisionnement en Suisse, des chercheurs de l'Empa ont rejoint le projet «ReMask» d'un consortium national issu des secteurs de la recherche, de la santé et de l'industrie. Objectif: développer de nouveaux types de masques et des techniques de réutilisation des masques. Pour aujourd'hui et pour de futures pandémies. Les premiers résultats sur la confection de ces masques, sur les textiles de protection ainsi que sur les tests normalisés ont déjà été rendus publics.

https://masken.empa.ch



DENSE
Des chercheurs mesurent les infimes distances entre atomes d'hydrogène.

SUPRACONDUCTIVITÉ À TEMPÉRATURE AMBIANTE?

Une équipe de chercheurs suisses, étatsuniens et polonais a mis en évidence une exceptionnelle concentration d'atomes d'hydrogène dans un hydrure métallique. La faible distance entre atomes pourrait permettre de stocker sensiblement plus d'hydrogène dans ce matériau – au point qu'il pourrait s'avérer supraconducteur à température ambiante.

www.empa.ch/web/s604/hydrogen_density

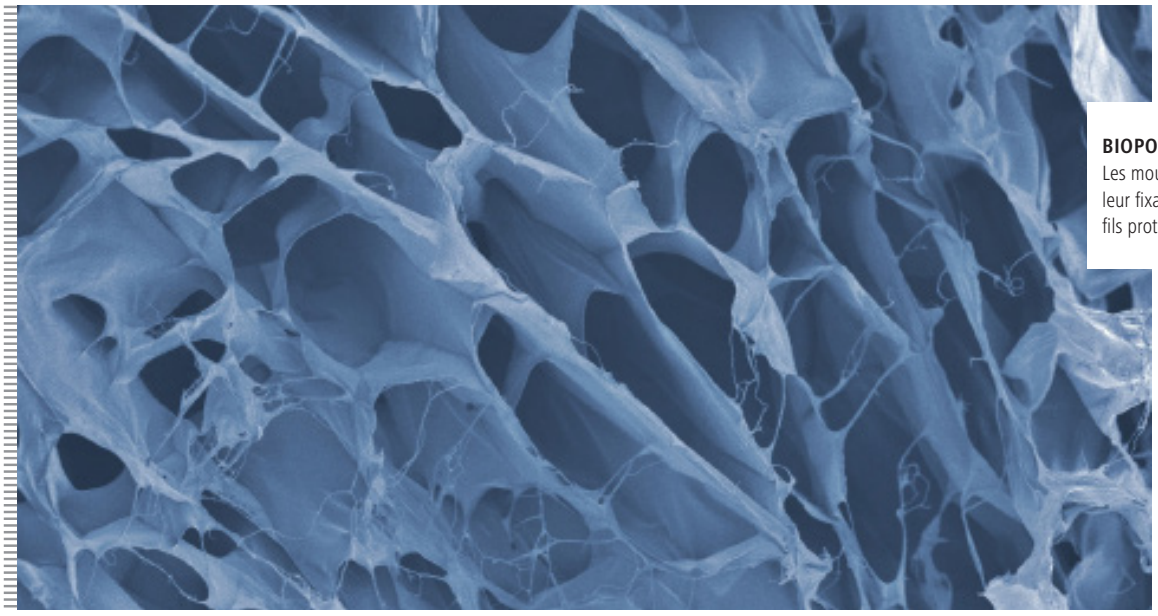
Photos: Jill Hemman / Oak Ridge National Laboratory, US Dept of Energy; iStock

UN BIOCAPTEUR DE VIRUS DU COVID-19

Une équipe de chercheurs de l'Empa, de l'EPFZ et de l'Hôpital universitaire de Zurich a mis au point un nouveau capteur de présence du nouveau coronavirus. Il pourrait servir à établir la concentration du virus dans des environnements spécifiques, par exemple des locaux très occupés ou la climatisation des hôpitaux.

www.empa.ch/web/s604/coronatest

CHARGE VIRALE
Un nouveau capteur pourrait permettre d'établir la charge virale dans l'air ambiant.



BIOPOLYMÈRE
Les moules assurent leur fixation par des fils protéiniques

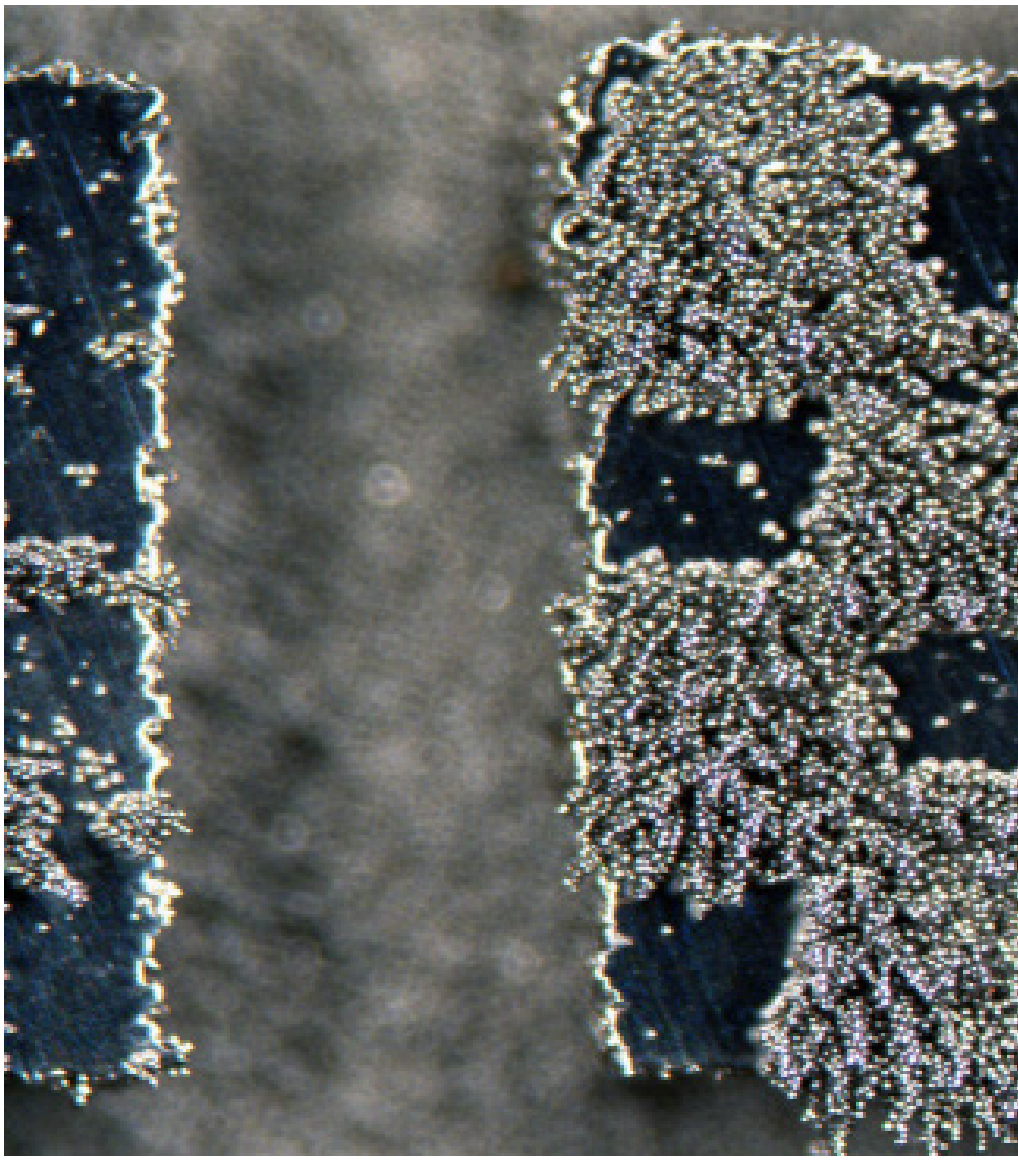
COLLE DE COQUILLAGES POUR LE MYOCARDE

Le muscle cardiaque ne cesse de pomper. En cas de lésion, il est délicat d'intervenir. Des chercheurs de l'Empa se sont inspirés de la nature pour développer une colle tissulaire permettant de refermer les tissus musculaires vite et bien. Ils ont exploité pour cela le phénoménal pouvoir d'adhésion des moules marins.

www.empa.ch/web/s604/gewebekleber

Photos: Tomek Baginski, Unsplash; Empa

TOUT FRAIS SORTI DU FOUR



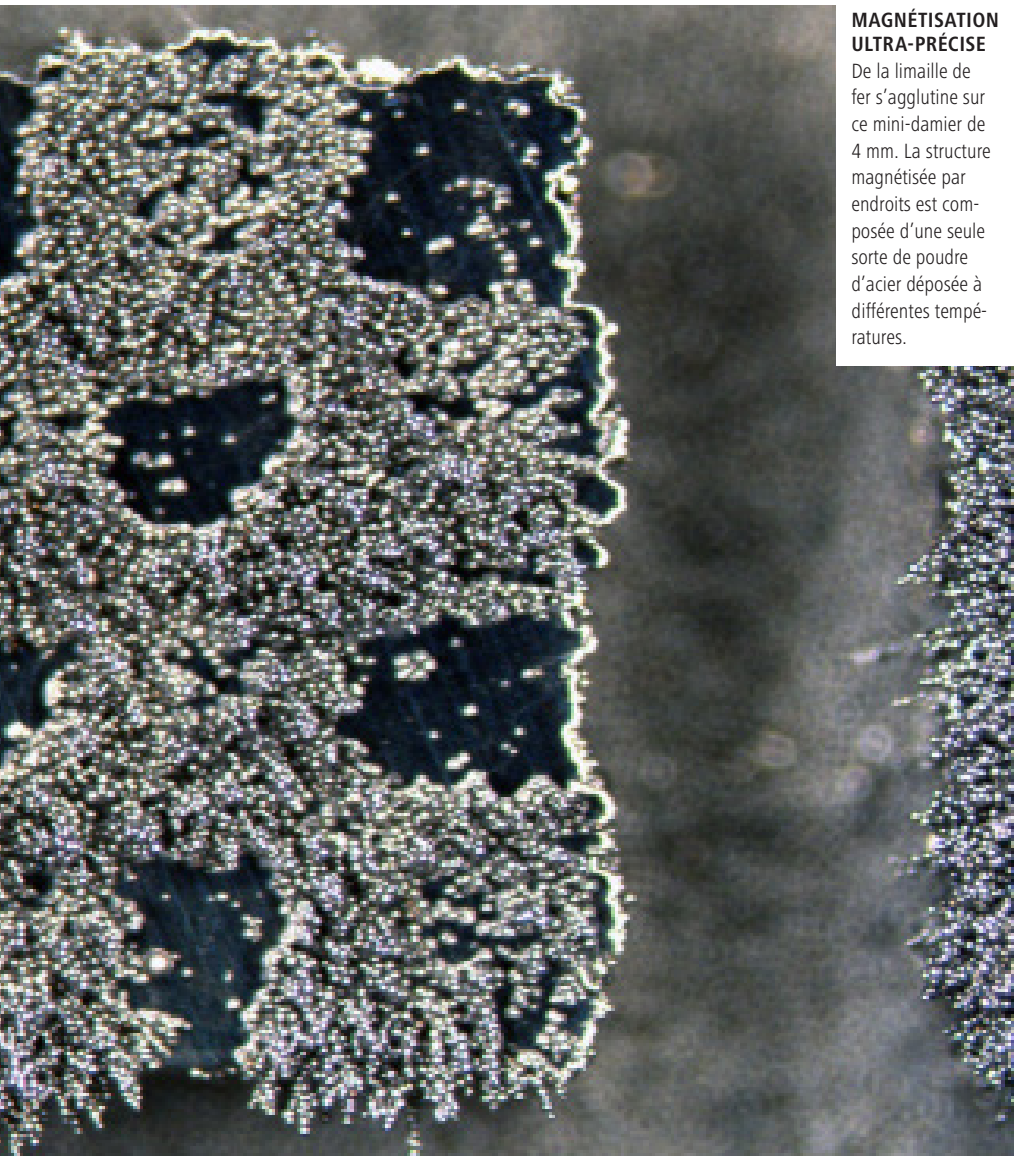
Le traitement des métaux par laser 3D permet d'atteindre en quelques millisecondes des températures supérieures à 2500°C, provoquant l'évaporation de certains composants des alliages. Ce phénomène problématique, les chercheurs de l'Empa en ont saisi l'intérêt: ils l'exploitent pour moduler localement, au micron près, les caractéristiques de nouveaux alliages utilisés en impression 3D.

