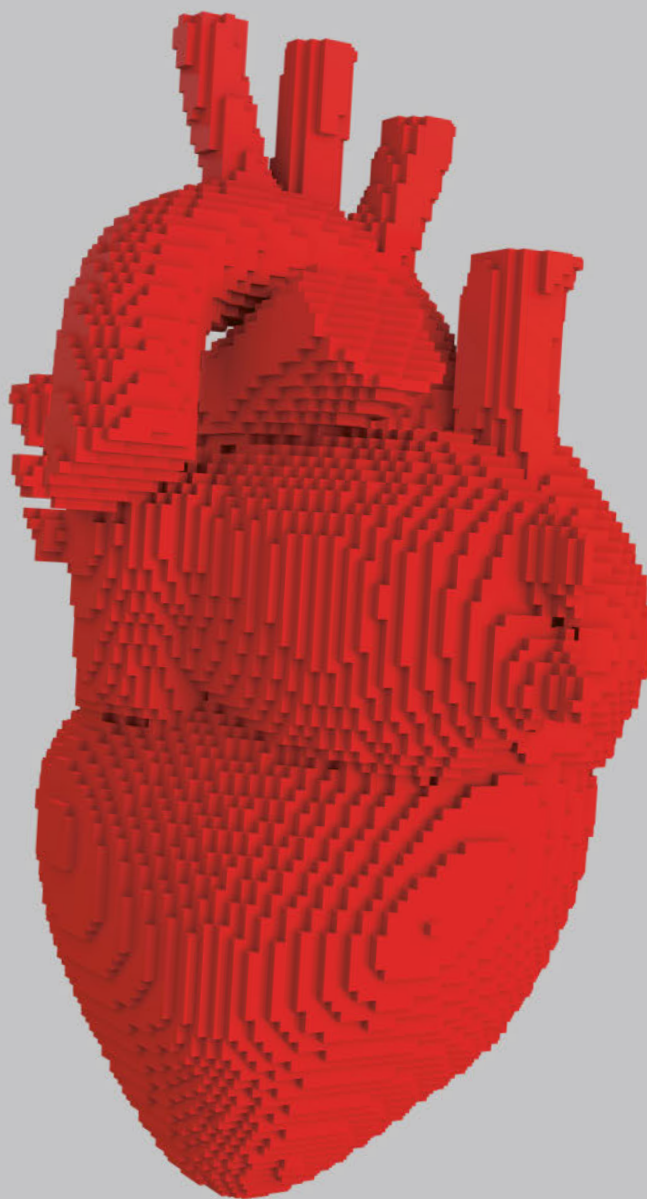


# Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #65 II JUILLET 2019

FOCUS

## SANTÉ SUR MESURE



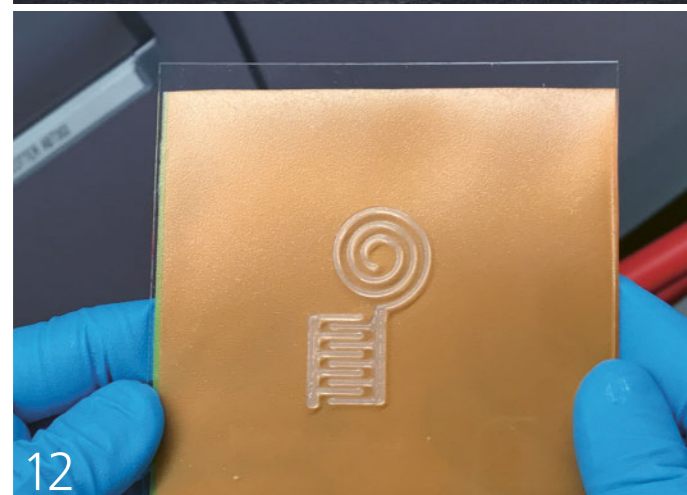
CAPTEURS DE PEAU EN NANOCELLULOSE  
CAPUCHON D'INVISIBILITÉ POUR IMPLANTS CARDIAQUES  
MATÉRIAUX INNOVANTS CONTRE LES BIOFILMS

## [ CONTENT ]

[ FOCUS: SANTÉ SUR MESURE ]



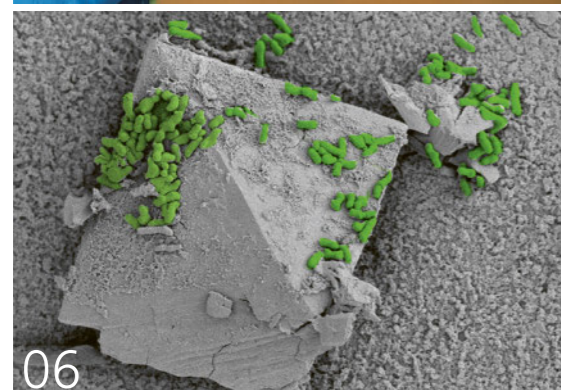
30



12



24



06



16

[ FOCUS ]

**06** INFECTIONS

Matériaux biomédicaux contre les agents pathogènes

**09** DISQUES INTERVERTÉBRAUX

Les rayons X dynamiques évitent les opérations inutiles

**12** DIAGNOSTICS

Mesure des valeurs sanguines avec des capteurs nanocellulosiques flexibles

**14** SANTÉ DU CŒUR

Les pompes cardiaques artificielles nécessitent des membranes adaptées

**16** OSTÉOPOROSE

Comprendre les os à l'aide des méthodes d'analyse des matériaux

**18** CICATRISATION

Un matériau en mousse favorise une cicatrisation rapide

[ THÈMES ]

**24** RECYCLAGE

Que faire avec les piles usagées d'origine électrique des voitures?

**28** ÉNERGIE

Une nouvelle plateforme de recherche pour les systèmes énergétiques en réseau

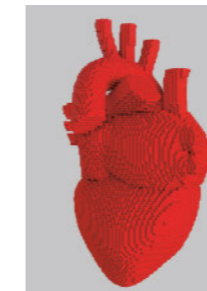
**30** ÉNERGIE

Production d'électricité à des hauteurs élevées

[ RUBRIQUES ]

**04** LA PHOTO**22** BRIÈVEMENT**34** EN ROUTE

[ COUVERCLE ]



Comment restons-nous en bonne santé et efficaces le plus longtemps possible à l'avenir? Dans ce numéro, vous découvrirez comment l'Empa y contribue.

[ 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:** Tél. +41 58 765 47 33

empaquarterly@empa.ch

www.empaquarterly.ch

**PUBLICATION:**

publié quatre fois par an

ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (édition française)



No. 01-19-120301 - www.myclimate.org

© myclimate - The Climate Protection Partnership

Empa Social Media



Images: istock, Twingtec, Empa

Image: istock

## MATÉRIEL POUR LA MÉDECINE DE DEMAIN

Chère lectrice, cher lecteur,



Le mot "médecine" évoque en général des images de médicaments, de piqûres ou de salles d'opération, mais bien rarement de matériaux. Pourtant, pour tenir ses promesses en matière de santé personnalisée, la médecine dépend beaucoup de l'existence de matériaux novateurs aux propriétés très particulières.

C'est là que l'Empa entre en jeu. Les nouveaux matériaux et les nouvelles technologies, c'est notre affaire – également dans le domaine des medtechs. Nous y travaillons en collaboration avec des hôpitaux universitaires et cantonaux, notamment ceux de Berne, Zurich et Saint-Gall. L'actuelle livraison d'«Empa Quarterly» présente les étonnants résultats de cette interaction dynamique entre médecins et chercheurs en matériaux.

Qu'il s'agisse de développer de nouveaux matériaux biomédicaux aux propriétés antibactérielles capables de prévenir la formation de biofilms – grave problème avant même l'actuelle crise des antibiotiques –, de nouveaux cœurs artificiels pour les patients souffrant d'une insuffisance cardiaque, une mousse facilitant la guérison des plaies et prévenant la formation de vilaines cicatrices, ou des capteurs épidermiques comme aide au diagnostic.

Il en est des techniques médicales comme des techniques de l'énergie: les nouveaux matériaux ne feront pas tout, mais rien de se fera sans nouveaux matériaux.

En vous souhaitant bonne lecture, et à notre prochaine livraison!

Votre MICHAEL HAGMANN



**DÉFORMATION DÉSIRÉE**

Depuis mai 2019, le Remstal près de Stuttgart abrite un bâtiment en bois unique en son genre: une tour en planches d'épicéa auto-formées. La méthode développée à l'Empa et à l'EPFZ utilise le gonflement et le rétrécissement naturels du bois sous l'influence de l'humidité et permet ainsi une architecture nouvelle et inattendue pour la construction avec le bois, une ressource renouvelable et durable.

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s604/urbach-tower](http://www.empa.ch/web/s604/urbach-tower)

# UN SQUATTER OMNIPRÉSENT

Les biofilms sont des amas extrêmement résistants de germes qui posent bien des problèmes, en particulier dans les hôpitaux. Ils se développent à la manière d'un organisme, s'étendent sur les plaies ou colonisent implants et produits médicaux. On compte sur des matériaux biomédicaux aux surfaces novatrices pour leur faire obstacle.

Texte: Andrea Six



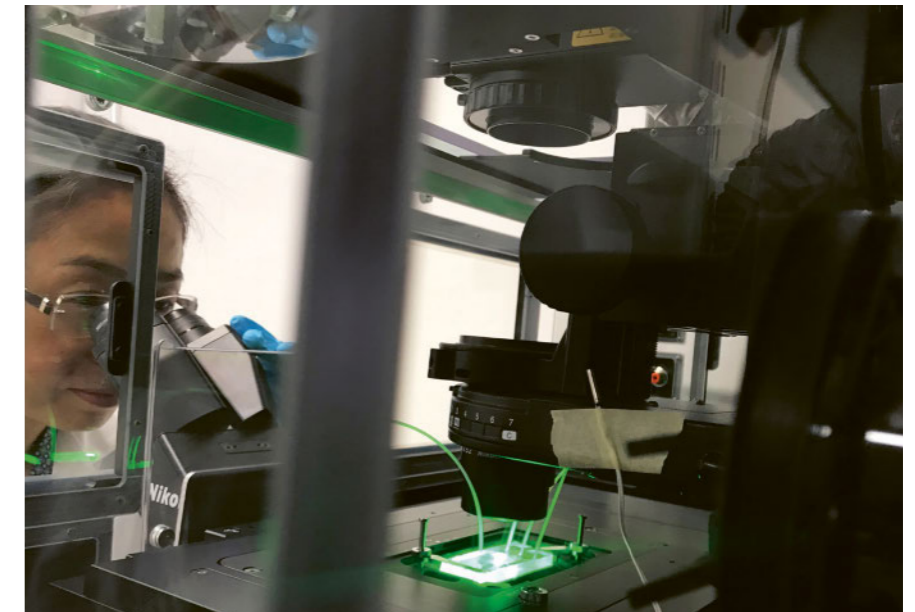
**BIOFILM**  
Ces dépôts sur un cathéter consistent en cristaux de calcium qui, avec les bactéries (verdâtres), les cellules sanguines (rouges) et les cellules immunitaires (vert-jaune), forment un biofilm (images au MEB, 4000 x, coloration).

**T**rop de personnes devant être hospitalisées voient leur situation se détériorer du fait de leur hospitalisation. Dans les pays industrialisés, la moyenne des victimes d'infections dites nosocomiales est de sept pourcent. Aux soins intensifs, ce chiffre est encore plus élevé. Certaines de ces pathologies peuvent dégénérer en empoisonnement sanguin (septicémie) à l'issue incertaine.

Les germes pathogènes ont particulièrement beau jeu lorsque le patient subit un traitement invasif. Qu'on l'intube pour lui permettre de respirer, pour lui apporter des liquides ou pour évacuer son urine, les germes pathogènes s'en mêlent. On ne sait pas encore comment prévenir ces infections. Une équipe de chercheurs de l'Empa et de médecins de l'Hôpital de cantonal de Saint-Gall collaborent actuellement sur un projet de réduction des risques d'infection en milieu hospitalier.

La recherche porte en premier lieu sur l'analyse des biofilms, tapis de germes qui colonisent par exemple les cathéters urinaires. Pour concevoir les matériaux capables d'en prévenir la formation, il faut d'abord comprendre la manière dont ces germes se fixent et prolifèrent, il faut connaître l'adversaire. Sur ce point, la médecine a longtemps avancé à l'aveugle, personne ne sachant exactement ce qui se passe à l'intérieur des cathéters.