Texte: Rainer Klose

A l'œil nu, difficile d'apprécier où se cache l'innovation dans ce petit échiquier de 4 mm de côté. Au premier regard, il brille comme de l'acier poli. A mieux y regarder, on détecte de faibles différences de couleur: 8 des 16 cases du minuscule échiquier paraissent un peu plus claires que les 8 autres.

Cet échantillon peu spectaculaire démontre en fait que la combinaison d'un faisceau laser et d'une poudre de métal permet non seulement de créer de nouvelles formes spatiales, mais également de doter un matériau de nouvelles fonctionnalités. Le petit échiquier nous le dévoile: huit des cases sont magnétiques, huit non magnétiques, et pourtant la pièce n'a été réalisée qu'avec une seule sorte de poudre métallique. La différence tient à l'intensité et à la durée du faisceau laser.

Initialement, l'équipe d'Aryanm Arabi-Hashemi et Christian Leinenbach utilisait un acier inoxydable spécial, l'acier P2000, développé par Hempe



MAGNÉTISATION ULTRA-PRÉCISE
De la limaille de fer s'agglutine sur ce mini-damier de 4 mm. La structure magnétisée par endroits est composée d'une seule sorte de poudre d'acier déposée à différentes températures.

Photo: Empa

Special Metals de Dübendorf. L'alliage ne contient pas de nickel mais environ 1 pour-cent d'azote. Le P2000 ne suscite pas de réaction allergique et se prête bien aux applications médicales. Il est particulièrement dur, ce qui en complique l'usinage par fraisage. Au premier abord, il semble peu approprié comme matériau d'impression 3D: la zone mise en fusion par le faisceau laser atteint rapidement de très fortes températures, entraînant l'évaporation d'une bonne part de l'azote et modifiant ainsi les propriétés de l'alliage.

TIRER PROFIT DU PROBLÈME

Arabi-Hashemi et Leinenbach ont tourné ce défaut à leur avantage. En modifiant la vitesse de balayage et l'intensité du faisceau laser qui fusionne la poudre en particules, ils modifient la taille et la durée des bains de fusion. Les plus petits bains présentent un diamètre de 200 micromètres et une profondeur de 50 micromètres, les plus grands un diamètre de 350 micromètres et une profondeur de 200 micromètres. Les grands bains favorisent l'évaporation de l'azote de l'alliage; l'acier qui se cristallise présente alors une forte proportion de ferrite magnétisable. Dans les petits bains, l'alliage fait prise beaucoup plus rapidement, sans libérer son azote; l'acier se cristallise alors surtout sous forme d'austénite non magnétisable.

Lors de ces essais, les chercheurs doivent passer en revue de minuscules échantillons millimétriques de métal pour en déterminer avec précision la teneur en azote, l'aimantation et le rapport volumétrique d'acier austénique et d'acier ferritique. Cela nécessite des méthodes d'analyse très poussées que l'on trouve à l'Empa.

LES ALLIAGES À MÉMOIRE DE FORME SE FONT INTELLIGENTS

Loin d'être de simples jeux, ces essais pourraient bientôt fournir un outil supplémentaire aux techniques de fabrication et de traitement des métaux. «En impression 3D, dépasser localement les 2500°C n'a rien de particulier», explique Leinenbach. «On peut ainsi vaporiser de manière ciblée différents composants d'un alliage tels que, par exemple, le manganèse, l'aluminium, le zinc, le carbone, etc., et donc modifier localement la composition de l'alliage». Le procédé ne se limite pas à l'acier, il peut s'appliquer à beaucoup d'autres alliages.

Leinenbach songe par exemple aux alliages nickel-titane bien connus comme alliages à mémoire de forme («shape memory alloys»). La température à laquelle l'alliage «se souvient» de sa forme originale se joue à plus ou moins 0,1 pour-cent de nickel dans le mélange. Il serait possible par impression 3D de créer des pièces réagissant de place en place à différentes températures.

MICROSTRUCTURES POUR LES MOTEURS ÉLECTRIQUES DE DEMAIN

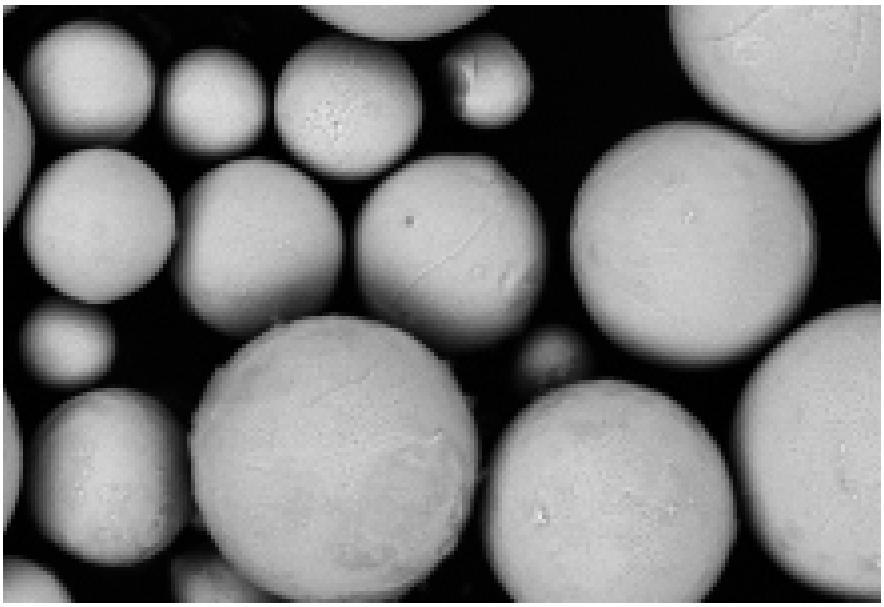
Modifier l'alliage d'une pièce au micron près pourrait également permettre d'augmenter le rendement ▶

des moteurs électriques. Il devient en effet possible pour la première fois de fabriquer des stators et des rotors en matériaux magnétiques microstructurés exploitant plus efficacement la géométrie des champs magnétiques.

Le facteur déterminant de la découverte des rapports entre la puissance du laser, les dimensions du bain de fusion et les propriétés des matériaux a été le savoir-faire acquis par l'Empa depuis

«En impression 3D, atteindre 2500°C est un jeu d'enfant.»

neuf ans en matière d'«Additive Manufacturing». C'est le nombre d'années consacrées par Christian Leinenbach et son équipe à l'étude des matériaux dans la fabrication 3D par laser, domaine où ils occupent une position de pointe au niveau mondial. Ces chercheurs ont parallèlement accumulé une vaste expérience dans le suivi des processus, en particulier de la mesure des dimensions et de la durée de vie du bain de fusion, variables cruciales dans la modification ciblée des alliages. ■



MICROBOULES
Microboules d'acier P2000 vues au microscope électronique. De grains sphériques, cette poudre s'écoule particulièrement bien (haut).

IMPRIMANTE LASER 3D
Ariyan Arabi-Hashemi et Christian Leinenbach utilisent une imprimante 3D à laser pour micro-moduler un alliage d'inox (milieu, bas).

Photos: Empa

Pour plus d'information: www.empa.ch/web/s204

DES TRANSISTORS FRAÎCHEMENT IMPRIMÉS

Une révolution est en cours dans la fabrication des circuits électroniques: l'impression directe de composants et circuits sur papier, films de plastique ou autres substrats. Des chercheurs de l'EMPA y travaillent. Il leur reste toutefois quelques obstacles à surmonter.

Texte: Karin Weinmann

Pourquoi ne pas simplement imprimer les circuits électroniques sur le support de son choix? Cela ne relève plus de l'utopie. L'électronique imprimée est une technologie en plein boom avec ses encres et presses spécialisées permettant de déposer des circuits sur différents substrats. Il ne s'agit pas d'un marché de niche: un récent rapport de l'association professionnelle de l'électronique organique et imprimée (OE-A) indique que le marché mondial du secteur dépasse déjà 35 milliards de dollars et lui prédit une croissance vigoureuse toutes ces prochaines années.

En électronique classique, la phase de fabrication n'est pas une mince affaire et nécessite des équipements très coûteux. L'internet des objets a besoin d'une nouvelle sorte d'électronique: les circuits ne doivent plus forcément être minuscules et ultra-rapides, mais avant tout bon marché, simples à produire et applicables sur des substrats souples. On connait déjà les RFID intégrés aux emballages. On peut maintenant envisager toute une variété d'applications telles que, par exemple, des capteurs simples sur l'emballage de produits laitiers signalant les ruptures de la chaîne du froid.

DES TRANSISTORS SUR PAPIER

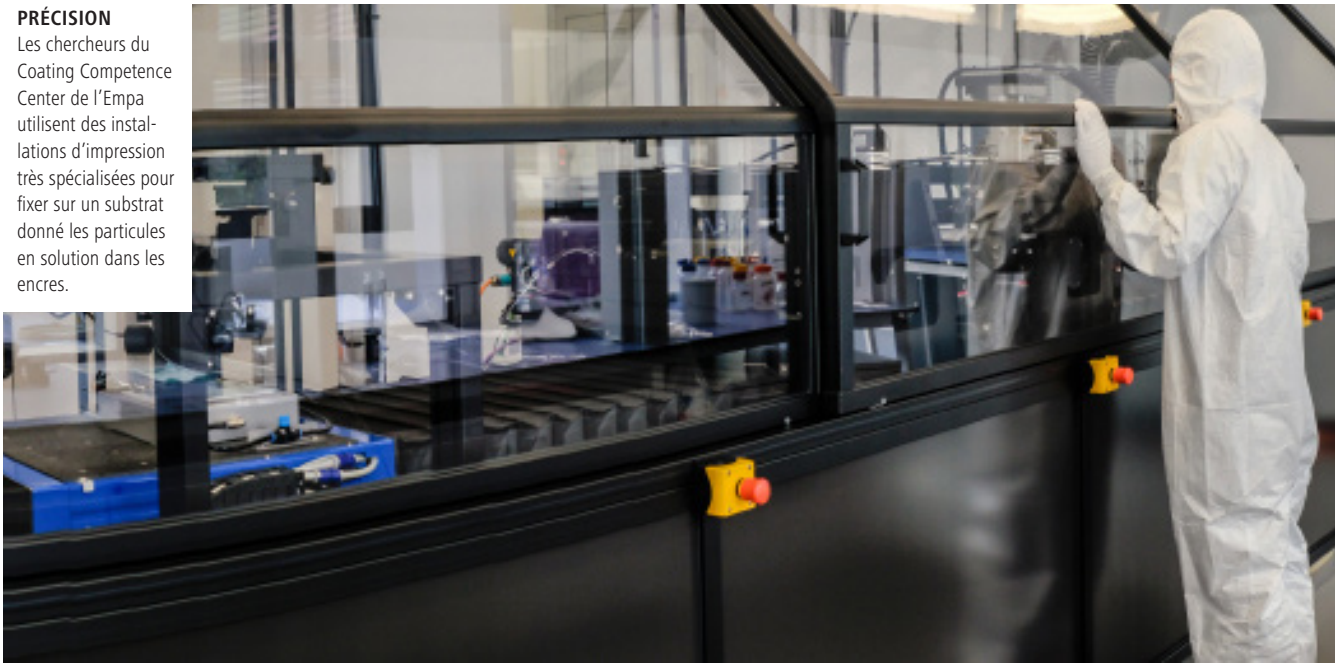
Les équipes de Jakob Heier, du laboratoire Polymères fonctionnels et de Yaroslav Romanyuk, du laboratoire Films minces et photovoltaïque, travaillent à cette technologie de concert avec des chercheurs de l'Institut Paul Scherrer et de l'EPFL de Lausanne. C'est le projet FOXIP: Functional OXIdes Printed on Polymers and Paper. Leur objectif est d'imprimer des transistors en couches minces sur du papier et des feuilles de PET au moyen de techniques d'impression adaptées à la production industrielle. Ils recourent pour cela à des encres chargées de minuscules particules d'oxyde de métal. Elles sont appliquées sur un substrat par impres-

UN CENTRE DE COMPÉTENCES EN ENDUCTION

Le Coating Competence Center (CCC) de l'Empa a pour mission d'assurer la jonction entre la recherche en laboratoire et la production industrielle dans le domaine de l'enduction. On y étudie non seulement l'électronique imprimée mais également les matériaux, procédés et technologies de revêtement telles que les méthodes de vaporisation de couches minces sur divers substrats ou de fabrication additive permettant la réalisation d'éléments couche par couche. Le CCC est un partenariat privé-public (PPP). L'ensemble des partenaires de la chaîne de valorisation recherche – industrie collaborent au développement de nouvelles technologies et au lancement de nouvelles idées. Le centre est ouvert aux collaborations avec le monde de l'industrie et de la recherche.

www.empa.ch/web/coating-competence-center

▶



PRÉCISION
Les chercheurs du Coating Competence Center de l'Empa utilisent des installations d'impression très spécialisées pour fixer sur un substrat donné les particules en solution dans les encres.

sion-contact ou par jet d'encre. «Il ne s'agit évidemment pas d'imprimantes de bureau mais d'appareils conçus spécialement pour cette tâche», explique Romanyuk. Ces imprimantes sont installées au Coating Competence Center de l'Empa (voir l'encadré).