Qun Ren, chercheuse à l'Empa, est bien décidée à dévoiler les secrets intimes des tuyaux de polymères. En collaboration avec des médecins de l'hôpital de Saint-Gall, elle étudie les dépôts présents sur les conduits urinaires de quelque 90 patients. Poser un stent dans un conduit urinaire est une procédure courante, par exemple lors du traitement des calculs rénaux. «Cependant, la pose d'un stent est souvent suivie de ▶



**BACTÉRIES**  
Qun Ren, chercheuse à l'Empa, analyse au microscope des échantillons microbiologiques sur un stent urinaire placé dans une chambre d'écoulement microfluidique (en haut). Des bactéries E. coli en nombre réduit (au milieu) forment en quelques heures un biofilm (en bas) couvrant toute la surface d'un substrat de verre (image microscopique, coloration).

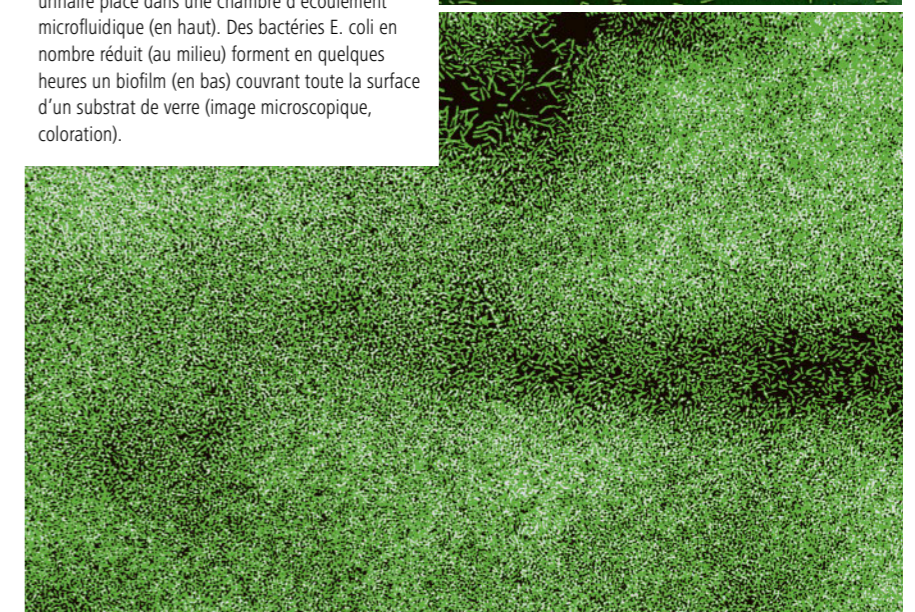


Image: Empa

Images: Empa

douleurs et d'une infection des voies urinaires», remarque Ren. Ce fut le cas chez les patients étudiés: après trois semaines environ dans le corps du patient, soit relativement peu de temps, les tuyaux présentaient sur leur surface intérieure non seulement des dépôts de cristaux de calcium d'origine urinaire, mais également des accumulations de bactéries. «Des biofilms se sont formés à la surface intérieure des tuyaux, indique la chercheuse, de véritables cultures de bactéries».

#### VIVRE DANS UN CATHÉTER

Pour les scientifiques, les biofilms sont probablement les organismes vivants les plus résistants de la planète. Ces amas de bactéries s'enrobent d'une matrice mucilagineuse et se comportent à la manière d'un organisme. Les biofilms sont présents depuis bien plus longtemps que nous. On en trouve déjà dans les plus anciens fossiles connus de l'histoire de la Terre. Il n'est pas surprenant de les voir résister envers et contre tout et de croître dans les conditions hostiles, par exemple dans les cathéters, en recourant à d'habiles stratégies de survie.

Ces communautés de bactéries sont protégées par une couche gélatineuse de biopolymères qui les relie avec beaucoup de souplesse. Elles ne cessent d'échanger du matériel génétique, communiquent par signaux chimiques et, lorsque c'est nécessaire, signalent en surface que les couches inférieures de la communauté ont faims. Les antibiotiques et désinfectants habituels ne pénètrent qu'à peine le film. En cas de besoin, la communauté envoie une troupe de pionniers coloniser de nouveaux lieux, à la manière d'une tumeur qui se métastase.

#### HABILES COMME DES GECKOS

Ces stratégies triomphantes dans la nature peuvent s'avérer fatales pour les patients hospitalisés. L'objectif est donc de développer, entre autres pour

les cathéters, de nouveaux matériaux réduisant les risques d'infections. «L'un des moments cruciaux de la formation de biofilms, explique Ren, est celui où les bactéries en mouvement adhèrent à une surface». Pour cela, les micro-organismes usent souvent du même procédé que les geckos capables de grimper sur une surface vitrée: ils utilisent les forces de van-der-Waals produites par les interactions entre leurs propres molécules et celles de la surface qui leur servira de domicile. D'autres micro-organismes déposent sur les tuyaux un revêtement qui servira de soubassement à la communauté. «Pour lutter contre les bactéries, il faut donc commencer par les empêcher d'adhérer aux surfaces», conclut Ren.

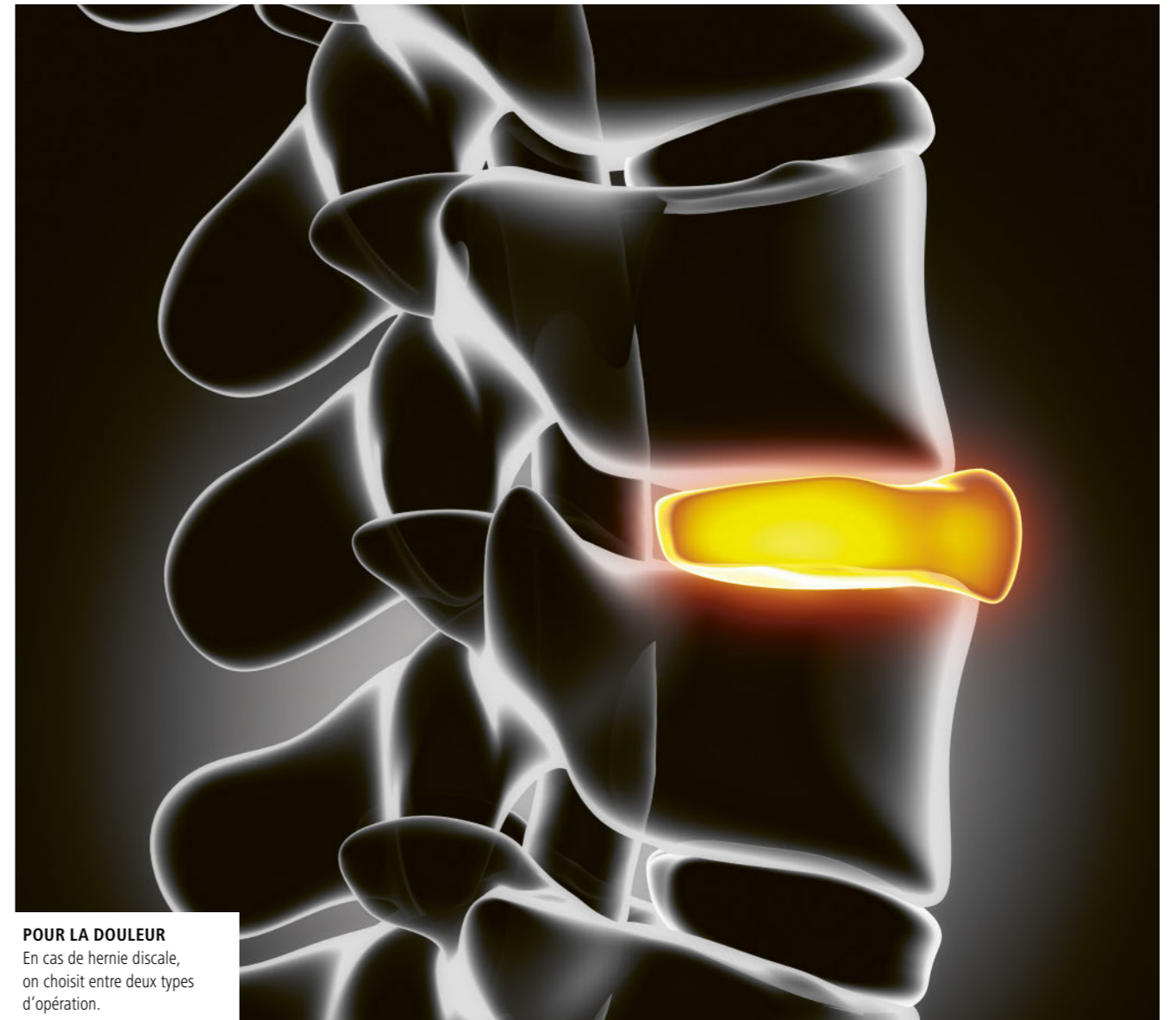
«Les biofilms étaient présents sur Terre bien avant nous et appliquent d'étonnantes stratégies de survie.»

La conception de matériaux utilisables dans la pratique et prévenant l'adhésion de germes nécessite la mise sur pied d'une chaîne complète de recherche et développement «from bench to bedside». Et ces matériaux ne seront à la hauteur des attentes que si les analyses en laboratoire reflètent très précisément la réalité qui les attend. C'est pourquoi les chercheurs de l'Empa ont développé un modèle multi-composants se rapprochant le plus possible des conditions hospitalières. Les candidats cathéters sont exposés dans un bioréacteur à des flux de liquides semblables à ceux auxquels sont exposées les sondes urinaires. L'examen de tous les micro-organismes présents est effectué par microscopie confocale; les bactéries font ensuite l'objet d'une culture et leur matériel génétique

est analysé. Parallèlement, les surfaces touchées par des dépôts de cristaux de calcium sont étudiées aux rayons X. «Nous ne pourrions créer des matériaux biologiquement sûrs et résistants aux biofilms que lorsque nous en connaissons exactement les bactéries», précise Ren.

Les échantillons de l'Hôpital cantonal de Saint-Gall ont permis d'étayer le modèle en montrant ce qui se passait dans des cathéters ayant été effectivement implantés dans des corps humains. Comme ces échantillons provenaient de patients qui, avant la pose du cathéter, ne présentaient aucun signe d'infection et comme ils n'avaient gardé ce tuyau que peu de temps, les biofilms observés n'étaient, comme prévu, que peu développés. Il est cependant clairement apparu que certaines espèces pathogènes se présentent souvent en associations. Certains patients présentaient surtout des entérobactéries nocives alors que d'autres hébergeaient des bactéries lactiques auxquelles on attribue plutôt un effet protecteur. Quel est le lien entre ces associations de bactéries et les risques d'infection nosocomiale? C'est la question que les chercheurs vont maintenant étudier. Ils discutent également du type de surface propice à certains types de germes. Dans une prochaine étape, l'équipe va se pencher sur des échantillons provenant de patients ayant suivi un traitement de longue durée et sur des patients infectés. ■

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s404/](http://www.empa.ch/web/s404/)



**POUR LA DOULEUR**  
En cas de hernie discale, on choisit entre deux types d'opération.

## VISUALISER LE MOUVEMENT AVANT D'INTERVENIR

Les hernies discales sont douloureuses et constituent la principale cause d'opérations sur la colonne vertébrale. Mais le traitement choisi est-il toujours judicieux? De nouvelles recherches montrent que la base clinique sur laquelle la décision est prise – la comparaison de deux images fixes – ne suffit souvent pas à choisir au mieux pour le patient.

Texte: Karin Weinmann

Les soudaines douleurs dorsales sont souvent provoquées par des hernies discales. Les disques intervertébraux agissent comme des coussinets-amortisseurs et sont constamment sollicités tout au long de la vie. S'ils se font friables et se fêlent, une partie de leur tissu peut se déloger et comprimer un nerf ou le canal rachidien. Il peut en résulter de violentes douleurs. Les vertèbres lombaires sont les plus exposées. Le traitement par médicaments antidouleurs et anti-inflammatoires suffit souvent à mettre fin à ces épisodes. Dans les cas graves, toutefois, il faut opérer.

#### DÉCHARGER OU RIGIDIFIER?

En cas de hernie discale, on a globalement le choix entre deux types d'opération: le premier est d'enlever la masse discale délogée et d'ainsi réduire la pression sur le nerf ou le canal rachidien. Grâce à la microchirurgie, cette intervention est aujourd'hui très peu invasive.