L'impression de circuits fiables sur des supports flexibles implique la résolution préalable d'une série de problèmes délicats tels que l'optimisation du support, la composition de l'encre, l'exactitude de la technique d'impression ou un mode de durcissement thermique des couches n'endommageant par la feuille imprimée.

Commençons par le support. Souvent flexible – par exemple en papier ou en plastique – sa surface n'est pas aussi idéalement lisse que les galettes de silicium utilisées dans la fabrication des composants électroniques habituels. Réaliser des circuits précis s'avère donc délicat. Actuellement, les composants imprimés ont environ 1000 fois la taille de leurs équivalents microélectroniques. «Ce qui n'est pas pour autant énorme: nos tolérances à l'impression sont de l'ordre de dix micromètres, soit moins que l'épaisseur d'un cheveu», précise Heier.

FORMÉ À PARTIR DE L'ENCRE

Autre défi: comment conditionner sous forme d'encre les matériaux conducteurs, semiconducteurs et isolants nécessaires à la réalisation des circuits? Et comment, après l'impression, être certain que la matière ne se fragmente pas et conserve ses propriétés?

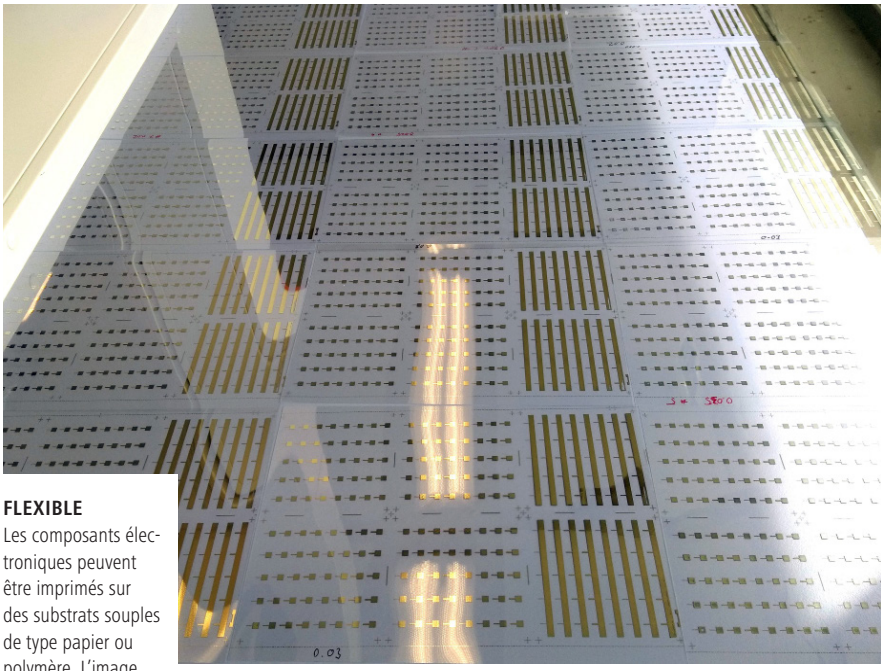
Jakob Heier s'est attaché à la confection de ces encres spéciales. Une encre se compose de fines particules du matériau fonctionnel en suspension dans un solvant volatil. Il est souvent nécessaire d'y inclure des liants et des additifs pour en garantir la stabilité et la rendre propre à l'impression. Ces compléments font toutefois problème parce que leur présence après l'impression parasite le fonctionnement des circuits. Il s'agit donc de les calciner. Cela suppose de fortes températures qui, à leur tour, peuvent endommager le substrat synthétique ou en papier.

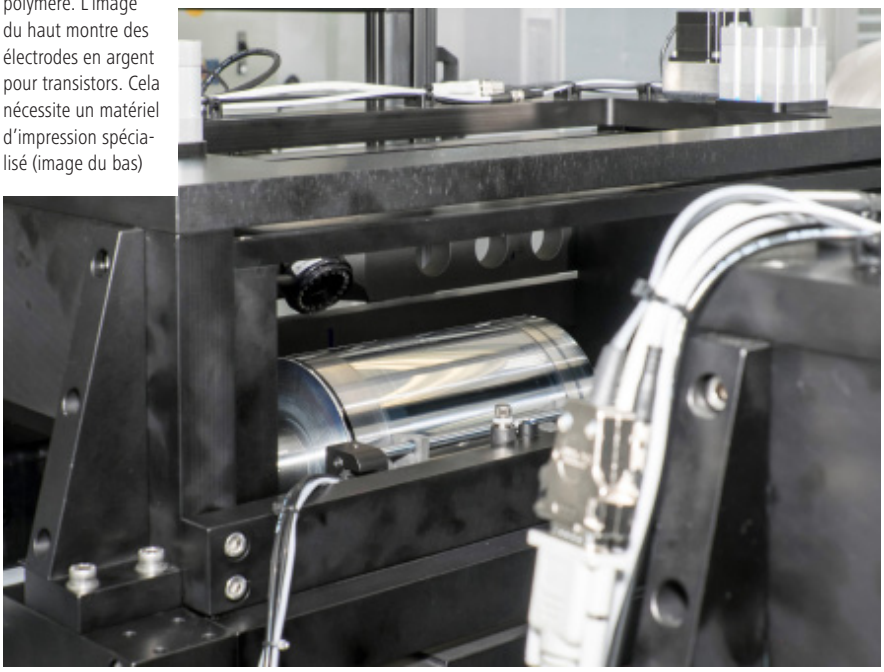
Heier et son équipe ont choisi de concocter une encre d'impression de couches de graphène, composée uniquement de particules de graphène et d'un solvant, libre de tout additif devant ensuite être éliminé. Les couches obtenues par impression doivent être assez résilientes pour conserver leurs caractéristiques conductrices lorsqu'elles sont voilées ou tordues avec leur support. «Si ça marche, nous aurons surmonté un obstacle: plus besoin de traitement post-impression à haute température», explique Heier.

DE L'ENCRE À L'ÉLECTRONIQUE

Les choses se présentent différemment avec les encres de nanoparticules d'oxydes de métaux. On les soumet à un frittage, c'est-à-dire un traitement thermique fusionnant les nanoparticules entre elles pour former une couche fonctionnelle. Mais le papier et les films utilisés sont très sensibles à la température. L'idéal serait de ne chauffer que les couche d'oxydes de métaux en maintenant le substrat froid. «C'est possible», explique Romanyuk; par frittage flash (flash sintering), soit

Photos: Empa





FLEXIBLE
Les composants électroniques peuvent être imprimés sur des substrats souples de type papier ou polymère. L'image du haut montre des électrodes en argent pour transistors. Cela nécessite un matériel d'impression spécialisé (image du bas)

la cuisson de la couche imprimée par éclairs ultra brefs ne laissant pas au substrat le temps de chauffer.

Les matériaux à base d'oxydes de métaux sont appelés à jouer un rôle important en électronique imprimée. Ils existent sous forme de conducteurs, semiconducteurs ou isolants. Leurs électrons sont plus mobiles que ceux des encres organiques, ce qui permet d'augmenter la puissance des circuits. Ils sont aussi plus résistants à l'air. «L'oxyde d'indium-étain est particulièrement intéressant car il est à la fois excellent conducteur et transparent», signale Romanyuk. Son équipe a récemment réussi à imprimer un transistor à effet de champ par imprimante à jet d'encre. On peut dès lors envisager d'imprimer des circuits transparents sur un substrat transparent.

Grâce au savoir-faire et à l'équipement du Coating Competence Center (CCC) de l'Empa, les résultats des deux groupes de recherche ne sont pas restés cantonnés à leurs laboratoires. «Les techniques d'impression développées pour ces projets dérivent d'appareils déjà en usage dans l'industrie», explique Romanyuk. Le transfert de la percée scientifique à la production industrielle de circuits électroniques imprimés pourra ainsi être rapidement assuré. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s209 et www.empa.ch/web/s207

SANTÉ À PORTER

Bien choisir sa tenue, ce n'est pas seulement prendre soin de son apparence. Grâce aux nouvelles technologies, les tenues high-tech peuvent monitorer les variables physiologiques de leur utilisateur ou ajuster le microclimat qui y règne. Les textiles à l'origine de ces progrès se composent de fibres «intelligentes» et biocompatibles, et de composites biocompatibles ayant déjà fait leurs preuves dans la recherche et l'innovation médicales, en particulier dans les systèmes de délivrance de médicaments et de remplacement tissulaire.

Texte: Andrea Six

Les sports d'hiver posent un problème particulier: comme il fait froid, il faut s'habiller chaudement, Mais lorsqu'on fournit un effort soutenu, le corps enclenche sa propre «climatisation», laquelle produit des litres de transpiration. Si bien qu'arrivée la pause bien méritée, le sportif est couvert de vêtements trempés. Pour éviter qu'il ne prenne froid, des chercheurs de l'Empa de Saint-Gall ont développé en collaboration avec des partenaires industriels une membrane électro-osmotique qui sèche le vêtement, gardant ainsi le sportif au chaud. Le fabricant suisse de vêtements de sport KJUS a intégré cette technologie dans une veste de ski. On l'active par son smartphone. Les expériences conduites dans l'enceinte climatique de l'Empa ont confirmé le bon fonctionnement et le confort des vêtements bénéficiant de cet «effet pompe».

AVATAR EN COMPLET-CRAVATE

Pour savoir si un pantalon ou une jaquette sont agréables à porter et dissipent correctement la chaleur, il est possible aujourd'hui de passer par la modélisation. Agnes Psikuta, chercheuse à l'Empa, et son équipe du laboratoire «Biomimetic Membranes and Textiles» de Saint-Gall ont développé à cette fin un logiciel qui intègre les propriétés des tissus, la morphologie de l'utilisateur et la couche d'air isolante entre la peau et les vêtements. «Cet avatar anatomiquement personnalisable permet de simuler la manière dont un vêtement tombe sur le corps et ses effets thermiques, au repos comme en mouvement», explique Psikuta. On peut ainsi optimiser le patron d'un complet avant même d'en couper le tissu.

Il existe aussi des tenues protégeant leurs porteurs des effets de la chaleur. La tenue des pompiers doit isoler de la chaleur, être étanche, résister au feu et pouvoir «respirer», tout en n'étant ni trop lourde, ni trop rigide. La couche d'air isolante joue ici un rôle crucial. Des mannequins permettent d'optimiser ces tenues en laboratoire. «Nous pouvons maintenant nous livrer à des essais réalistes en laboratoire pour déterminer comment l'isolation d'une tenue de protection change selon que le pompier agenouillé dirige sa lance vers le foyer ou qu'il rampe à quatre pattes dans un bâtiment en flammes», explique Psikuta.

DES CAPTEURS POUR PIEDS DE SPORTIFS

Le mouvement... c'est également ce qui motive cet accessoire fait d'un dérivé du bois: un capteur articulaire souple en nanocellulose développé dans le cadre du projet «D-Sense». Fabriqué par impression 3D à partir d'une matière renouvelable, il est biocompatible et se trouve en contact direct avec la peau. L'«encre» utilisée dans ce cas est enrichie de nanofils d'argent qui rendent la nanocellulose électriquement conductrice. On l'utilise par exemple pour des semelles intérieures glissées dans les chaussures d'athlètes de haut niveau. Elles y agissant en capteur, mesurant avec précision la charge, la pression et la force dynamique. On en dérive le mouvement des articulations qui peut alors être finement analysé. «C'est par ses propriétés mécaniques que la nanocellulose s'impose dans la création de nouveaux composites» explique Gustav Nydström qui dirige le laboratoire «Cellulose & Wood Materials» ▶

BRAVER LES INTEMPÉRIES
Même par de grands froids, les skieurs et snowboardeurs transpirent abondamment. Des vêtements high-tech les tiennent au sec.