Le second type d'opération consiste à fixer entre elles les vertèbres en cause en y insérant des vis solidarisées par une pièce métallique. On y recourt en particulier lorsque les mouvements du sujet provoquent un important déplacement relatif des deux vertèbres. Il s'agit cependant d'une intervention très invasive et risquée qui, parfois, ne fait que déplacer le problème, les vertèbres suivantes se trouvant surchargées et pouvant céder à leur tour.

Pour décider du type d'intervention, les médecins font appel à la radiographie. Ils prennent généralement deux images du sujet, lequel se tient tout d'abord droit, puis penché en avant. Lorsque les vertèbres en cause apparaissent fortement décalées, voire ont sensiblement pivoté l'une par rapport à l'autre, il est nécessaire de les solidariser. Si ce n'est pas le cas, une décompression peut



**DYNAMIQUE**  
La dynamique des disques intervertébraux instables varie d'un patient à l'autre.

Image: istock

suffire. Cependant, plusieurs études ont montré que la comparaison de deux images fixes pouvait être insuffisante: près d'un tiers des patients ayant subi l'opération la plus simple devaient être réopérés. Il y a également lieu de croire que les patients dont on a solidarisé les vertèbres n'auraient pas tous vraiment eu besoin d'une telle intervention. Le problème est que les images ne montrent que la position initiale et finale des vertèbres, et non ce qui se passe réellement lors du mouvement.

#### LA DYNAMIQUE DU MOUVEMENT EST DÉTERMINANTE

Des chercheurs du Mechanical System Engineering Lab de l'Empa et du Département des interventions orthopédiques de l'Université de Pittsburgh ont montré que, en cours de mouvement, les vertèbres ne se déplaçaient pas linéairement. "Bien au contraire, la manière dont elles se déplacent varient beaucoup d'un patient à l'autre", explique Ameet Aiyangar, chercheur à l'Empa et co-responsable du projet. Pour réaliser l'étude qui leur a valu le prix 2018 en sciences de bio-ingénierie de l'ISSLS, les chercheurs ont réalisé des radiographies dynamiques continues de sept patients souffrant de hernies discales et de sept personnes-témoins du même groupe d'âge se penchant progressivement en avant. Les données leur ont permis de calculer la rotation sagittale relative et le décalage plan relatif des vertèbres. Leurs résultats sont surprenants:

On s'attendrait à ce que, lors du mouvement, l'angle de rotation sagittale et le déplacement vertical varient de concert, ce qui s'est confirmé sur la majorité des personnes-témoins sans problème de dos.

Paradoxalement, chez l'un des patients, les vertèbres se sont tout d'abord décalées en sens inverse du mouve-

ment puis ont regagné leur position médiane. Leur position initiale et finale semblait indiquer qu'elles étaient stables alors que, en mouvement, elles étaient éminemment instables. Chez ce patient, une simple décompression n'aurait pas servi à grand chose, il fallait solidariser les deux vertèbres. Dans ce cas, l'analyse classique aurait donc gravement sous-estimé la situation. Un risque que les chiffres reflètent: la comparaison par la méthode des images initiales et finales des cas étudiés fait état d'un déplacement moyen de 0,4 mm alors que, calculée sur l'intégralité du mouvement, la moyenne des déplacements est de 4,6 mm, soit onze fois plus.

«Comparer la position initiale et finale des vertèbres ne suffit pas, il faut en suivre le mouvement relatif complet.»

Chez d'autres patients, les vertèbres se sont à peine décalées, mais ont commencé par une nette rotation en sens inverse pour ensuite revenir en place. Seuls deux patients ont présenté un mouvement correspondant approximativement à l'attente. Finalement, chacun des patients étudiés présentait un déplacement égal ou supérieur à 1,8 mm, alors que la méthode clinique habituelle indiquait moins de 0,4 mm pour trois des sept patients.

#### UNE TECHNOLOGIE NON ENCORE ADAPTÉE À LA CLINIQUE

Ces observations indiquent que les bases sur lesquelles on choisit actuellement le type d'intervention sont souvent insuffisantes. La situation devrait être évaluée dynamiquement. Suffirait-il donc de remplacer les équipements de radiologie à images fixes par des appareils à images

dynamiques? Ce n'est malheureusement pas aussi simple: la technologie nécessaire dite „Dynamic Stereo X-Ray“ (DSX) est encore très peu répandue et les calculs nécessaires pour reconstituer les mouvements très complexes. "Pour le moment, cette technologie en est au stade de la recherche. Nous sommes toutefois à l'aube d'un processus de transition, ces appareils pourraient un jour appartenir au quotidien clinique", explique Aiyangar. Dans l'attente, il propose de ne pas se contenter de deux images mais de prendre une petite série d'images statiques à différents moments du mouvement et de les comparer.

#### THÉRAPIE OU OPÉRATION?

Aiyangar a déjà d'autres idées: il souhaite étudier l'approche thérapeutique des hernies discales. Les mouvements de stabilisation du dos font appel à 200 faisceaux musculaires différents. Impossible d'en mesurer simultanément l'état pour ensuite en déduire la thérapie la plus indiquée. "La modélisation des systèmes complexes pourrait ici s'avérer très utile au choix de la meilleure intervention de première ligne". Et dans bien des cas, pense-t-il, une thérapie bien choisie pourrait permettre d'éviter une opération. ■

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s304/biomed](http://www.empa.ch/web/s304/biomed)



**FLEXIBLE**  
Gilberto Siqueira, chercheur à l'Empa, présente le nouveau circuit de nanocellulose imprimé. Après un processus de séchage, le matériau peut être traité ultérieurement.

## DU BOIS SUR NOTRE PEAU

Les analyses du sang à fins diagnostiques peuvent se faire sans piqûre invasive. En collaboration avec une équipe canadienne, des chercheurs de l'Empa mettent actuellement au point des capteurs flexibles et biocompatibles en nanocellulose à placer sur la peau. Ces puces imprimées en 3D sont en matière renouvelable et, prochainement, seront même biodégradables.

Texte: Andrea Six

L'idée de mesurer des paramètres physiologiques sans traverser la peau est bien acceptée en médecine. Ainsi, les diabétiques peuvent mesurer leur glycémie sans douleur à l'aide d'un capteur qui les dispense de

se piquer le doigt. Des chercheurs de l'Empa ont développé en collaboration avec des scientifiques du Canada un nouveau capteur qui s'adapte avec souplesse à la surface de la peau et s'avère remarquablement biocompatible puisqu'il est en nanocellulose.

### UN FILM TRANSPARENT EN BOIS

La nanocellulose est une matière première avantageuse et renouvelable composée de nanofibres et nanocristaux tirés par exemple de la cellulose du bois. La substance gélatineuse n'évoque plus en rien l'arbre dont on l'a extraite. On

peut d'ailleurs aussi la produire à partir de bactéries, d'algues ou de déchets provenant de l'industrie alimentaire. Il s'agit donc d'une production renouvelable et relativement simple. Ce ne sont pas les uniques qualités de la nanocellulose: le «superpudding» présente également des propriétés mécaniques appréciées dans la fabrication de certains composites utilisés pour revêtir des objets d'usage quotidien – par exemple des bouteilles – ou comme film d'emballage transparent.

Les chercheurs du laboratoire «Cellulose & Wood Materials» de l'Empa et Woo Soo Kim de l'Université Simon Fraser du Canada tablent en outre sur une caractéristique supplémentaire de la

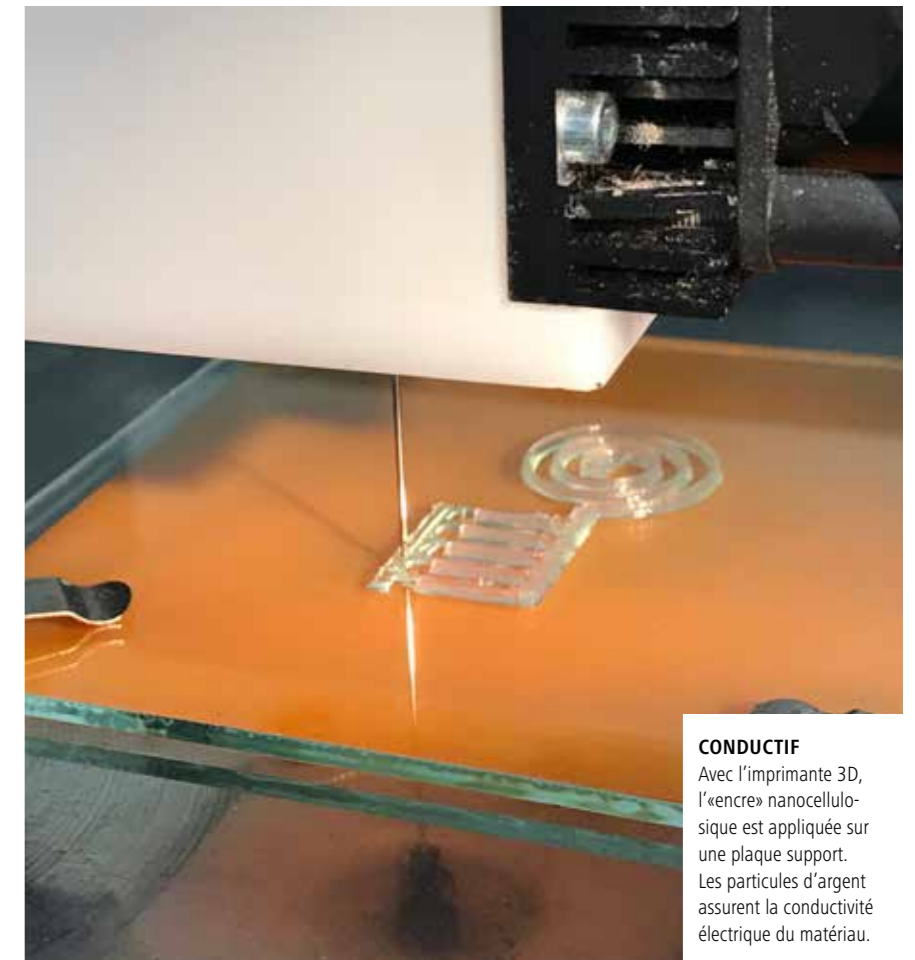
«Tout compris, le minuscule laboratoire biochimique épidermique n'est épais que d'un demi-millimètre.»

nanocellulose: sa biocompatibilité. C'est bien parce qu'il est d'origine naturelle que ce matériau se prête particulièrement bien aux applications biomédicales.

Pour réaliser les capteurs biocompatibles capables de mesurer d'importantes valeurs métaboliques, les chercheurs ont utilisé de la nanocellulose comme «encre» d'imprimante 3D. Ils l'ont enrichie de nanofils d'argent afin de la rendre électriquement conductrice. Les chercheurs étudient le rapport exact nanocellulose / fils d'argent favorisant la formation d'un réseau tridimensionnel.

### COMME DES SPAGHETTIS

Les essais ont montré que les nanofibres de cellulose se prêtaient mieux que les nanocristaux à la fabrication d'une matrice bien entrelacée de minuscules



**CONDUCTIF**  
Avec l'imprimante 3D, l'«encre» nanocellulose est appliquée sur une plaque support. Les particules d'argent assurent la conductivité électrique du matériau.

fils d'argent. «Les nanofibres de cellulose sont aussi souples que des spaghettis cuits, avec toutefois un diamètre d'environ 20 nanomètres et une longueur de quelques microns», explique Gilberto Siqueira, chercheur à l'Empa.

L'équipe de chercheurs a bien réussi à développer des capteurs capables de mesurer des paramètres métaboliques importants tels que des teneurs en calcium, en potassium et en ions ammonium azotés. Pour permettre l'exploitation des mesures, le capteur épidermique électrochimique transmet ses données à un ordinateur. Le minuscule laboratoire biochimique appliqué à la peau n'est épais que d'un demi-millimètre.

Alors que le capteur épidermique actuel permet de mesurer des concentra-

tions ioniques de manière spécifique et fiable, les chercheurs en étudient déjà la prochaine version: «Nous souhaitons remplacer les particules d'argent par un matériau conducteur fondé sur une liaison carbone», explique avec enthousiasme Siqueira en décrivant son plus récent projet. Les capteurs médicaux en nanocellulose seront alors non seulement biocompatibles, mais entièrement biodégradables. ■

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s302](http://www.empa.ch/web/s302)



# FAUSSEMENT RÉEL

Le cœur reste l'un des grands défis de la médecine moderne. En Europe, plus de 10 millions de personnes souffrent d'une insuffisance cardiaque et beaucoup d'entre elles ont besoin d'une greffe du cœur. Dans l'attente, on leur pose une pompe cardiaque artificielle, mais ces pompes ne sont pas à l'abri de complications. Le projet «Zurich Heart», auquel l'Empa participe, étudie comment résoudre ces questions.