Photo: Mauro Paillex / Unsplash

de l'Empa de Dübendorf. Ce capteur multicouche fait également l'objet d'un des projets du grand axe stratégique «Advanced Manufacturing» du Domaine des EPF. On peut envisager d'en intégrer aux implants articulaires afin d'assister le processus de rétablissement.

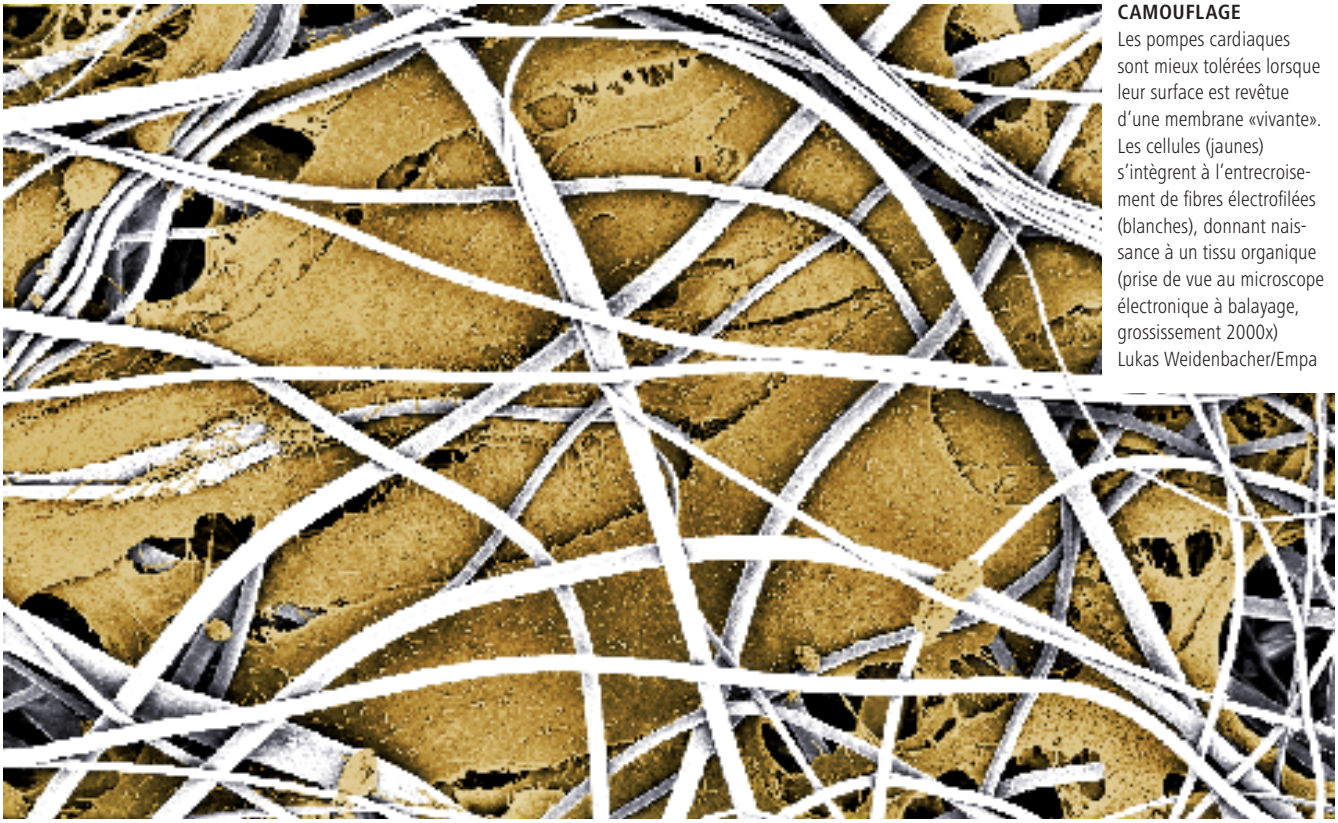
ANALYSE DE DONNÉES SUR LE SOMMEIL

La médecine moderne propose d'autres éléments high-tech portables. Lorsqu'un individu paraît entièrement immobile, par exemple durant son sommeil, plusieurs muscles poursuivent leur activité, le cœur continue de battre et la cage thoracique de se soulever et de s'abaisser. Mais quel est le rythme cardiaque durant le sommeil? Et celui de la respiration, régulier ou souvent interrompu au cours de la nuit? Des chercheurs de l'Empa ont mis au point une ceinture de suivi cardiaque brodée de capteurs enregistrant l'activité cardiaque tout au long de la nuit. Passé par l'installation de revêtement plasma de l'Empa, le fil de broderie a été couvert d'une couche métallique nanométrique qui le rend conducteur, sans effet cutané et lavable. On utilise cet appareil de mesure souple sur les personnes souffrant d'apnée du sommeil.

D'autres applications cliniques de la ceinture à capteur sont en cours de développement avec des partenaires industriels et du secteur de la santé. Ainsi, la ceinture ECG complétée d'un capteur de température corporelle peut aider au diagnostic de dégénérescences mentales telles que la maladie d'Alzheimer dans la mesure où le suivi de longue durée des paramètres vitaux peut fournir des précisions sur les performances cognitives du cerveau. Les spécialistes en textiles de l'Empa étudient actuellement avec des chercheurs de l'Université de Haute-Alsace de Mulhouse l'intégration de capteurs supplémentaires dans leurs textiles, ce qui doit permettre d'étendre encore le champ d'application et le confort à l'usage de cette technique tant en médecine que dans le sport. «Nous allons truffer une pièce d'habillement – par exemple un T-shirt – de capteurs pour l'analyse de différents paramètres physiques tels que le rythme respiratoire ou la teneur en oxygène» explique Simon Annaheim. La mesure de ces paramètres est assurée par des fibres polymères optiques fabriquées par filage au jet fondu.

CAMOUFLAGE DES POMPES CARDIAQUES

Les fibres textiles peuvent être produites par différents processus de filage qui en déterminent la microstructure. Les chercheurs de l'Empa en tirent parti pour développer des membranes similaires aux tissus biologiques. Les membranes polymériques en fibres noyau-manteau hautement élastiques sont colonisables par les cellules humaines, ce qui permet d'y former un tissu fonctionnel épais de plusieurs couches. Ces travaux s'inscrivent dans le grand projet «Zurich Heart» réunissant l'Empa, l'EPFZ



CAMOUFLAGE
Les pompes cardiaques sont mieux tolérées lorsque leur surface est revêtue d'une membrane «vivante». Les cellules (jaunes) s'intègrent à l'entrecroisement de fibres électrofilées (blanches), donnant naissance à un tissu organique (prise de vue au microscope électronique à balayage, grossissement 2000x) Lukas Weidenbacher/Empa

Photo: Empa

et l'Hôpital universitaire de Zurich. Les membranes «vivantes» revêtiront l'intérieur de pompes cardiaques, leur servant de camouflage pour que l'appareil soit mieux accepté par le corps.

DES BACTÉRIES DÉTECTIVES

Les fibres de polymère peuvent également être façonnées en capteurs des molécules volatiles portées par le flux respiratoire. L'équipe de Luciano Boesel fabrique par électrofilage des membranes polymériques multicouche pouvant détecter certains gaz dans la respiration. «Lors d'infections bactériennes telles qu'une pneumonie ou une néphrite chronique, il se forme des amines volatiles», explique Boesel. Son équipe met actuellement au point un capteur d'amines très sensible pouvant mettre en évidence des traces de différentes amines dans la respiration et donc de diagnostiquer certaines maladies de manière précoce et non invasive.

DES MÉDICAMENTS À REVÊTIR

Sous forme de pansements «intelligents», les fibres textiles peuvent également signaler qu'une plaie guérit mal; elles peuvent aussi libérer différentes substances telles que des antibiotiques, des analgésiques ou des médicaments naturels. Les chercheurs ont trouvé des modes de dosage précis et astucieux: la substance est libérée par une légère pression sur le bandage ou par un signal lumineux. Elle peut aussi l'être sous l'action de stimuli chimiques provenant du patient, comme le pH d'une plaie.

NANOPOCHETTES POUR SUBSTANCES ACTIVES

Amin Sadeghpour, chercheur à L'Empa, va encore plus loin dans les micro et nanostructures. Il réalise de minuscules cubes qui peuvent être détectés par une membrane cellulaire. Larges de 10 nanomètres, ces cubes ne peuvent charrier que d'infimes quantités de substances actives. Mais de par leur constitution – un empilement de nanotubes – ils peuvent embarquer différentes substances normalement non miscibles. Ce qui permet différentes combinaisons de médicaments et de vitamines. Ces cubes biocompatibles sont assemblés en nano-pochettes dites «cubosomes». L'électrofilage permet d'en revêtir les fibres avec lesquelles on confectionne des bandages ou des textiles médicaux.

Ces nano-éléments, matériaux biocompatibles et fibres intelligentes permettront de réaliser des accessoires parfaitement adaptés non seulement à des avatars, mais aussi à des patients et des sportifs de haut vol.

■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s401 et www.empa.ch/web/s302

MESURES DE LONGUE DURÉE
La ceinture cardio en tissu souple brodé d'électrodes permet le suivi de longue durée d'importants paramètres physiologiques.

Photo: Robert Stürmer

PRIS EN PLEIN VOL

Photo: Empa

Nous sommes exposés à de nombreux facteurs environnementaux nocifs. En prendre la mesure exacte est une préoccupation mondiale, étape nécessaire à l'adoption de mesures adaptées. L'Empa participe à cet effort, entre autres en équipant un drone d'un appareil de mesure de pointe capable de détecter les fuites de méthane. L'Empa collabore également avec l'Agence européenne de l'espace ESA au développement de nouveaux satellites pouvant détecter les sources terrestres de CO_2.

Texte: Cornelia Zogg

Le méthane (CH_4) est l'un des principaux gaz à effet de serre, mais on connaît mal le volume des rejets de ses différentes sources. Il est urgent de le quantifier avec précision afin de prendre les mesures permettant d'atteindre les objectifs climatiques fixés par les Nations-Unies. Le projet MEMO2 («Methane goes Mobile, Measurements and Modelling») – un des éléments du programme Horizon2020 – réunit 20 groupes de recherche de sept pays. Leurs efforts sont centrés sur l'identification des sources de méthane et la quantification de leurs émissions à l'aide d'appareils de mesure mobiles. L'Empa est de la partie.

Les chercheurs engagés dans le projet MEMO2 se concentrent sur la Roumanie. Avec ses nombreux champs pétroliers et gaziers, le pays est l'une des principales sources de méthane d'Europe. Le gaz s'échappe des puits de forage et se dissipe dans l'atmosphère. Il n'était jusqu'à présent possible d'effectuer des mesures précises qu'avec du matériel fixe. Monté parfois sur un véhicule, il ne pouvait alors être enclenché qu'en bord de chaussée. Une méthode compliquée et peu satisfaisante.

Les chercheurs de l'Empa ont mis au point un appareil de mesure précis et léger embarcable sur un drone et allant mesurer les concentrations en CH_4 sur place. Ses données permettent d'établir des cartes d'émissions. «Le nouveau spectromètre constitue une percée dans l'analyse des traces de gaz par sa précision, sa taille et son poids», remarque Lukas Emmenegger qui dirige le département «Air Pollution / Environmental Technology» de l'Empa.

Pour quantifier le méthane, Emmenegger et son équipe utilisent un laser à cascade quantique (QCL). Un spectromètre monté sur le drone détermine la distribution tridimensionnelle de méthane dans le voisinage des sources. L'intégration de ces données avec des données anémométriques permet aux chercheurs de calculer l'ampleur des émissions. Les drones présentent d'autre part l'avantage de faciliter les mesures aux endroits difficiles d'accès. Avec la qualité des résultats obtenus, il sera possible d'adopter des mesures concrètes de contention des émissions

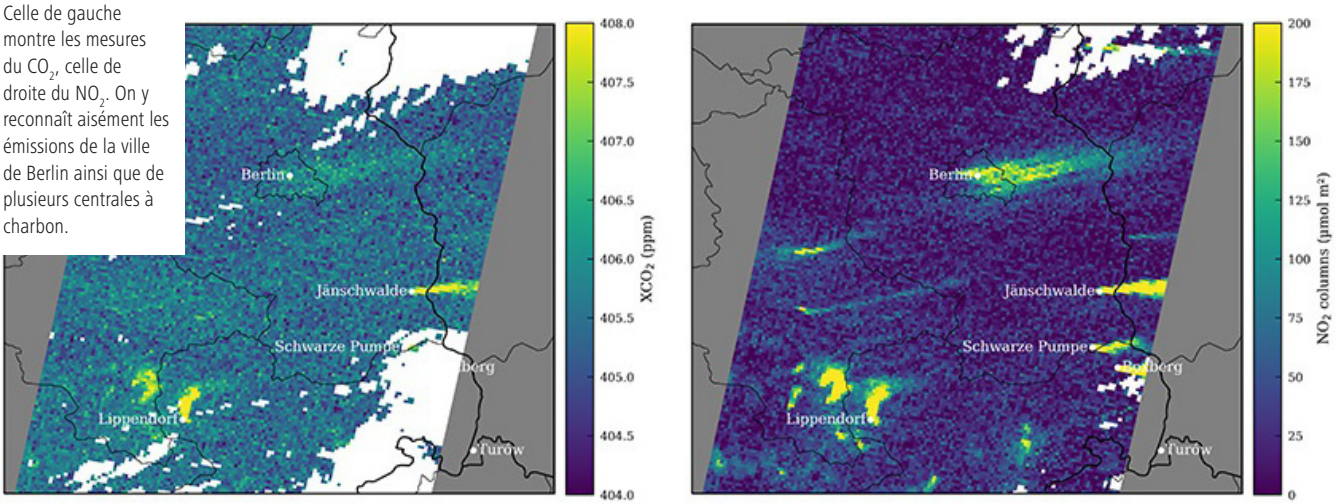
Drone
Le drone léger équipé d'un laser à cascade quantique peut mesurer les émissions de méthane des exploitations pétrolières et gazières.

puis d'en vérifier les effets. L'industrie est également intéressée par cette technique, confirme Emmenegger. «Nous avons déjà reçu beaucoup de demandes venant de l'industrie et de la recherche. De nombreux projets très intéressants vont pouvoir démarrer dans le domaine de la mesure des sources de méthane d'origine naturelle ou humaine.»

DIX D'UN COUP

Le méthane n'est pas le seul gaz problématique pour l'environnement. Pensons au dioxyde de carbone (CO_2), à l'ozone (O_3) et à l'ammoniac (NH_3). Les instruments de mesure de ces gaz sont complexes, coûteux et gourmands en énergie parce que chaque gaz doit être mesuré par une méthode spécifique. Ou plutôt «devait». Deux anciens chercheurs de l'Empa, Morten Hundt et Oleg ▶

SIMULATION
Images satellite simulées par les chercheurs de l'Empa: Celle de gauche montre les mesures du CO_2, celle de droite du NO_2. On y reconnaît aisément les émissions de la ville de Berlin ainsi que de plusieurs centrales à charbon.



Aseev ont mis au point un spectromètre QCL détectant simultanément dix gaz différents. Ils ont lancé il y a peu une spin-off de l'Empa, «MIRO Analytical Technologies», et peuvent déjà se targuer de plusieurs succès. Au début 2020, dans le cadre du programme Accelerator du Conseil européen de l'innovation, ils ont reçu un soutien de 1,25 million d'Euros. Ils participent en outre depuis janvier 2019 à l'Incubateur d'affaires de l'Agence spatiale européenne ESA car leur capteur high-tech peut servir de solide référence – au sol ou en vol – dans l'observation par satellite des gaz présents dans l'atmosphère.

DES OBSERVATIONS VENANT DE L'ESPACE

L'ESA compte également sur l'expertise de l'Empa dans ses préparatifs de la mission spatiale du CO_2M «Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring». Dès 2025, les premiers satellites CO_2M seront envoyés sur orbite pour effectuer les mesures spectroscopiques permettant d'établir des cartes globales de la teneur de l'atmosphère en CO_2. On saura alors combien de CO_2 est produit par les sites industriels, les villes et les pays. «Nous pouvons donner différentes recommandations utiles à l'ESA sur le matériel d'analyse embarqué par les satellites», explique Gerrit Kuhlmann, chercheur de l'Empa. Ainsi, il doit être capable de distinguer entre les émissions anthropiques de CO_2 et les signaux de la biosphère, c'est-à-dire le CO_2 d'origine naturelle. Piste suivie: la mesure combinée du CO_2 et du dioxyde d'azote (NO_2). «La combustion de charbon, de pétrole et de gaz génère non seulement du CO_2 mais également d'importantes quantités d'oxydes d'azote, ce qui n'est pas le cas de la «respiration naturelle» de la biosphère qui produit exclusivement du CO_2», indique Kuhlmann. ■

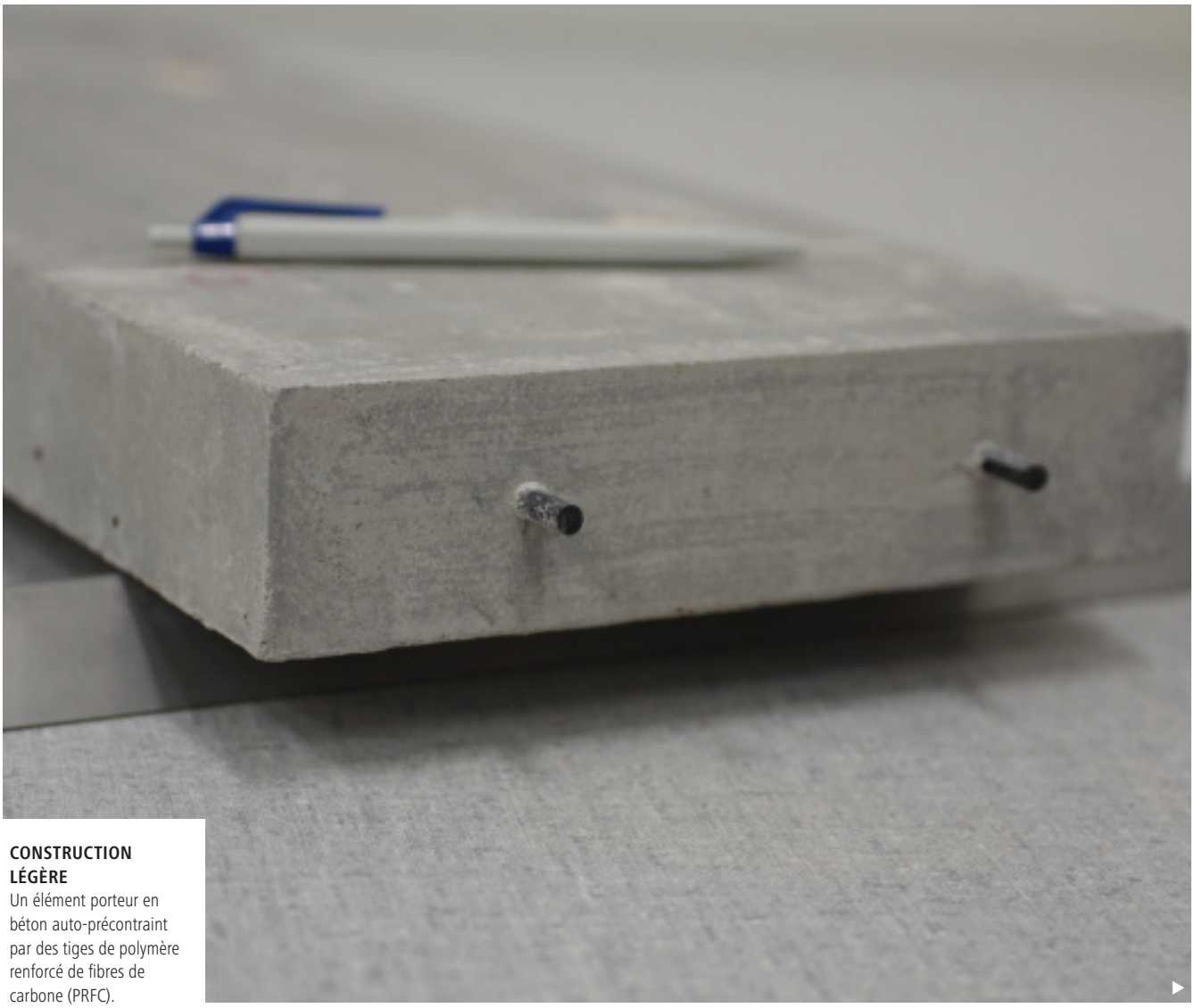
Pour plus d'information: www.empa.ch/web/503

Photo: Empa

LE BÉTON SE RÉINVENTE

Le béton est de loin le matériau de construction le plus utilisé au monde – et sa consommation ne cesse de croître. Une équipe de l'Empa a mis au point une nouvelle recette de béton auto-précontraint permettant de construire des structures minces à meilleur compte et d'économiser de la matière.

Texte: Stephan Kälin



CONSTRUCTION LÉGÈRE
Un élément porteur en béton auto-précontraint par des tiges de polymère renforcé de fibres de carbone (PRFC).

Photo: Empa

Plus de dix milliards de tonnes de béton sont mises en œuvre chaque année. C'est plus que l'ensemble de tous les autres matériaux de construction. A titre de comparaison: la production annuelle d'acier et d'asphalte, également très utilisés, est d'environ 1,5 milliard de tonnes chacun. Les émissions provoquées par la fabrication d'une tonne de béton et l'énergie que cela nécessite sont inférieures à celles des autres matériaux de construction mais n'en ont pas moins un gigantesque impact sur l'environnement. Principale cause: le liant du béton, le ciment. La production des quatre milliards de tonnes de ciment nécessaires chaque année représente quelque trois pour-cent de l'énergie primaire mondiale. Par ailleurs, cette production représente environ huit pour-cent des émissions mondiales de CO2. Vu la demande croissante de béton et de ciment, on estime que leur consommation pourrait encore croître de 50 pour-cent d'ici à 2050. On ne voit pas pour le moment ce qui pourrait remplacer le béton, vu ses nombreux avantages. Il ressort de tous ces chiffres que l'adoption de pratiques durables dans son usage - lors de sa production, de son emploi mesuré, de sa démolition et de son recyclage – a un énorme impact sur notre environnement et notre société.

BREVETÉ EN EUROPE ET AUX ETATS-UNIS

L'Empa étudie les moyens d'affiner les éléments de béton tout en leur conservant une longue durée de vie et une bonne résistance afin d'en réduire la consommation. Un groupe de chercheurs animé par Giovanni Terrasi, Pietro Lura et Mateusz Wyrzykowski a récemment obtenu un brevet européen et un brevet étatsunien couvrant une technologie de béton auto-précontraint allant dans ce sens. On recourt en général à la précontrainte pour les éléments soumis à de très fortes charges: poutres, ponts et autres éléments porteurs. L'armature ou les câbles de précontrainte – généralement en acier – sont mis en tension sur un banc de précontrainte, on coule le béton de l'élément à fabriquer puis, lorsqu'il s'est durci, on relâche la tension aux deux extrémités de l'armature. En cherchant à retrouver son état original, l'armature – qui est ancrée aux extrémités de l'élément – va soumettre le béton à une forte compression. Ainsi comprimé, l'élément présente une résistance bien supérieure. Un problème, toutefois: l'acier peut s'oxyder. Il faut donc que le béton le protège en lui assurant une couverture suffisante.

REMPLACER L'ACIER PAR DES FIBRES DE CARBONE

Les premiers essais de béton armé aux polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC) plutôt que par acier remontent déjà aux années 1990. Le PRFC n'étant pas sensible à la corrosion, il permet de réaliser des éléments de construction en béton beaucoup plus sveltes tout en maintenant leurs propriétés statiques. «Lorsqu'on veut également précontraindre ces armatures de PRFC afin d'encore amincir et renforcer les éléments, on se heurte à certaines limites», précise Wyrzykowski. Les bancs de mise en précontrainte nécessaires sont très coûteux et l'ancrage des barres de PRFC est beaucoup plus délicat que celui des barres d'acier, raisons pour lesquelles ce béton à hautes performances précontraint aux PRFC n'est pas très répandu.