Texte: Cornelia Zogg

Image: istock

La pose d'une pompe cardiaque artificielle est pour bien des patients le geste qui sauve. Mais cette mesure s'accompagne souvent d'effets secondaires. Il existe un danger de formation de caillots sanguins ou de phénomènes de rejet des matériaux étrangers, ce qui peut entraîner de fortes réactions immunitaires. C'est pourquoi, en 2011 déjà, des chercheurs de l'Hôpital universitaire de Zurich ont lancé avec des collègues de l'Université et de l'EPF de Zurich le projet «Zurich Heart». Y participent des médecins, ingénieurs, biologistes et chercheurs en matériaux. Leur objectif: perfectionner les pompes existantes et trouver de nouvelles solutions aux problèmes identifiés. Une dizaine de sous-projets testant de nouvelles approches sont en cours, avec la participation de chercheuses et chercheurs de diverses universités et divers instituts, dont l'Empa.

## L'EMPA EST TRÈS PRÉSENT

Plusieurs équipes de l'Empa participent à «Zurich Heart» et travaillent sur une nouvelle génération de pompes cardiaques «camouflées», c'est-à-dire revêtues de manière que les anticorps ne les distinguent pas d'un cœur authentique. On sait que les vaisseaux sanguins naturels – dont les vaisseaux cardiaques – sont revêtus intérieurement de cellules dites endothéliales qui régulent les échanges entre le sang et les tissus voisins. Les pompes cardiaques artificielles doivent donc offrir une enveloppe colonisable aux cellules endothéliales du receveur, une surface que son sang ne percevra pas comme artificielle mais comme celle du cœur original. Le groupe de chercheurs d'Edoardo Mazza, qui dirige le département «Experimental Continuum Mechanics» de l'EPF et assure la co-direction du projet «Zurich Heart», a réussi à mettre au point une membrane présentant d'excellentes conditions de colonisation par des cellules endothé-

liales. En plus de servir de substrat à ces indispensables cellules, la membrane amortit les impulsions de la pompe. Ce qui est nécessaire dans la mesure où, quel que soit l'attrait du substrat, les cellules ne pourraient pas s'y fixer et seraient emportées par le courant sanguin si de trop fortes secousses l'agitaient.

## UNE SOLUTION HEXAGONALE

Pour que les cellules endothéliales se sentent bien sur la membrane et puissent s'y fixer, Aldo Ferrari, chercheur à l'EPFZ et à l'Empa, en a texturé la surface en réseau hexagonal. Ce léger nid d'abeille offre aux cellules un espace où se nicher et résister au courant. La méthode est efficace, comme l'équipe l'a montré in vitro et in vivo : les cellules sont restées fixées à la membrane après plusieurs cycles de pompage, ce qui ouvre la voie au développement de pompes cardiaques biocompatibles. Ce succès ne résout pas pour autant tous les défis, l'objectif n'étant pas de revêtir une membrane test, mais tout l'intérieur de la pompe de cette structure texturée.

«La surface des tissus prétend au sang qu'il s'agit d'un vrai cœur.»

## LES PROCHAINES ÉTAPES SONT DÉJÀ AMORCÉES

«Zurich Heart» entre maintenant dans sa seconde phase. «Nous voulons transformer quelques unes des solutions développées par «Zurich Heart» en produits adaptés à la clinique», précise Mazza. Cela peut durer plusieurs années, raison pour laquelle le projet n'a pas de limite fixe. La première génération des doctorants qui ont participé à «Zurich Heart» a maintenant terminé et publié ses travaux et déposé de nombreuses demandes de brevet. Les retours sont positifs. «Notre

sous-projet de membrane hybride a progressé bien au-delà de nos attentes», ajoute Mazza qui, avec son équipe, prépare déjà l'étape suivante: l'étude du comportement à long terme d'une pompe cardiaque «endothéliumisée». Les pompes cardiaques doivent en effet assurer leur fonction sur plusieurs millions de battements. «Toutes ces années, notre motivation n'a fait qu'augmenter», conclut-il, confiant que les travaux à venir livreront de précieuses informations et déboucheront sur des solutions applicables en cardiologie humaine. ■

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s604/zurich-heart](http://www.empa.ch/web/s604/zurich-heart)



# POURQUOI LES OS ÉCHOUENT

Les méthodes d'analyse utilisées dans l'étude des matériaux peuvent-elles nous aider à mieux comprendre nos os? Pour une jeune équipe de chercheurs de l'Empa de Thoue, c'est la bonne approche.

Texte: Karin Weinmann

L'ostéoporose touche toute la population. Une femme sur trois et un homme sur cinq souffrent avec l'âge d'une perte de substance osseuse. L'une de ses conséquences les plus fréquentes est la fracture du col du fémur, un traumatisme douloureux qui pèse lourdement sur la qualité de vie du sujet et peut entraîner une longue perte de mobilité. L'alitement prolongé qui s'en suit s'accompagne souvent d'une dégradation de l'état général et d'une mortalité plus élevée.

Cette maladie entraîne une réduction de la masse osseuse en déséquilibrant le processus naturel de renouvellement des tissus et en modifiant la qualité des os. Les modifications se manifestent au niveau de la microstructure, de la densité des microfissures et des propriétés des tissus.

La constitution des os est loin d'être simple. Si l'on scie un fémur, on voit qu'il se compose d'une couche extérieure dure entourant une matière spongieuse. Au microscope, la couche extérieure se révèle composée de structures concentriques faites de lamelles cylindriques ordonnées autour de vaisseaux sanguins. Ces lamelles ne sont épaisses que de quelques millièmes de millimètre et sont constituées d'un composite fibreux naturel: des fibres de collagène contenant des particules minérales,

incluses dans une matrice minérale protéinée. Une loi régit cette structure: plus l'os est minéralisé, plus il est rigide, mais plus il est cassant. Vu sa structure hiérarchisée, l'os s'avère robuste et résistant malgré sa faible densité. Lorsqu'un os se casse, il ne suffit donc pas d'en vérifier la densité et la structure macroscopique, mais de bien considérer les mécanismes impliqués à tous les niveaux.

## L'ANALYSE DES MATÉRIAUX APPLIQUÉE AUX OS

Un groupe de chercheurs de l'Empa de Thoue dirigé par Jakob Schwiedrzik s'est fixé pour objectif de mieux comprendre ce qui, lors d'une fracture, se passait au niveau des lamelles. «Lorsqu'on ne prend en compte que la densité des os, comme c'est aujourd'hui généralement le cas en clinique, on peut relativement bien prévoir le risque

de fracture d'un patient. Les écarts, cependant, ne sont pas rares et le risque peut être mal évalué, explique Schwiedrzik. Nous espérons que nos recherches permettront d'améliorer les prévisions individuelles.»

Les chercheurs abordent la question avec leurs méthodes habituelles d'étude des matériaux: ils en soumettent le plus petit échantillon représentatif – en l'occurrence une lamelle isolée – à des essais en traction et en compression. Ils peuvent alors observer ce qui se passe lorsque le matériau cède et relier les propriétés de l'échantillon à celles de sa microstructure. L'analyse de la microstructure est effectuée par spectroscopie Raman et au microscope électronique à transmission, deux techniques très complexes permettant d'observer avec précision les modi-

fications structurelles des échantillons.

Mais ces essais en traction et compression ne se font pas d'eux-mêmes, les chercheurs doivent soigneusement les préparer: «La mise en place des échantillons d'os et les tests qui suivent nous prennent encore beaucoup de temps, en particulier les tests en traction», explique Schwiedrzik. Il s'agit tout d'abord de découper une série d'échantillons selon une forme bien définie à l'aide d'un faisceau de ions focalisé. S'étant fixé pour but d'accélérer l'analyse des échantillons pour pouvoir passer à des évaluations statistiques, les chercheurs consacrent actuellement une bonne part de leurs efforts à l'automatisation de cette préparation des échantillons et à la conception de dispositifs de mesure spécifiques.

## DIAGNOSTICS PERSONNELS

La problématique prend un tour tout à fait passionnant lorsqu'on se demande comment appliquer la méthode au niveau clinique. Cela fait actuellement l'objet d'un projet mené par des chercheurs de l'Inselhospital et de l'Université de Berne, de l'EPF de Zurich et de l'Empa. Ils étudient la matière osseuse de patients porteurs d'une prothèse de la hanche. Le matériel est analysé à plusieurs échelles. L'objectif est de réunir suffisamment de données sur les propriétés micromécaniques de ce matériau, sa microstructure, son activité cellulaire et son métabolisme pour les corrélater avec les résultats cliniques et les données personnelles de patients par voie de «Machine Learning». La base de données qui en résulte doit permettre de quantifier la qualité des os d'un patient et d'utiliser cette information lors du diagnostic. ■

## FRACTURE DU FÉMUR

La fracture du fémur est souvent liée à l'ostéoporose. Des chercheurs de l'Empa utilisent l'arsenal des ingénieurs en matériaux pour déceler ce qui se joue alors au niveau de la microstructure osseuse.

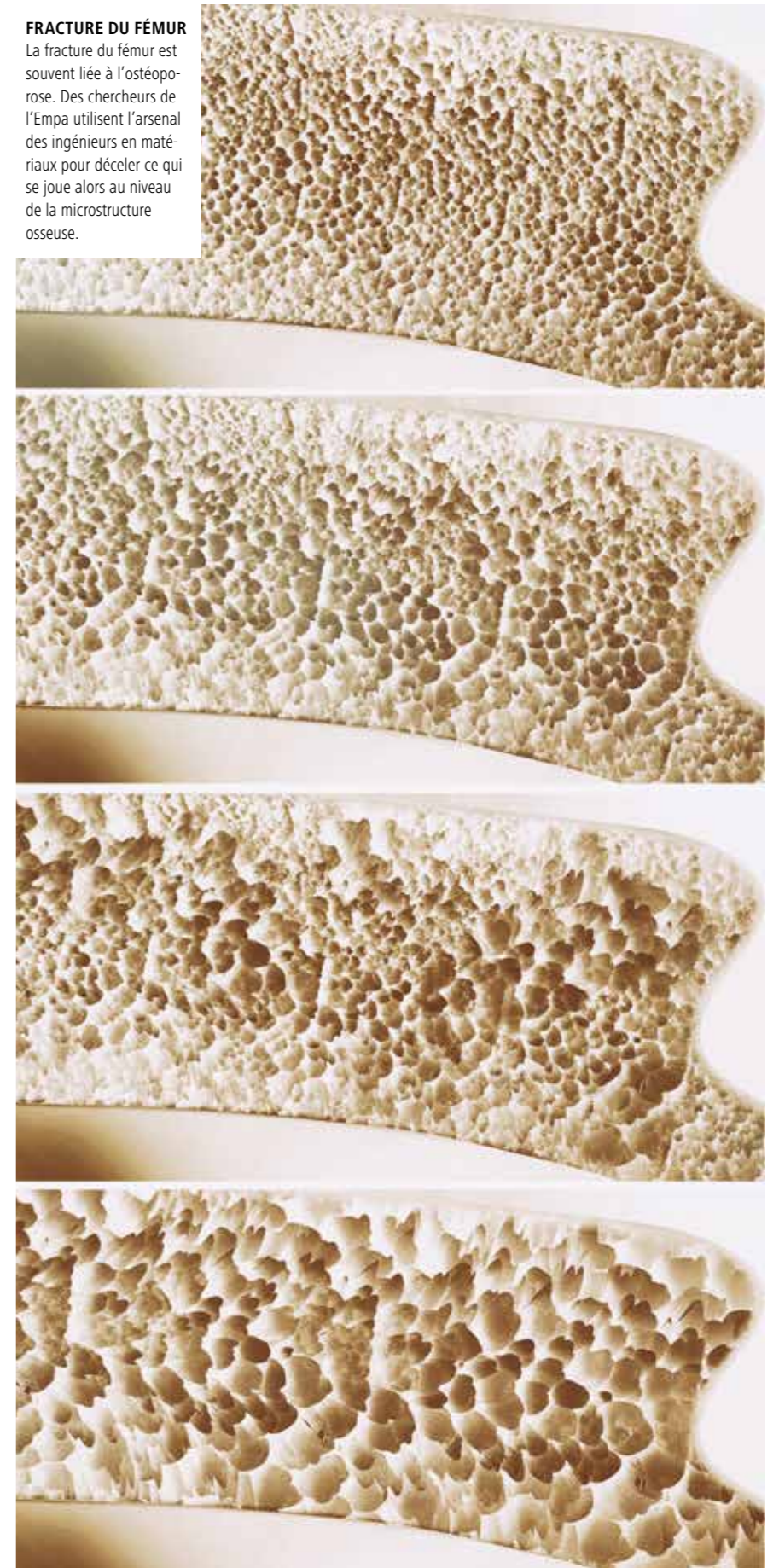


Image: istock

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s206](http://www.empa.ch/web/s206)

# MOUSSE POUR LA PLAIE

Les plaies qui peinent à se fermer et les vilaines cicatrices présentent plus qu'un problème cosmétique; elles peuvent limiter la mobilité et compromettre la santé des gens. Des chercheurs de l'Empa ont mis au point une mousse qui doit prévenir la formation de cicatrices exubérantes et accélérer la guérison des plaies. L'un de ses principaux ingrédients est un gingembre jaune: le curcuma.