> «Notre technologie ouvre de toutes nouvelles perspectives en construction légère.»

UN BÉTON EXPANSIF

L'équipe de l'Empa a réussi à se passer de l'ancrage de l'élément de précontrainte aux deux extrémités de l'élément. C'est le béton qui, réalisé selon une recette originale, s'étend en durcissant. L'expansion met la barre de PRFC logée dans l'élément sous tension, ce qui, réciproquement, comprime le béton. Les chercheurs ont pu démontrer en laboratoire que les éléments de béton auto-précontraints au PRFC supportaient des charges comparables à celles des éléments classiques précontraints à grands frais, charges en gros trois fois supérieures à celles supportées par les éléments de béton au PRFC non précontraints. «Notre technologie ouvre de toutes nouvelles perspectives en construction légère», remarque Wyrzykowski. «Nous pouvons construire des ouvrages plus résistants tout en utilisant beaucoup moins de matière». Le chercheur de l'Empa entrevoit déjà de nouveaux champs d'application: «Avec cette technique, il est très simple d'assurer simultanément la précontrainte dans différentes directions, par exemple pour des couvertures fines en béton ou des coques en béton filigranées». L'étude de ces nouvelles applications va être poursuivie avec le soutien de notre partenaire industriel BASF. ■

Pour plus d'information: www.empa.ch/web/s308

UNE NOUVELLE RECETTE
Mateusz Wyrzykowski et Volha Semianiuk aidés du technicien de laboratoire Sebastiano Valvo étudient de nouvelles techniques d'auto-contrainte d'éléments en béton armé au PRFC. CFK-Betonelemente.

Photos:Empa

RÉPONSE DE L'EUROPE À ELON MUSK

Au cours des quatre prochaines années, cinq instituts de recherche et six entreprises industrielles de sept pays européens travailleront ensemble pour trouver des solutions pour la nouvelle génération de batteries lithium-ion. L'entreprise suédoise Northvolt est également partenaire de ce projet et a l'intention de créer deux grandes usines de production (gigafactories) de batteries pour véhicules en Europe.

Texte: Rainer Klose

La demande de batteries de propulsion pour les voitures électriques va augmenter de façon spectaculaire au cours des prochaines années. Actuellement, plus de 90% de ces batteries proviennent d'Asie. La Commission européenne a donc mis en place la «European Battery Alliance» en 2017 pour renforcer les compétences et les capacités de production de cette technologie clé en Europe. Les experts estiment que la demande européenne de batteries au lithium-ion nécessitera à elle seule 10 à 20 «gigafactories», c'est-à-dire des usines de production de batteries à grande échelle.

Photos: Northvolt AB

LE PROJET SENSE
La production de batteries pour véhicules électriques devra se faire dans des giga-fabriques. Tesla a montré la voie. Voici une vision anticipée du projet de la société suédoise Northvolt auquel l'Empa collabore dans le cadre du projet SeNSE.

BATTERIES DE GÉNÉRATION 3B

Les recherches menées dans le cadre du projet SeNSE font partie de cette initiative «European Battery Alliance» et sont soutenues par le programme de financement de la recherche de l'UE Horizon 2020. Les onze partenaires de recherche du SeNSE - cinq instituts de recherche et six entreprises industrielles - mènent des recherches sur les batteries lithium-ion de la nouvelle génération - dite «génération 3b». La chimie des différents matériaux ainsi que le système BMS (Battery Management System) seront améliorés pour cette nouvelle génération, comparée aux batteries de traction actuelles: Au lieu d'anodes en graphite pur, l'objectif est d'utiliser des composites silicium-graphite. La proportion de cobalt, élément critique dans la cathode, sera encore réduite. De nouveaux additifs dans l'électrolyte devraient permettre de retarder le vieillissement de la batterie et ainsi, rendre possible un plus grand nombre de cycles de charge-décharge. De nouveaux capteurs contribueront également à une plus longue durée de vie et à une meilleure capacité de charge rapide en fournissant des données provenant de l'intérieur la batterie au système BMS. Ces données devraient permettre une gestion beaucoup plus

LA CONCURRENCE NE DORT PAS

COBRA Dirigé par l'Institut catalan de recherche sur l'énergie (IREC), ce projet de recherche vise à développer un nouveau type de batterie lithium-ion de haute énergie massique, de prix réduit, au grand nombre de cycles d'utilisation et employant moins de matériaux critiques. L'effort porte sur la réalisation de cathodes sans cobalt, sur des composites novateurs au silicium pour les anodes et le matériau du séparateur. Trois universités et neuf entreprises participent au projet COBRA qui couvre toute la chaîne de production de valeur.

3BELIEVE, piloté par l'Austrian Institute of Technology (AIT), étudie les cellules de génération 3b pour véhicules électriques post-2025. L'équipe entend utiliser de l'oxyde de lithium-nickel-manganèse pour les cathodes, du LiFSI comme électrolyte et un portefeuille de capteurs internes et externes (22 capteurs par module). Les batteries disposeront d'un refroidissement à liquide commandé par un système de gestion des batteries doté de fonctions de diagnostic et de d'exploitation novatrices.

fine de la température par rapport aux batteries lithium-ion actuelles.

PRODUCTION EN SÉRIE ET RECYCLAGE

La durabilité des batteries de la génération 3b devrait également dépasser celle de la génération actuelle: La cathode doit être fabriquée sans utiliser de solvants inflammables et toxiques, ce qui simplifiera la production en série des batteries et en et réduira considérablement le coût. Tous les aspects de la recherche SeNSE sont orientés vers la production de la nouvelle génération de batteries dans les gigafactories européennes. Pour être compétitif à l'avenir, il est donc essentiel de disposer de méthodes de production particulièrement rentables et économes en matières premières. Le projet SeNSE envisage également la poursuite de l'utilisation des batteries de véhicules usagées comme unités de stockage stationnaires avant d'être ensuite recyclées. Les partenaires de recherche de l'Empa (CH), qui dirige le projet, sont la Westfälische Wilhelms-Universität Münster (D), le Forschungszentrum Jülich (D), l'Université de Coventry (UK), l'Austrian Institute of Technology (A) et les entreprises Solvionic (F), FPT Motorenforschung (CH), Lithops (I), Northvolt (S), Enwires (F) et Huntsman Advanced Materials (CH).

> «Nous étudions la prochaine génération de batteries lithium-ion avec quatre autres instituts de recherche et six partenaires industriels.»

EN ROUTE VERS LA GIGAFACTORY

La société suédoise Northvolt joue un rôle décisif dans le projet de recherche. La société a été co-fondée en 2016 par deux anciens employés de Tesla qui ont participé à la construction de la gigafactory de Tesla dans le Nevada. Northvolt prévoit actuellement de construire en Suède la première gigafactory européene d'une capacité de production de 32 GWh par an. Une autre gigafactory d'une production annuelle de 16 GWh doit être construite en joint-venture avec Volkswagen à Salzgitter (Allemagne). À titre de comparaison, la gigafactory de Tesla au Nevada produit actuellement environ 30 GWh de batteries par an, selon la direction.

Des experts de Northvolt accompagneront les chercheurs de SeNSE lors de séances techniques ré-gulières. À la fin du projet, une série de prototypes de batteries devrait avoir été développée. Un prototype d'une capacité de stockage de 1 kWh démontrera les capacités de la batterie de génération 3b. À la fin du projet, la technologie de production développée trouvera son chemin dans l'industrie sous forme de brevets. Le projet de recherche SeNSE s'achève après 48 mois au prin-temps 2024.

PILES À L'ÉTAT SOLIDE - GÉNÉRATION 4B

L'équipe de Corsin Battaglia à l'Empa est impliquée dans un autre projet de recherche européen: Le projet, appelé SOLiDIFY, se tourne encore plus vers l'avenir et développe des batteries tout-solide au lithium métal. Contrairement aux batteries lithium-ion actuelles et à celles de la génération 3b, ces batteries à l'état solide ne contiendront plus aucun composant liquide et inflammable. Elles sont donc plus sûres et plus tolérantes à la chaleur. Elles peuvent donc fournir une puissance plus élevée et peuvent être chargés et déchargés plus rapidement.

Selon les experts, ces batteries - appelées génération 4b - pourraient être prêtes à être commercialisées dans une dizaine d'années. ■

PROJET DE RECHERCHE
Le projet de recherche SeNSE, qui regroupe onze partenaires, est coordonné par Ruben-Simon-Kühnel, Stephan Fahlbusch et Corsin Battaglia (droite).

Photo: Empa

Pour plus d'information: www.empa.ch/web/s501

VENT FAVORABLE POUR L'ENVIRONNEMENT ET L'ÉCONOMIE

PROTOTYPE
Un prototype TT100 atterrit automatiquement sur son conteneur après une journée de travail.

La fondation Solar Impulse cherche 1000 propositions pouvant stimuler l'économie et, parallèlement, protéger l'environnement. La spin-off Twintec de l'Empa a été retenue et compte désormais parmi les #1000solutions de la Solar Impulse Foundation de Bertrand Piccard.

Texte: Rainer Klose

Après le succès du premier vol solaire autour du monde, Bertrand Piccard et la Fondation Solar Impulse ont lancé la deuxième phase de leur action : sélectionner des solutions milli-aires qui peuvent protéger l'environnement de manière rentable, et les présenter aux dé-cideurs pour les aider à adopter des objectifs environnementaux et des politiques éner-gétiques plus ambitieux.

Jusqu'à présent, cinq solutions suisses ont reçu le label, dont deux ont été nominées à la suite de la récente sélection du mois de mars. Nous sommes fiers d'annoncer que la spin-off Twingtec de l'Empa fait désormais partie de la gamme des 1000 solutions de la Fondation Solar Impulse.

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE 2.0

En promouvant l'énergie éolienne 2.0, Twingtech a mis au point une solution énergétique in-novante et durable qui exploite toute la puissance du vent. Les éoliennes à axe horizontal ont des limites qui limitent leur potentiel de pénétration tant sur le plan économique que tech-nique.

TwingTec comble cette lacune en proposant une nouvelle technologie éolienne qui offre des avantages essentiels par rapport aux éoliennes. TwingPower repose sur une utilisation mini-male de matériaux (aucune tour ni fondation n'est nécessaire), les unités compactes et mo-biles peuvent être déployées rapidement et facilement, il est possible d'accéder à des alti-tudes plus élevées et à des vents plus forts, ainsi qu'à des vents off-shore forts en eaux profondes, où le potentiel pour l'Europe seulement est estimé à 4 TW. TwingPower permet de trouver de nouveaux sites pour l'énergie éolienne, d'augmenter les facteurs de capacité jusqu'à 60 % et plus, de réduire le besoin de stockage et de réduire d'au moins un facteur deux les coûts nivelés de l'énergie éolienne.

L'objectif de TwingTec est d'accélérer la transition vers une énergie durable en exploitant toute la puissance du vent, élément clé d'un monde 100 % renouvelable. ■

Pour plus d'information: www.twingtec.ch

Photo: Twingtec

LA PROCHAINE SUPER-BATTERIE

La demande en batteries pour stocker les énergies renouvelables va croître massivement. Pouvons-nous en concevoir qui impactent moins l'environnement et préservent mieux nos ressources que les batteries lithium-ion?

Texte: Rainer Klose

L'économie mondiale exige de plus en plus de batteries au lithium-ion. Les voitures électriques en dépendent, tout comme les ordinateurs portables, les smartphones et les outils électriques pour les secteurs de la construction et du bricolage. Bientôt, un autre domaine qui nécessite des batteries rechargeables à grande échelle émergera: le stockage d'énergie renouvelable qui ne peut pas être utilisée directement. Les quantités croissantes d'électricité verte temporairement disponibles ne peuvent plus être stockées dans les seules centrales à pompage-turbinage car le réseau électrique surchargé ne le permet guère.

La demande de batteries stationnaires à faible coût va donc augmenter fortement. Elles doivent également être fabriquées à partir de matériaux respectueux de l'environnement, dans la mesure du possible, afin de ne pas épuiser davantage les réserves mondiales de lithium et de cobalt - ces substances sont contenues dans les batteries lithium-ion.

Kostiantyn Kravchyk et Maksym Kovalenko, chercheurs de l'Empa et de l'ETH Zurich, ont examiné de plus près les alternatives possibles aux batteries lithium-ion. Ils ont étudié des dizaines de publications de groupes de recherche du monde entier et ont systématiquement mené leurs propres expériences. Leurs évaluations ont été publiées au début de l'année dans le New Journal of Chemistry, entre autres.

LOIN DU LITHIUM - VERS LE SODIUM ?

L'une des idées les plus simples serait de remplacer le lithium par du sodium. C'est tout sauf rare : le chlorure de sodium se trouve dans l'eau de mer et est accessible partout dans le monde. Mais les avantages sont limités. Comme un ion sodium est environ 50 % plus grand qu'un ion lithium, les matériaux de la cathode sont électrochimiquement moins stables. Par exemple, l'oxyde de sodium-cobalt (qui correspond à l'oxyde de lithium-cobalt d'une batterie lithium-ion standard) peut supporter

COURANT ÉCOLOGIQUE
Les batteries de stockage doivent être bon marché et leur fabrication sans gros impact sur l'environnement. Taille et poids sont en revanche d'importance secondaire.

Photo: iStockfoto

beaucoup moins de cycles de charge. Cela élimine l'idée d'un coût avantageux.

Il y a également des problèmes du côté opposé de la batterie, avec le matériau de l'anode. Le graphite (comme dans la batterie lithium-ion) est inutile pour les batteries au sodium car il stocke trop peu d'ions sodium. Des expériences avec de l'étain, de l'antimoine ou du phosphore bon marché ont montré de bons résultats dans le stockage des charges électriques, mais lors de la charge, l'anode gonfle jusqu'à avoir trois fois son volume d'origine. Cela nuit à la stabilité mécanique: en cas de choc, le matériau gonflé peut facilement se désintégrer et la batterie serait endommagée.

Avec les anodes de phosphore, il y a un problème encore plus grave: lors de la charge, du phosphure de sodium (Na_3P_7) se forme dans l'anode, qui, avec l'eau, produit du monophosphane, un gaz extrêmement toxique qui entraîne une insuffisance respiratoire. Les phosphures métalliques, qui sont utilisés comme raticide, agissent de la même manière. Presque personne ne voudrait avoir une telle batterie, entièrement chargée à l'énergie solaire, dans sa cave.

ET LE MAGNÉSIUM ?

Le magnésium suit le sodium dans le tableau périodique chimique. Il s'agit d'un petit atome léger qui peut transférer deux électrons à la fois. Le magnésium est bon marché et non toxique. Pourrait-on l'utiliser pour fabriquer des piles ? Du côté de l'anode de la batterie, le magnésium présente en effet des avantages: Vous n'avez pas besoin de graphite (comme dans les batteries lithium-ion), mais vous pouvez utiliser directement du magnésium métallique comme anode.

Mais le petit ion de magnésium à double charge présente des inconvénients du côté de la cathode. La charge électrique élevée sur un petit diamètre entraîne des forces d'attraction électrique élevées. Par exemple, l'ion ne se glisse dans un réseau d'oxyde de cobalt qu'avec une grande force, et s'il y est coincé, il ▶

est difficile de le faire sortir à nouveau. Quiconque tente de le faire par la force – c'est-à-dire avec des tensions plus élevées - risque de déclencher des processus d'oxydation et de réduction des composants chimiques de la batterie, et donc de les détruire. Ces piles ne se chargent donc pas rapidement et ne peuvent être utilisées que dans une plage de tension réduite si elles doivent durer longtemps.

ADIEU AU «ROCKING CHAIR»

Si vous faites un pas de plus vers la droite dans le tableau périodique du magnésium, vous vous retrouvez avec de l'aluminium. Ce métal est également disponible en grande quantité, il est non toxique et bon marché. Il peut transférer trois électrons. Comme la pile au magnésium, l'anode est facile à fabriquer ; une feuille d'aluminium suffit.

Cependant, le reste d'une batterie en aluminium fonctionne de manière fondamentalement différente d'une batterie au lithium-ion: les batteries au lithium-ion sont connues sous le nom de rocking chairs. Lors de la décharge, les ions de lithium se déplacent de l'anode à la cathode, lors de la charge, ils reviennent. En revanche, dans une pile en aluminium, les ions d'aluminium ne migrent pas directement entre l'anode et la cathode. Au lieu de cela, les composants du fluide électrolytique sont «consommés» par les deux électrodes pendant la charge. D'une part, l'électrolyte fournit de l'aluminium, qui est déposé sur l'anode sous forme de métal. De l'autre côté de la batterie, les ions AlCl4- sont extraits du liquide d'électrolyte et déposés dans l'anode en graphite.

La quantité d'électrolyte disponible est donc déterminante pour la capacité de la batterie. En raison de ce principe fonctionnel chimique, une batterie aluminium-graphite sera toujours environ cinq fois plus lourde qu'une batterie lithium-ion comparable.

En outre, il existe un autre problème : la cathode en graphite se dilate jusqu'à plus de deux fois son volume initial lors de chaque processus de charge et se contracte à nouveau lorsqu'elle est déchargée. Cela signifie que ces piles ont besoin d'une enveloppe extérieure souple et d'un boîtier de protection offrant suffisamment d'espace pour «respirer». L'inflation et le rétrécissement ont un effet négatif sur la résistance aux vibrations et la stabilité à long terme. De nouvelles solutions de conception sont nécessaires dans ce domaine.

NOUVELLE GESTION DES BATTERIES

L'algorithme de charge de ces batteries non lithium-ion constitue un défi supplémentaire. Le groupe de recherche dirigé par Kravchyk et Kovalenko a découvert que la performance d'une électrode en aluminium graphite pouvait être augmentée jusqu'à 25 % grâce à une charge intelligente et progressive. Un groupe de recherche travaillant à Taïwan, en Chine, aux États-Unis et en Allemagne a découvert que ces électrodes sont nettement plus effiaces lorsqu'elles sont refroidies à -10 degrés Celsius.Ces résultats montrent clairement qu'un tout nouveau système de gestion des batteries, c'est-à-dire de nouveaux capteurs, chargeurs et algorithmes, doit être mis au point pour des batteries chimiquement complètement différentes.

On ne sait pas encore très bien laquelle des technologies de batteries décrites ici prévaudra et pourra remplacer les batteries lithium-ion dans certains domaines. Dans leur analyse, les chercheurs soulignent également qu'aucune des technologies présentées ne peut rivaliser avec les batteries lithium-ion en termes de densité énergétique. Il est très probable que cela restera le cas à l'avenir. Ces piles alternatives ne sont donc concevables que pour des applications dans lesquelles l'électricité doit être stockée à un coût aussi bas que possible et où l'accent est mis sur une production écologique de piles.

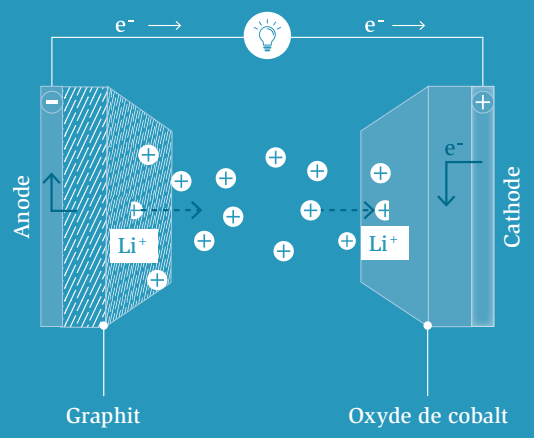
RECHERCHE PLUS ORIENTÉE VERS LES APPLICATIONS

Il reste donc beaucoup à faire pour les groupes de recherche du monde entier avant que les piles alternatives ne fassent une percée. Kostiantyn Kravchyk et Maksym Kovalenko souhaitent une approche plus holistique. «Dans le monde de la recherche, une expérience ne fait souvent que prouver la faisabilité d'une idée - le coût de tous les composants nécessaires et le poids total estimé du système complet de batteries, en revanche, sont souvent négligés», explique M. Kravchyk. Mais ce sont précisément ces paramètres qui sont décisifs pour une éventuelle commercialisation. «Ils devraient donc être davantage pris en compte dans les travaux de recherche que ce n'est le cas jusqu'à présent».

Malgré cette étude quelque peu décevante, Kostiantyn Kravchyk continuera à l'avenir à faire des recherches sur les piles de rechange. «Les systèmes utilisant le graphite comme cathode continueront à être très intéressants. Nous avons déjà pu montrer que le gonflement et le rétrécissement du matériau de la cathode est également un problème qui peut être surmonté. «Avec ses collègues, il fait actuellement des recherches sur des électrodes en graphite «semi-solide» qui sont durables et peuvent en même temps bien transmettre l'électricité. ■

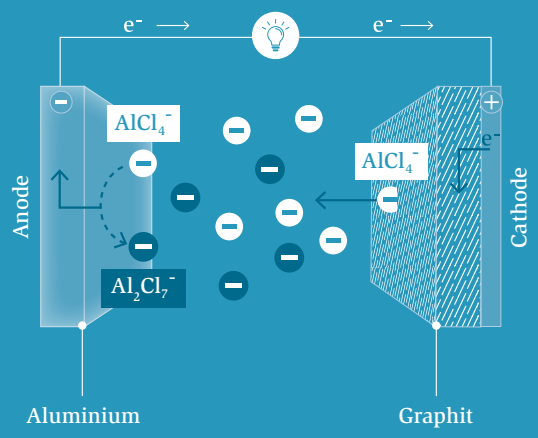
Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s207/materials-for-batteries

Batterie lithium-ion

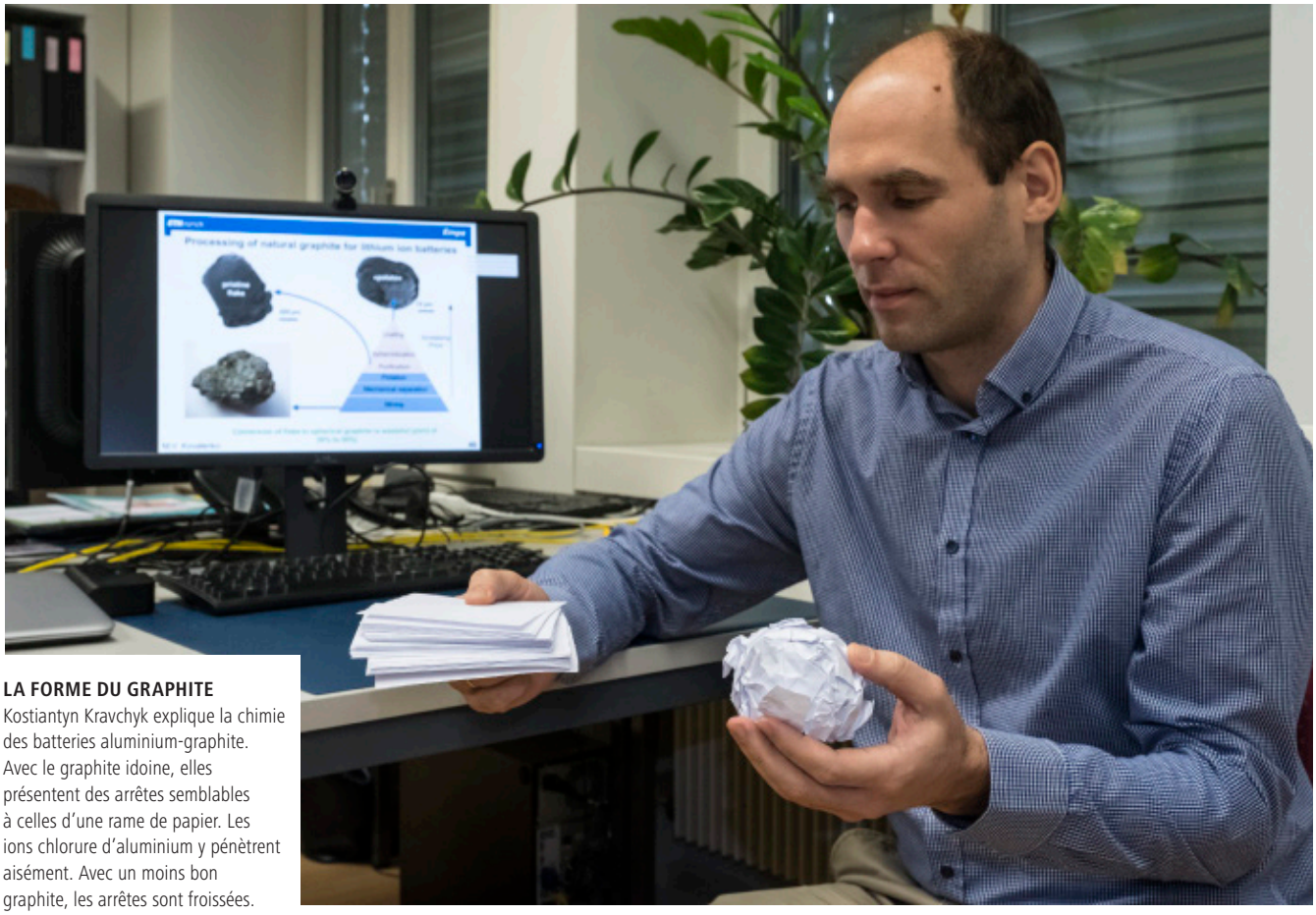


Lorsque la batterie est déchargée, des ions de lithium sont libérés de l'anode en graphite, s'écoulent vers la cathode et sont incorporés dans le réseau cristallin d'oxyde de cobalt. Lors du chargement, le processus est inversé (principe du rocking chair).