Texte: Andrea Six



Une cicatrice au coude qui se tend à chaque mouvement, une plaie au pied qui ne veut simplement pas se refermer... les lésions qui peinent à guérir sont souvent handicapantes. Bien que des millions de gens soient quotidiennement concernés par ce type de problèmes, le processus de guérison des plaies n'est pas encore compris dans toute sa complexité et reste difficile à épauler. C'est pourquoi des chercheurs de l'Empa ont développé une mousse à déposer dans les plaies cutanées et qui en assiste le processus naturel de guérison.

Dans le cadre du projet «Scaravoid», Markus Rottmar et son équipe du laboratoire Biointerfaces de l'Empa ont adopté une nouvelle approche. «Les traitements traditionnels ciblent certains facteurs isolés du processus de guérison tels que l'apport d'oxygène ou le maintien de l'humidité, ce qui ne provoque qu'une réaction insuffisante», explique Rottmar. Le projet Scaravoid, qui est soutenu par la Fondation Gebert Rūf, doit permettre de comprendre et de faciliter l'ensemble du processus de guérison.

## UNE PARFAITE ORCHESTRATION

On sait que le corps doit orchestrer toute une série de facteurs pour refer-

mer une lésion cutanée et y substituer un tissu sain. Les cellules doivent être incitées à provoquer l'inflammation contrôlée qui nettoiera la plaie. Pour refermer cette dernière, il faut ensuite qu'un nouveau tissu se développe et forme de la peau fonctionnelle. Quand les conditions nécessaires sont réunies, la capacité du corps d'assurer sa guérison est surprenante; un dysfonctionnement ponctuel peut toutefois dérégler le processus. Par excès, il provoquera la formation de vilaines cicatrices, par défaut, il ne permettra pas la fermeture de la plaie. Le risque est plus élevé chez les personnes âgées ou diabétiques.

L'équipe de «Scaravoid» se sert d'une structure polymérique biologique déjà agréée pour les applications médicales et cible plusieurs des mécanismes de guérison en jeu. Le polymère est d'abord monté en mousse au moyen de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans un réacteur à haute pression; la taille des pores peut y être finement réglée en ajustant la température et la pression. La mousse agit dès son application sur la lésion: sa structure poreuse favorise la colonisation par de nouvelles cellules. Etant biodégradable, elle permet aux cellules de s'organiser selon les besoins du corps et de constituer un nouveau tissu fonctionnel.

## RENFORCER L'ÉQUILIBRE NATUREL

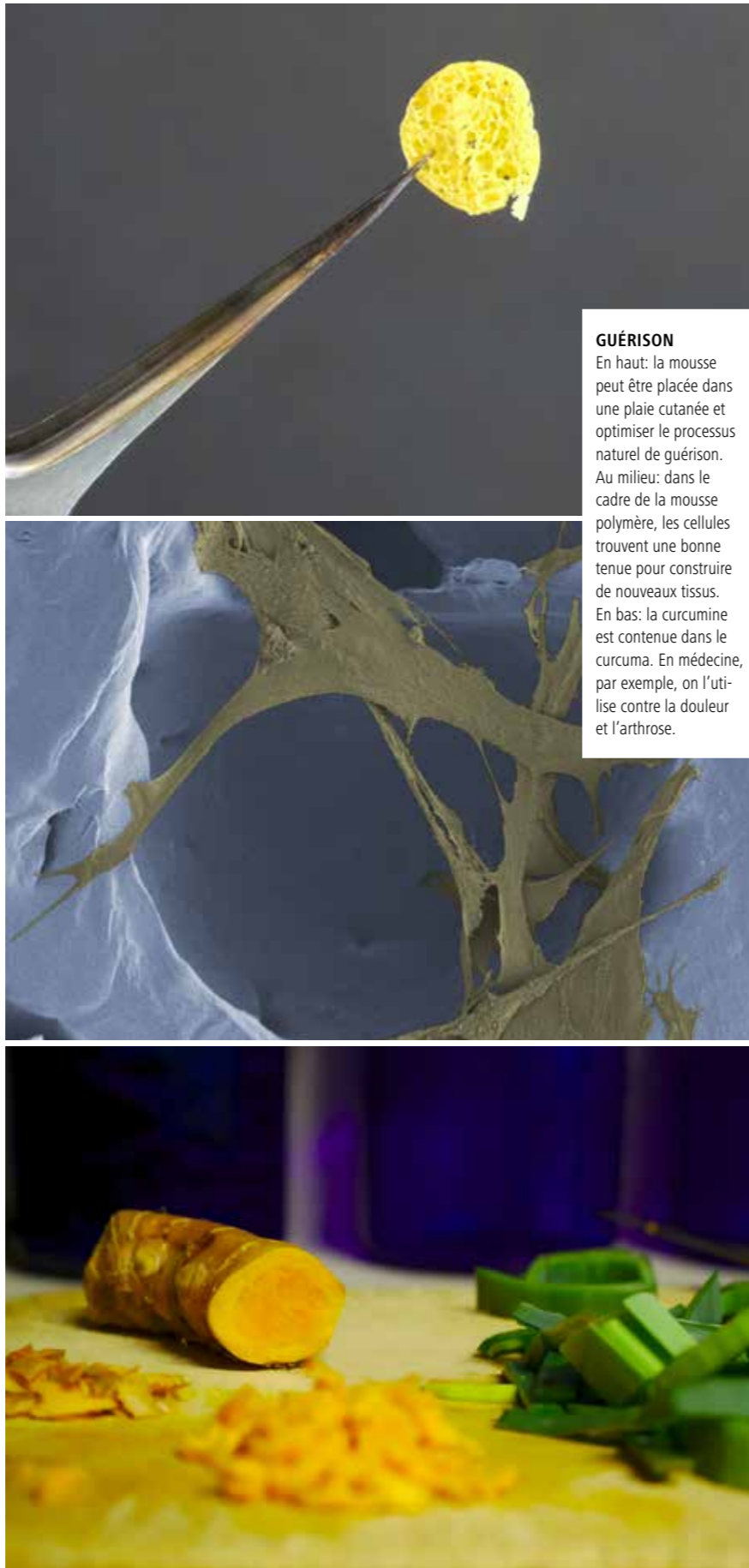
Pour éviter les cicatrices exubérantes, la mousse polymérique est enrichie d'une substance bioactive inhibant la formation de cicatrice. Il s'agit d'un produit naturel mieux connu dans nos cuisines que dans nos hôpitaux: la curcumine. La poudre de racine du curcuma sert de colorant alimentaire (sous la désignation E100) à certains produits tels que la moutarde ou la margarine et contribue beaucoup à l'arôme du curry. Sur le plan pharmacologique, la curcumine présente des vertus anti-inflammatoires intéressantes. Les chercheurs de l'Empa en ont saupoudré des cultures de cellules et observé que la production ▶

de certains biomarqueurs typiques des cicatrices s'en trouvait nettement réduite.

La curcumine est intégrée à la mousse qui la libère progressivement, régulant ainsi le comportement et la fonction des cellules qui pénètrent cette mousse, et favorisant l'équilibre naturel nécessaire à la guérison de la plaie. Les essais actuellement poursuivis en laboratoire utilisent de petits disques de polymère. Dans les applications

«Bien orchestrer les différents facteurs en jeu, telle est la condition pour qu'une lésion se referme et se transforme en tissu sain.»

cliniques, on passera à des membranes polymériques que les médecins pourront découper aux dimensions de la plaie. Elles seront d'une aide précieuse en particulier lors de lésions importantes, consécutives par exemple à un accident ou à des graves brûlures. ■



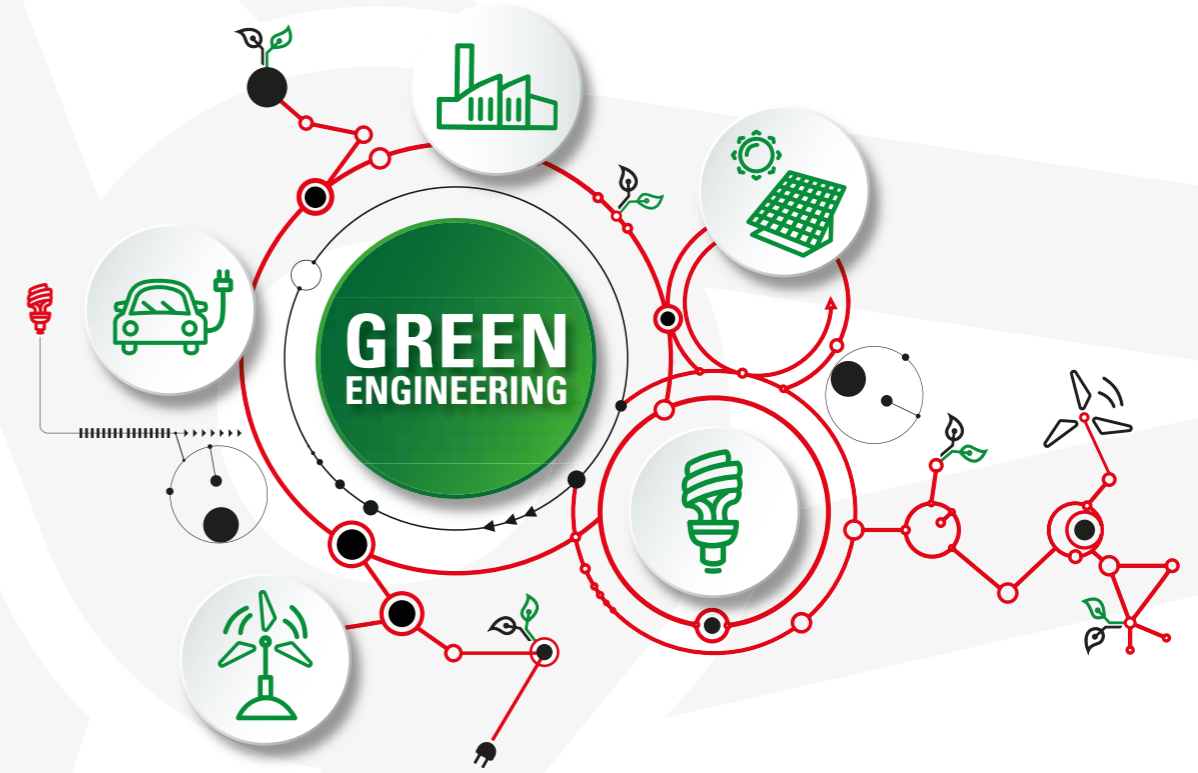
**GUÉRISON**

En haut: la mousse peut être placée dans une plaie cutanée et optimiser le processus naturel de guérison. Au milieu: dans le cadre de la mousse polymère, les cellules trouvent une bonne tenue pour construire de nouveaux tissus. En bas: la curcumine est contenue dans le curcuma. En médecine, par exemple, on l'utilise contre la douleur et l'arthrose.

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s404/](http://www.empa.ch/web/s404/)

## Green Engineering – Mit Technik gegen den Klimawandel

Hauptveranstaltung am **24. September 2019, 14.00 – 19.30 Uhr**  
Empa-Akademie, Dübendorf



Die Klimaerwärmung ist heute eine der grössten Herausforderungen für die Menschheit. Erfolgreiche Klimaschutzmassnahmen sind dringend nötig, um die CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele der UN-Klimakonferenz in Paris zu erreichen. Angesichts der nur schwer zu erreichenden Verhaltensänderungen der Menschen und dem stetig steigenden Energie-, Konsum-, Mobilitäts- und Raumbedarf sind vor allem technische Innovationen zur Reduktion der Treibhausgase gefragt. Welche sind das, welchen Beitrag können sie leisten und können die Staaten lenkend mithelfen?