Batterie aluminium graphite



Lors de la décharge, le chlorure d'aluminium ($AlCl_4^-$) est converti chimiquement (en $Al_2Cl_7^-$) à l'anode et est simultanément libéré du graphite à la cathode. Le processus est inversé lors de l'inculpation. Pour pouvoir recharger complètement la batterie, il faut disposer d'une quantité suffisante d'$AlCl_4^-$. Il faut donc beaucoup de liquide électrolytique. C'est pourquoi les piles en aluminium sont près de cinq fois plus lourdes que les piles au lithium-ion.



LA FORME DU GRAPHITE
Kostiantyn Kravchyk explique la chimie des batteries aluminium-graphite. Avec le graphite idoine, elles présentent des arrêtes semblables à celles d'une rame de papier. Les ions chlorure d'aluminium y pénètrent aisément. Avec un moins bon graphite, les arrêtes sont froissées.

Graphique: Hug & Dorfmüller Design AG, Foto: Empa

LE JAUNE EST LE NOUVEAU BRUN

Si différents types de légumes et de fruits sont stockés ensemble, ils s'influencent mutuellement dans le processus de maturation. Cela est dû à l'éthylène, qui est libéré par certains aliments végétaux et qui accélère la maturation des fruits. Afin d'éviter le gaspillage excessif de nourriture dû à une maturation précoce, les chercheurs de l'Empa et de l'ETH Zurich développent un nouveau catalyseur qui décompose l'hormone végétale en eau et en carbone.

Texte: Mara Hausammann

BANANES
Pour que les bananes sur le comptoir en jaune vif puissent inciter les gens à les acheter, elles sont souvent encore cueillies et expédiées non mûres.

Photo: pixabay

Les bananes fraîchement achetées dans un panier de fruits plein ne restent jamais longtemps jaunes. Après quelque jours seulement, les fruits prennent une couleur brune et sont jetés plutôt que mangés. La raison de cette maturation précoce est la substance éthylène. En raison de son état gazeux agrégé, l'éthylène fonctionne non seulement comme une substance messagère dans un fruit, mais influence également les autres fruits à proximité. Ainsi, l'hormone végétale déclenche une véritable réaction en chaîne en stimulant également la production d'éthylène dans d'autres plantes et fruits. Plus d'éthylène signifie un mûrissement plus rapide. Les pommes, par exemple, qui dégagent une quantité particulièrement élevée d'éthylène, font ensuite mûrir prématurément des fruits tels que les bananes, qui sont particulièrement sensibles à cette substance. Les fruits peuvent être conservés moins longtemps, ce qui entraîne des rejets inutiles non seulement dans le réfrigérateur à la maison, mais aussi dans la chaîne d'approvisionnement, de l'importateur au commerce de gros et de détail.

UN CATALYSEUR POUR UNE MATURATION PLUS LENTE

Pour ralentir le processus de maturation, l'éthylène doit être tenu à l'écart des fruits et légumes. Huizhang Guo et Mirko Lukovic, chercheurs à l'Empa et à l'EPFZ, ont développé un concept pour décomposer l'éthylène libéré par les fruits et légumes. La base est une structure en bois «délignifié» qui est équipée d'un catalyseur à base de platine distribué au niveau atomique. Le bois se compose de trois matériaux de base: Cellulose, hémicellulose et lignine, le liant du bois. S'ap-puyant sur les résultats de recherches antérieures *(https://www.empa.ch/de/web/s604/holz-paradox-eq66)*, les chercheurs ont utilisé un acide pour dissoudre à la fois la lignine et l'hémicellulose du bois. Cela rend le bois extrêmement poreux et lui donne une surface spécifique extrêmement grande. Le bois délignifié est donc le cadre naturel idéal pour le catalyseur en platine.

CUBE EN BOIS
Le simple cube en bois que Mirko Lukovic tient ici dans sa main constitue la base du nouveau processus de conservation de la fraîcheur.

Photo: Empa

Dans une étape ultérieure, le bois délignifié est mis dans deux solutions différentes. La première crée la base pour que les particules de platine se fixent plus tard aux parois cellulaires du bois; la seconde contient les particules de platine, qui entrent ensuite dans la structure du bois. Le concept est similaire à celui d'un convertisseur catalytique à trois voies dans les moteurs de voiture. Si l'éthylène traverse maintenant la structure poreuse, il rencontre à plusieurs reprises les particules de platine, qui décomposent l'hormone végétale en eau et en dioxyde de carbone (CO_2). L'équipe de l'Empa a pu montrer que le catalyseur décompose presque 100 pour cent de l'éthylène émis à température ambiante. Cependant, si la température tombe à 0 degré, l'eau qui en résulte ne peut plus s'évaporer et se dépose sur le catalyseur. Cela bloque le processus de conversion chimique. Pour libérer le catalyseur de l'eau et le rendre à nouveau fonctionnel, il suffit de chauffer l'ensemble de la structure pendant quelques minutes toutes les deux heures, explique M. Lukovic.

Les résultats démontrent la fonctionnalité du bois délignifié équipé du catalyseur. L'étape suivante consisterait à porter le concept à l'échelle industrielle, estiment les chercheurs. De plus grands prototypes du catalyseur pourraient être installés dans des réfrigérateurs et des chambres froides, ce qui ralentirait le processus de maturation des fruits et légumes. La durée de vie d'un tel catalyseur est aussi longue que le réfrigérateur lui-même.

PIONNIERS DÉJÀ SUR LE MARCHÉ

Le concept de décomposition catalytique de l'éthylène pour prolonger la durée de conservation des fruits n'est pas nouveau. Depuis 2015, l'entreprise japonaise Hitachi produit des réfrigérateurs équipés de catalyseurs en platine pour prolonger la durée de conservation des aliments. Hitachi utilise la silice comme cadre pour les nanoparticules de platine. Les chercheurs de l'Empa ont optimisé ce concept en développant un cadre à base de bois et en utilisant plus efficacement le ca-talyseur en platine (plutôt coûteux). Le bois délignifié est une ressource écologique et renouvelable dont la structure est remarquablement poreuse et structurée. Cela permet aux nanoparticules de platine d'une taille de 20 nanomètres d'être distribuées uniformément et efficacement dans un très petit volume pour obtenir l'effet catalytique souhaité. De plus, la technologie développée à l'Empa permet d'éviter une éventuelle contamination des aliments par des nano-/microparticules de platine en liant fermement le catalyseur à la surface de la structure poreuse du bois. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s302

RENFORCEMENT DE LA RECHERCHE SUR LE BÉTON ET L'ASPHALTE

DURABLE
Le béton et l'asphalte sont les deux matériaux de construction les plus utilisés au monde

Avec son nouveau département «Béton et asphalte», l'Empa renforce sa recherche dans les matériaux de construction. Le secteur est demandeur de technologies et matériaux novateurs pour assurer la durabilité des ressources dont il dépend. Le béton et l'asphalte, dont la production annuelle est pour chacun supérieure à 4,5 milliards de tonnes, sont de loin les deux matériaux les plus utilisés au monde.

www.empa.ch/web/s604/abteilung-beton-asphalt

RECORD EUROPÉEN POUR UNE FAÇADE SOLAIRE SUISSE

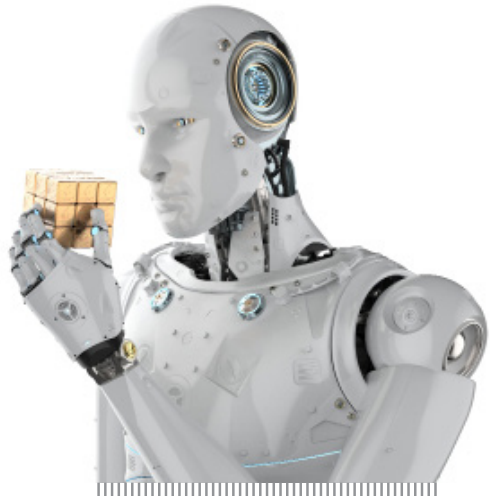
La société K* Immobilien AG et les ateliers «versorgung wallisellen ag (die werke)» ont mis en service la façade solaire la plus puissante d'Europe sur le nouveau bâtiment Neubau «K3 Handwerkcity». Le suivi scientifique du concept énergétique novateur de ce parc d'activités économiques est assuré par l'Empa. Objectifs: l'autarcie et la protection de l'environnement.

www.empa.ch/web/s604/k3-building

ÉCOLOGIQUE
La façade solaire produit 400'000 kWh de courant renouvelable par année.

Photos: iStockfotos, Empa

POSSIBILITÉS ET DANGERS DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE



INTELLIGENT?
La généralisation de l'intelligence artificielle soulève des questions éthiques.

L'intelligence artificielle (AI), toujours plus puissante, se voit confier des tâches toujours plus complexes. Mais dans quelles limites est-il éthiquement légitime de lui confier des jugements ou des décisions concernant des humains? Une équipe de l'Empa a significativement contribué à la nouvelle étude de TA-SWISS consacrée aux possibilités et dangers de l'AI pour la société, présentée au public le 15 avril 2020.

www.ta-swiss.ch/themen-projekte-publikationen/informationsgesellschaft/kuenstliche-intelligenz

PRÉFÉRER LE GAZ DE SYNTHÈSE AUX ÉNERGIES FOSSILES

PROPRE
Le courant excédentaire peut être transformé en gaz synthétique.

Le passage de notre système énergétique au tout renouvelable présente un gros défi: les carences possibles d'approvisionnement en hiver. L'un des moyens d'y parer est de transformer le courant estival excédentaire en gaz de synthèse. Ce vecteur énergétique permettrait en outre d'approvisionner les poids lourds roulant sur longues distances. Le canton de Zurich soutient ce projet à hauteur de 500'000 francs provenant de son crédit-cadre de soutien aux projets pilotes dans le domaine de l'énergie.

www.empa.ch/web/s604/move-mega

SÉMINAIRES DE L'ACADÉMIE DE L'EMPA

(en allemand et en anglais)

4. SEPTEMBER 2020
Kurs: Klebetechnik für Praktiker
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/klebetechnik
Empa, Dübendorf

9. SEPTEMBER 2020
Kurs: Neue Trends in der Fügetechnologie
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/fuegetech
St. Moritz

28. OKTOBER 2020
Kurs: Additive Fertigung von Metallen
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/addfert
Empa, Dübendorf

Vous trouverez la liste complète des événements sur:
www.empa-akademie.ch

ABONNEMENT GRATUIT

Lisez Empa Quarterly

- Version imprimée en allemand, anglais ou français
- Version électronique www.empaquarterly.ch

Paraît quatre fois l'an, gratuit.

A

Nicht frankieren
Ne pas affranchir
Non affrancare

Geschäftsantwortsendung Invio commerciale-risposta
Envoi commercial-réponse

Empa
Redaktion Empa Quarterly
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf
Switzerland

ABONNEZ-VOUS GRATUITEMENT

www.empa.ch/web/s604/subscribenews

Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION

❑ Oui, je souhaite m'abonner gratuitement à Empa Quarterly. ❑ Allemand ❑ Anglais ❑ Français

❑ J'ai changé d'adresse: Abonnement n° _____

Adresse ❑ Madame ❑ Monsieur

Prénom, Nom _____

Société, Institut _____

Rue, n° _____

Case postale _____

NAP, lieu _____

Pays _____

E-mail _____

Ces données sont traitées confidentiellement et ne seront pas transmises à des tiers.

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.

Empa

Materials Science and Technology