Diesen Fragen gehen die Tage der Technik 2019 aus verschiedenen Blickwinkeln auf den Grund.

Die Veranstaltung ist öffentlich und kostenlos. Anmeldung bis spätestens Mittwoch, 18. September 2019 unter [www.tage-der-technik.ch](http://www.tage-der-technik.ch).

Organisation



## RÉSOLU LE CASSE-TÊTE DES ÉMISSIONS



### STATION DE MESURE

L'augmentation des émissions de CFC-11 a été notée ici: la station de mesure de Gosan en Corée.

Le chlorofluorocarbure CFC-11 est considéré comme l'une des principales substances responsables de la dégradation de la couche d'ozone stratosphérique, qui nous protège des rayons UV du soleil. Les mesures montrent que la concentration atmosphérique de CFC-11 augmente à nouveau malgré une interdiction mondiale. Mais d'où viennent-ils? Un groupe de recherche international de l'Empa a pu résoudre ce mystère: les émissions de CFC-11 pourraient clairement remonter à l'est de la Chine. Des installations illégales de production de mousse sont soupçonnées.

Pour plus d'informations: [www.empa.ch/web/s604/cfc-11](http://www.empa.ch/web/s604/cfc-11)

## RECORD MONDIAL POUR LES CELLULES SOLAIRES FLEXIBLES



Jamais auparavant une cellule solaire flexible CIGS aussi efficace n'avait été créée. Pour la première fois, les chercheurs de l'Empa atteignent une efficacité de 20,8%, battant ainsi leur propre record à partir de 2013.

Pour plus d'informations: [www.empa.ch/web/s604/cigs-record-2019](http://www.empa.ch/web/s604/cigs-record-2019)

### EFFICACE

Les chercheurs de Empa battent leur propre record du monde.

## DANGER POUR LES POUMONS

Dans le cadre d'une expérience unique, des chercheurs suisses ont étudié l'effet des particules d'échappement des turbines d'avion sur les cellules pulmonaires humaines. Les cellules ont réagi le plus fortement aux particules émises par le sol lorsque l'avion tourne au ralenti. Il a également été constaté que l'effet dommageable pour les cellules ne peut être comparé que dans une mesure limitée à l'effet des particules des moteurs à essence et diesel.

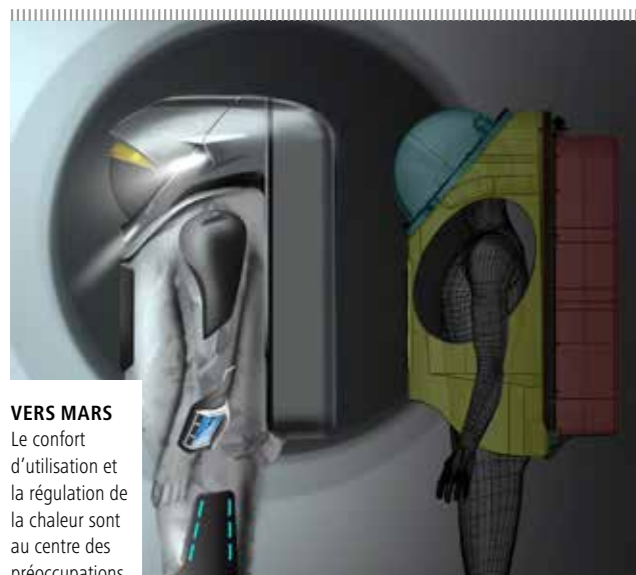
Pour plus d'informations: [www.empa.ch/web/s604/aircraft-particles](http://www.empa.ch/web/s604/aircraft-particles)



### PARTICLE

Le plus grand risque de dommages n'est pas au décollage mais au ralenti.

## CONFORTABLEMENT JUSQU'À MARS



### VERS MARS

Le confort d'utilisation et la régulation de la chaleur sont au centre des préoccupations.

En collaboration avec l'Empa, le Forum spatial autrichien (ÖFW) développe la combinaison spatiale «Serenity», un prototype de combinaison pour Mars. Les deux partenaires ont maintenant signé un accord de coopération pour travailler encore plus étroitement ensemble sur le développement du prototype. La coopération se concentre sur l'optimisation du système de confort et de régulation de la chaleur de «Serenity» basé sur les modèles de carrosserie développés à l'Empa.

Pour plus d'informations: [www.empa.ch/web/s604/mars-suit](http://www.empa.ch/web/s604/mars-suit)

### SOUILLÉ

Selon divers chercheurs, il n'y a pratiquement plus de place sans plastique dans le monde.



## MICROPLASTIQUES DANS L'EAU

Les microplastiques sont un nom familier, mais les dangers sont pratiquement inexplorés. Les chercheurs de l'Empa ont réalisé la première évaluation des risques des microplastiques dans les lacs et les rivières. L'étude conclut que les organismes aquatiques ne sont pas (encore) gravement menacés en Europe.

Pour plus d'informations: [www.empa.ch/web/s604/mikroplastik](http://www.empa.ch/web/s604/mikroplastik)

Images: ÖWF/Bernhard Kallauer Design Studio; Kyungpook National University

Images: Flisom, istock, Empa

# ENTIÈREMENT RECYCLABLE?

Les immatriculations de voitures électriques ne cessent d'augmenter. Mais que faire des batteries en fin de vie? L'association des importateurs d'automobiles auto-suisse cherche un mode de recyclage convenant à l'ensemble de la branche. Des spécialistes de l'Empa la secondent.

Texte: Rainer Klose



**D**ans un crissement métallique, les rouleaux dentés broient les batteries, en déchiquettent le boîtier de plastique, déchirent les feuillets argentés des modules lithium-polymère, réduisant le tout en poudre. Versée dans une succession de bains acides, la poudre y laisse des sels et des oxydes qui pourront être utilisés dans de nouvelles batteries. Mis sur YouTube en mai 2019, le court-métrage «Neue Recycling-Methode für Batterien aus Elektroautos» présente un procédé sans précédent: le déchiquetage de batteries lithium-ion. Il faut savoir que ces batteries sont inflammables:

Image: istock

la moindre tension électrique, une étincelle et le tout part en flammes. La société allemande Duesenfeld commence donc par décharger entièrement les batteries, puis les envoie dans une déchiqueteuse étanche où l'air a été remplacé par de l'azote. L'électrolyte liquide combustibles est évaporé et pompé, puis la poudre soutirée. Par cette voie, 96% des matériaux des batteries sont réutilisables.

A l'heure actuelle, près de 40'000 voitures électriques et hybrides à batteries lithium-ion roulent sur les routes suisses, soit 1% du parc total de véhicules. Ce nombre croît rapi-

dement. Sa part dans les nouvelles immatriculations s'est déjà accrue de 5,3% au cours des trois premiers mois de 2019. Et ce n'est qu'un début: toute une série de nouvelles voitures électriques seront lancées cette année sur le marché, dont l'Audi e-tron, la Mercedes EQC et la Peugeot e-208. Elles y rejoindront la Tesla Model 3, leader des immatriculations électriques depuis mars dernier. Le Groupe VW doit lancer sa première voiture électrique de grande série en 2020, la VW ID.3. Le moment est donc venu de réfléchir au destin des batteries des voitures accidentées ou en fin de vie.

## LE SYSTÈME DE RECYCLAGE DES IMPORTATEURS DE VOITURES

L'association auto-suisse – qui représente la majorité des importateurs suisses de voitures – en est bien consciente. En 2018, elle a demandé à l'Empa d'étudier les grandes lignes d'un système de recyclage des batteries de véhicules électriques. L'Empa avait déjà conseillé, entre autres, Swico qui s'occupe du recyclage des appareils électroniques et informatiques. Cependant, au contraire du matériel électronique, le matériel automobile n'est actuellement pas soumis à une contribution anticipée de recyclage (CAR). Auto-suisse souhaite voir la question réglée pour l'ensemble ▶

du secteur et a confié cette mission à la Fondation Auto Recycling Suisse qui s'occupe déjà depuis 1992 du démontage et du recyclage des voitures suisses.

Rolf Widmer, chercheur à l'Empa, et ses collègues du département «Technologie et Société» collaborent depuis mars 2019 avec la fondation Auto Recycling. Ils étudient les systèmes de recyclage des pays voisins, leur coût et leur empreinte écologique, ainsi que les modèles de calculs permettant d'anticiper le nombre de batteries électriques à traiter afin de choisir la stratégie la plus appropriée.

«Les batteries de véhicules accidentés peuvent prendre spontanément feu. Elles doivent être transportées comme des marchandises dangereuses.»

#### RECYCLER À CHAUD OU À FROID?

La majorité des batteries lithium-ion ne sont pas broyées à froid comme dans la méthode de Duesenfeld décrite ci-dessus, mais calcinées dans un four puis moulues. Le leader de ce marché est la société belge Umicore. Les minces feuillets de cuivre de la batterie fondent et forment un alliage valorisable avec le cobalt et le nickel. Par contre, le lithium, le graphite, l'électrolyte liquide et l'aluminium des batteries finissent dans les scories et ne sont pas économiquement réutilisables.

Outre la méthode utilisée par Umicore et le broyage à froid sous gaz neutre, il existe d'autres méthodes automatisées de démontage. Batrec Industries AG, entreprise suisse spécialiste du recyclage des batteries, en déchiquette un grand nombre en milieu humide pour prévenir les incendies. Les experts de l'Empa vont comparer toutes ces méthodes.

#### LA QUESTION DU TRANSPORT

L'étude du meilleur système de recyclage ne se limite pas à la réduction en miettes des batteries, elle inclut également la mise sur pied de toute la chaîne de livraison. «Les batteries de véhicules accidentés peuvent prendre spontanément feu. Classées "marchandise dangereuse", elles doivent être transportées dans des conteneurs spéciaux», explique Daniel Christen, directeur de la Fondation Auto Recycling Suisse. «C'est compliqué et coûteux», ajoute-t-il. C'est pourquoi il cherche une manière plus simple et avantageuse de neutraliser les batteries et de les acheminer vers les centres de retraitement.

Plusieurs pistes ont déjà été explorées: la société Blubox Trading AG de Birrwil importe les «Firebox» de fabrication hollandaise. Il s'agit d'un conteneur équipé d'une installation d'extinction et pouvant accueillir toute une voiture ou une cargaison de batteries pas encore neutralisées.

Il s'agit enfin de former les expéditeurs et les recycleurs de voitures à la prévention des risques que présentent les voitures électriques et leurs batteries. Il existe déjà pour les équipes de secours une base de données contenant les informations nécessaires: les pompiers peuvent indiquer sur leur tablette le numéro des plaques d'un véhicule et, s'il s'agit d'une voiture électrique, obtenir en retour des indications sur l'emplacement des batteries et la manière de les retirer. Ces informations ont déjà permis de démonter des voitures électriques en toute sécurité.

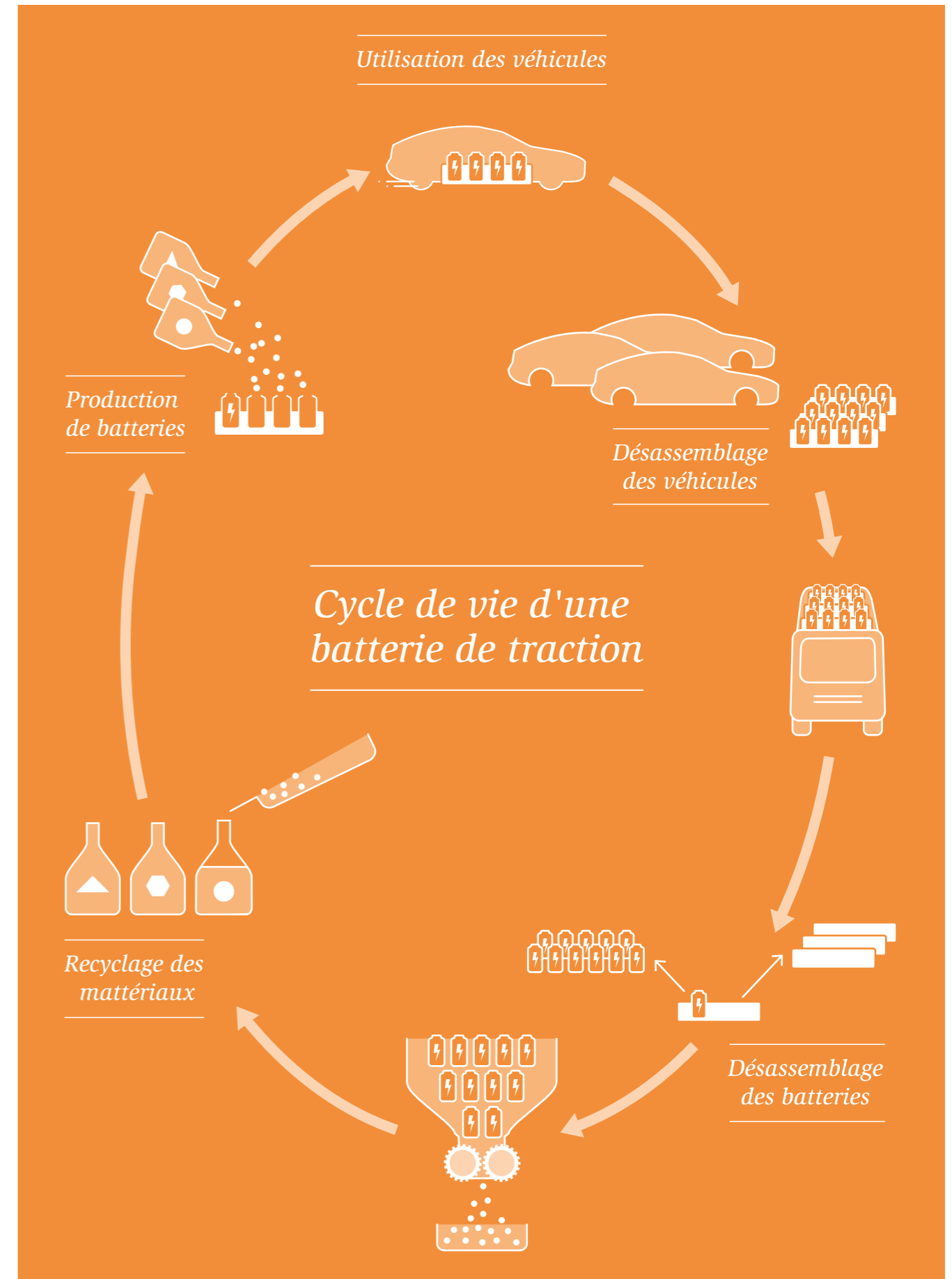
#### IL RESTE ENCORE BIEN DES QUESTIONS

On est cependant loin d'avoir résolu toutes les questions liées à la mise sur pied d'un système de recyclage. Quelle va être l'évolution du marché des batteries d'occasion? Sera-t-il une fois

rentable de remplacer les modules en fin de vie d'un pack puis de remettre le pack en vente, comme on le fait avec des boîtes à vitesse ou des moteurs remis à neuf? Ou bien ces batteries auront-elles une seconde vie dans le stockage stationnaire du courant électrique? La grande vague des batteries hors d'usage n'arrivera-t-elle donc qu'avec quelques années de retard aux points de retraitement? La Suisse a-t-elle besoin d'une grande capacité de retraitement ou les fabricants (étrangers) de voitures vont-ils récupérer et traiter eux-mêmes la majorité des batteries? Cela va évidemment dépendre du coût des matières premières, en particulier du lithium, du cobalt, du nickel et du graphite, tout comme du prix et des performances des nouveaux types de batteries, ainsi que des conditions cadre et des directives édictées par les instances politiques.

La bonne nouvelle, c'est que les voitures électriques ne posent pas un casse-tête au recyclage. Toutes les étapes de la revalorisation de leurs composants sont techniquement maîtrisables. Un bataillon de spécialistes y travaille déjà. ■

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s506/](http://www.empa.ch/web/s506/)



Grafik: Hug & Dorfmueller Design AG

# DE L'ÉNERGIE INTELLIGEMMENT RÉPARTIE

Le système énergétique change: la disponibilité constante de l'énergie au bon endroit et au bon moment devient de plus en plus complexe. En même temps, la numérisation nous fournit de nouveaux outils pour contrôler les flux d'énergie de manière plus optimale. La nouvelle plateforme de recherche «ReMaP» de l'ETH Zurich, l'Institut Paul Scherrer (PSI) et l'Empa veulent contribuer à une meilleure compréhension des systèmes énergétiques en réseau.

Texte: Stephan Kälin

Comment gérer l'énergie solaire qui ne peut être utilisée directement par une belle journée d'été ? Quelles solutions de stockage sont judicieuses ? Quand une conversion en hydrogène ou en un autre vecteur d'énergie est-elle judicieuse et qu'est-ce que cela signifie pour le réseau de distribution ? Les grandes tendances de la recherche énergétique actuelle ont été identifiées : La production d'énergie est de plus en plus décentralisée. L'électricité devient de plus en plus importante - dans la mobilité, mais aussi pour l'approvisionnement en chaleur. Les solutions numériques de mesure et de contrôle des flux d'énergie et l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) créent de nouvelles opportunités pour réduire la consommation d'énergie et pour une distribution optimale.

Les chercheurs en énergie de l'ETH Zurich, de l'Institut Paul Scherrer (PSI) et de l'Empa travaillent intensivement sur ces tendances et sur la conception d'un futur système énergétique. Ces dernières années, la plate-forme de recherche énergétique "ehub", le démonstrateur de mobilité "move" et le bâtiment de recherche et d'innovation "NEST" ont été construits à l'Empa à Dübendorf. Ensemble, ces plates-

formes forment un quartier animé qui permet aux nouvelles technologies d'être mises en œuvre, exploitées et validées dans un environnement réel. Parallèlement, le PSI de Villigen a créé la plate-forme de test "Energy System Integration" (ESI), qui traite également des nouvelles solutions de stockage et de conversion de l'énergie. Sous la direction du Centre des sciences de l'énergie de l'ETH Zurich, ces infrastructures seront réunies dans une nouvelle plate-forme de recherche appelée "ReMaP" ("Renewable Management and Real-Time Control Platform") et portées à un nouveau niveau. Un modèle numérique de toutes les installations permettra de simuler les idées des chercheurs avant qu'elles ne soient réellement mises en œuvre. Le ReMaP a été lancé fin 2018 et se développe progressivement.

## ÉTABLIR PLUS RAPIDEMENT DE NOUVELLES APPROCHES SUR LE MARCHÉ

"En mettant en réseau les plateformes et en combinant les données de recherche, nous créons de nouvelles opportunités pour la recherche sur l'énergie d'un point de vue systémique", déclare Philipp Heer, chef de projet ehub et ReMaP de l'Empa. "La mise en œuvre effective d'ap-

proches innovantes sur la plate-forme de recherche est destinée à contribuer à établir ces approches sur le marché de l'énergie plus rapidement et sans risque".

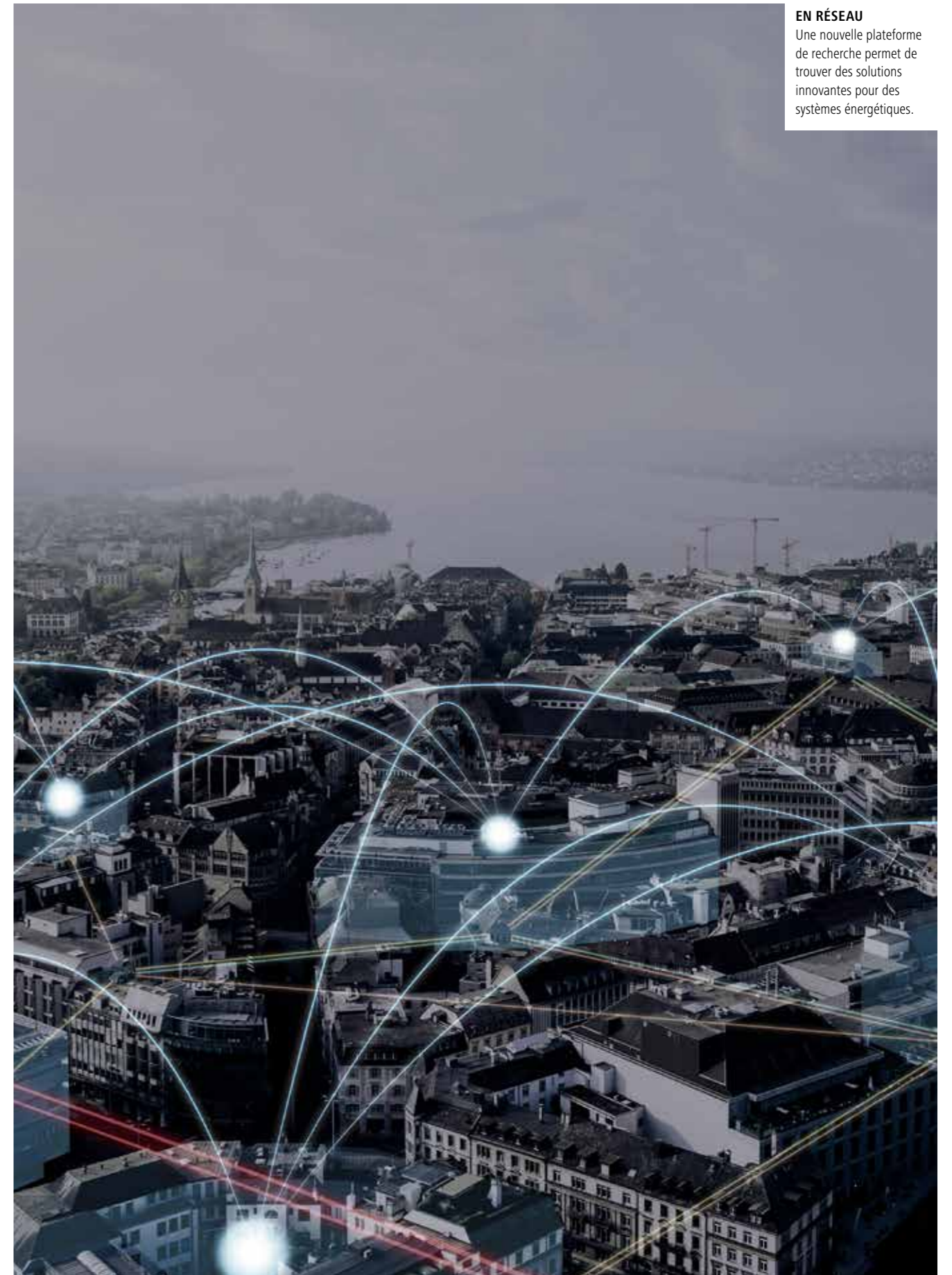
Une dizaine de projets de recherche sont déjà en cours. L'un d'eux, par exemple, combine les batteries stationnaires du NEST avec le système "Power-to-Gas" du PSI et étudie l'interaction optimale de ces solutions de stockage pour l'électricité excédentaire. Un autre projet se penche sur la question de savoir à ce qu'un consommateur d'énergie individuel - tel qu'un locataire - accorde plus de poids à sa vie privée ou aux coûts énergétiques les plus bas possibles. Des compteurs d'électricité et des dispositifs de stockage intelligents permettent de tirer des conclusions sur le comportement du consommateur, ce qui peut servir à concevoir de manière optimale le réseau électrique.

Le ReMaP est soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et l'ETH Foundation. Le ReMaP est également ouvert à d'autres universités, collèges et entreprises. ■

Pour plus d'informations:  
[www.empa.ch/web/s604/remap](http://www.empa.ch/web/s604/remap)

Image: ikonaut

**EN RÉSEAU**  
Une nouvelle plateforme de recherche permet de trouver des solutions innovantes pour des systèmes énergétiques.



# DES ÉOLIENNES EN PLEIN CIEL

Pour capter l'énergie éolienne, il n'est pas indispensable d'ériger des mâts d'acier supportant d'immenses hélices: des cerfs-volants retenus par des filins peuvent s'en charger. La spin-off TwingTec de l'Empa étudie cette technologie depuis plusieurs années. L'automne dernier, son cerf-volant a passé le cap du décollage autonome, suivi d'un vol générateur d'électricité, puis d'un retour autonome à sa base. La commercialisation de la technologie ne relève plus de l'utopie.

Texte: Rainer Klose

**S**i vous avez déjà joué avec un cerf-volant, vous connaissez cette sensation: le vent s'en empare et tend la ligne; vous lâchez un peu la ligne et elle vous file entre les doigts de manière difficilement contrôlable. Peut-on utiliser cette énergie pour produire du courant électrique?

Eh bien oui! Rolf Luchsinger, directeur de la spin-off TwingTec de l'Empa créée en 2013, l'a démontré. TwingTec est l'une des premières entreprises à s'être engagée dans le développement d'éoliennes aéroportées et ne quitte pas le peloton de tête. Elle occupe neuf collaborateurs à son siège de Dübendorf.

## CYCLES DE VOLS ASCENDANTS

L'idée initiale est simple, mais sa mise en œuvre est épineuse. Les météorologues savent qu'à 500 mètres, le vent souffle jusqu'à quatre fois plus fort qu'à 120 mètres, hauteur du moyeu des éoliennes modernes. Un cerf-volant relié par un filin à un tambour couplé à un

générateur pourrait exploiter ce vent en se faisant emporter vers le ciel dans un mouvement hélicoïdal. Lorsque le filin serait entièrement déroulé, le cerf-volant redescendrait vers son point d'attache, laissant le filin se ré-enrouler autour du tambour, après quoi le cerf-volant reprendrait son ascension. «Le grand défi n'est pas le vol en soi, précise Luchsinger, mais l'automatisation du décollage et de l'atterrissage.» En effet, une centrale à cerf-volant devrait pouvoir fournir du courant sans l'aide de personne.

## SUCCÈS DU VOL AUTOMATISÉ

Cette idée a fait l'objet d'une démonstration en automne 2018 sur les hauteurs de Chasseral, en Suisse romande. Le prototype TwingTec T 28, un engin de trois mètres d'envergure, est parti dans le ciel en toute autonomie, a produit de l'électricité pendant 30 minutes puis est revenu se poser de lui-même sur sa plateforme. L'étape suivante est maintenant de produire du courant en continu. L'équipe de Luchsinger travaille actuellement ▶



### TWINGTEC

Vol d'essai parfaitement réussi en automne 2018 sur les hauteurs de Chasseral: le prototype TwingTec T 28 de 3 mètres d'envergure a pris son envol de manière autonome à partir de son véhicule de base, s'est élevé dans le ciel, y a tourné 30 minutes en produisant de l'électricité avant de se reposer de lui-même sur sa plateforme de départ.



sur le prototype T 29 qui, cet automne, devra pouvoir rester en service sur une longue durée. T 29 devra non seulement décoller et atterrir automatiquement, mais fournir 10 kW et les injecter dans le réseau. Le groupe des forces motrices bernoises BKW se chargera de distribuer le courant généré par l'expérience.

Le chemin à parcourir entre les premières esquisses et le premier kilowattheure injecté dans le réseau s'est avéré long

«Notre éolien n'est pas destiné aux régions densément peuplées. Nos clients potentiels, ce sont les mines, les communautés isolées, les îles.»

et tortueux. L'idée initiale était d'utiliser un cerf-volant dirigeable renforcé à l'air comprimé, à la manière du Kite-Surfing. L'étude d'une série de prototypes a réorienté les chercheurs vers une structure à ailes rigides. La commande multi-filins a été abandonnée en faveur d'une commande à volets de type avion. Le décollage et l'atterrissage sont assurés par de petits rotors, comme sur les drones. En 2014, TwingTec a obtenu un brevet innovant sur le décollage et l'atterrissage des cerfs-volants producteurs d'électricité, actuellement enregistré dans plusieurs pays.

L'avenir des cerfs-volants producteurs d'électricité semble assuré à en juger par le nombre des concurrents en lice. En Europe, dix start-ups et plusieurs équipes universitaires et de hautes écoles techniques y travaillent. Toutes sont membres de l'association «Airborne Wind Europe» qui organise une grande conférence tous les deux ans. La prochaine se tiendra à Glasgow à la mi-octobre.

**FONDATEUR**  
Rolf Luchsinger,  
PDG de TwingTec,  
aux côtés du  
prototype T 29.



**OBJECTIF : LA COMMERCIALISATION**

TwingTec ne saurait donc laisser le temps filer et attaque déjà l'étape suivante. Les connaissances acquises par les essais en vol du T 29 doivent conduire à la première production en série, celle du TT100, un cerf-volant de 15 mètres d'envergure. Fixé sur un conteneur standard, il doit décoller et atterrir automatiquement et délivrer jusqu'à 100 kW de puissance électrique, soit assez pour alimenter 60 maisons individuelles.

Il y a cependant peu de chances que les cerfs-volants envahissent le Plateau suisse. «Notre éolien n'est pas destiné aux régions densément peuplées», précise Rolf Luchsinger, CEO de TwingTec. Les clients intéressés par ce type de production durable d'énergie habitent des lieux isolés. «Nos clients potentiels, ce sont les mines, les communautés isolées, les îles. Autant d'endroits qui utilisent actuellement des générateurs diesel bruyants, polluants et dont le carburant doit être acheminé au prix fort.» Des cerfs-volants TwingTec autonomes permettraient d'économiser du carburant et, à moyen terme, de produire l'intégralité de l'énergie nécessaire. A long terme,

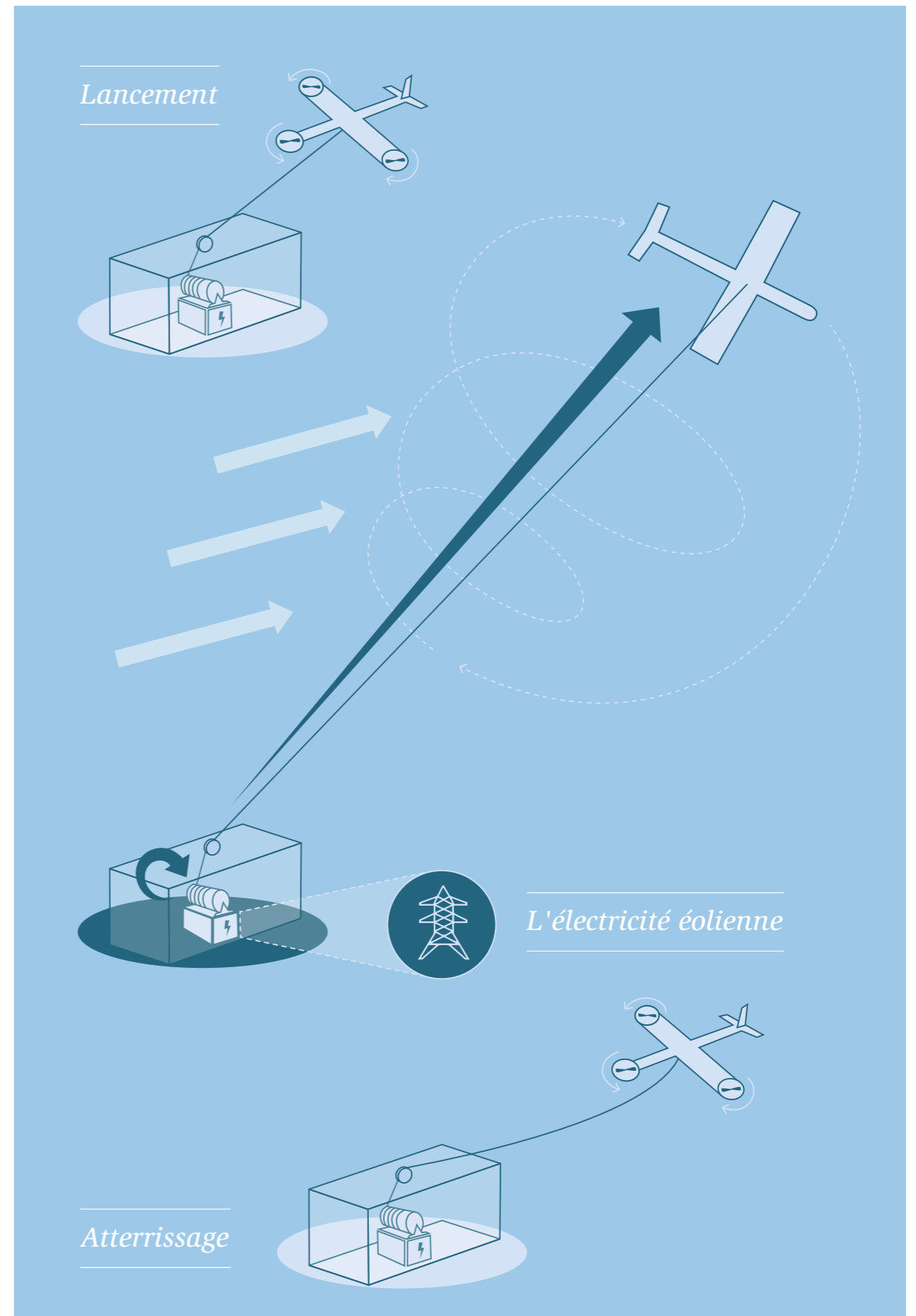
les plans de Luchsinger sont encore plus ambitieux: installer des parcs flottants de cerfs-volants sur la mer. La place et le vent n'y manquent pas, et personne n'est dérangé... les conditions idéales pour engager le virage énergétique.

La production en série nécessite toutefois d'importants capitaux. Le prototype T 29 qui, cet automne, doit prendre son envol sur le Chasseral, a reçu le soutien de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Pour la phase suivante, la commercialisation, TwingTec est actuellement en quête d'investisseurs privés et de partenaires du secteur de l'énergie avec qui exploiter pleinement le potentiel énergétique du vent. ■

Pour plus d'informations:  
[www.twingtec.ch](http://www.twingtec.ch)

Images: Twingtec, Empa

Grafik: Hug & Dorfmueller Design AG



## SWISSLOOP RELIES ON CLAUDE NICOLLIER



**FAST**  
The Hyperloop Pod of the Zurich students with the development team and guest of honor Claude Nicollier

On 21 July, Swissloop, an association of students from ETH Zurich and other Swiss universities, will again compete against teams from all over the world at the international Hyperloop Pod Competition in Los Angeles. At Empa, Swissloop presented its completely new Pod to the public for the first time. A great honor for the inventors: Claude Nicollier himself personally took the opportunity to accompany the transport capsule named after him at its inauguration.

[www.empa.ch/web/s604/swissloop-pod](http://www.empa.ch/web/s604/swissloop-pod)

## TWO NOMINATIONS AND ONE AWARD

For 13 years, the building foundation has been committed to young engineers in the construction industry – including the awarding of the "Building Award" for remarkable and innovative engineering achievements in construction. This year, two Empa projects were nominated for the award in the "Research and Development" category: The shape memory alloy "memory steel" and the modular research and innovation building NEST by Empa and Eawag. The NEST team received the award at the KKL Lucerne.

[www.empa.ch/web/s604/building-award](http://www.empa.ch/web/s604/building-award)



**NEST**  
Carina Doll, Eawag, and Peter Richner, Deputy Director of Empa, accept the Building Award.

Photos: Empa (2), Swissloop



**CREATIVE**  
Still life with fruit spy combines work of art and science.

## RESEARCH NEEDS CREATIVITY

Natural science and art are closer than you might think. Empa researchers supplied three works of art for the "Artsci 2019" art and science exhibition at ETH Zurich. The audience and experts were enthusiastic about the imaginative materials researchers. "The fruit spy that came from the cold" by Professor Thijs Defraeye was even awarded the audience prize.

[www.empa.ch/web/s604/artsci2019](http://www.empa.ch/web/s604/artsci2019)

## EVENTS (IN GERMAN)

26.–28. AUGUST 2019

Tagung: 2<sup>nd</sup> Swiss & Surrounding Battery Days

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie

[www.empa-akademie.ch/swissbattery](http://www.empa-akademie.ch/swissbattery)

Empa, Dübendorf

6. SEPTEMBER 2019

Kurs: Klebtechnik für Praktiker

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.empa-akademie.ch/klebtechnik](http://www.empa-akademie.ch/klebtechnik)

Empa, Dübendorf

12.–13. SEPTEMBER 2019

Tagung: Welcome to nano-scale: from science to health application

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie

[www.empa-akademie.ch/nano-scale](http://www.empa-akademie.ch/nano-scale)

Empa, Dübendorf

24. SEPTEMBER 2019

Tage der Technik: Green Engineering – Mit Technik gegen den Klimawandel

Zielpublikum: Öffentlichkeit

[www.tage-der-technik.ch](http://www.tage-der-technik.ch)

Empa, Dübendorf

25. SEPTEMBER 2019

Kurs: Die Wärmebehandlung, ein "Werkzeug" zur gezielten Einstellung von Eigenschaften

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.empa-akademie.ch/waerme](http://www.empa-akademie.ch/waerme)

Empa, Dübendorf

Details and further events at  
[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



**Empa**

Materials Science and Technology