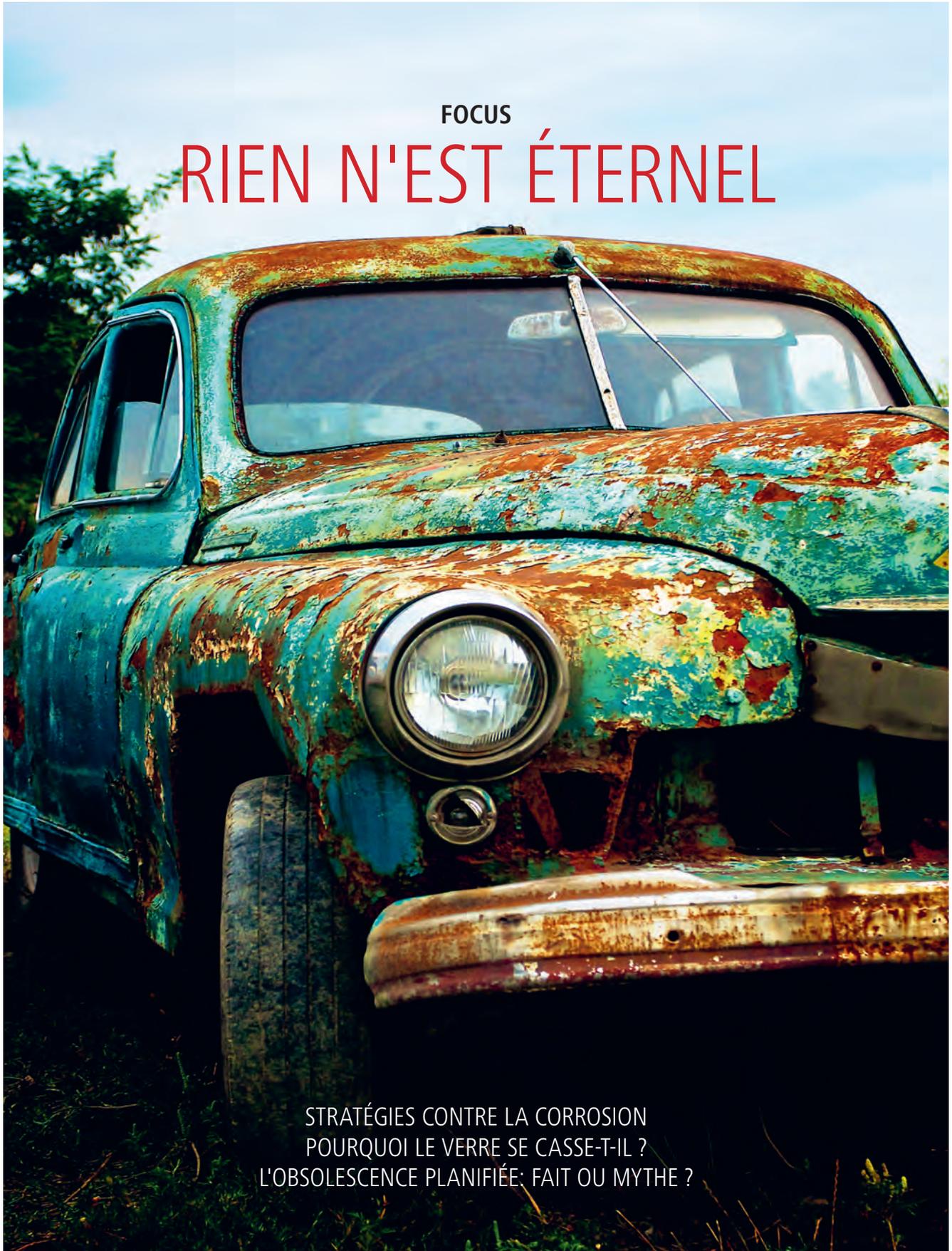


Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #66 II OCTOBRE 2019

FOCUS

RIEN N'EST ÉTERNEL



STRATÉGIES CONTRE LA CORROSION
POURQUOI LE VERRE SE CASSE-T-IL ?
L'OBSOLESCENCE PLANIFIÉE: FAIT OU MYTHE ?

www.empaquarterly.ch

[CONTENT]

[FOCUS: RIEN N'EST ÉTERNEL]



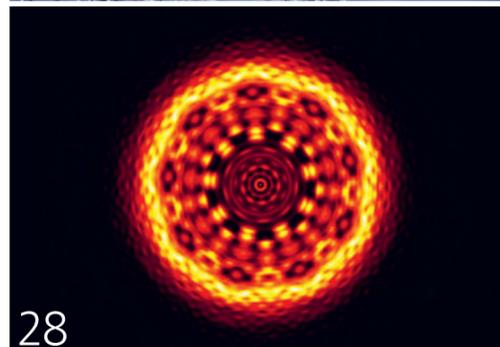
18



10



32



28



06

Photos: Unsplash, Empa

[FOCUS]

06 CORROSION
Prévenir les défaillances matérielles avant qu'une catastrophe ne se produise

10 VERRE
Sur la piste des propriétés de rupture

13 ÉLECTRONIQUE
L'obsolescence planifiée: fait ou mythe?

[THÈMES]

18 BOIS
De la matière première renouvelable à la matière high-tech

21 IMPLANTER
Vis orthopédiques avec surfaces fonctionnalisées

24 PORTRAIT
Jean-Marc Wunderli fait des recherches sur la protection contre le bruit

28 GUÉRISON DU SOL
Regarder à travers le trottoir avec un rayonnement de terahertz

30 MOBILITÉ
Une commande de soupapes innovante qui permet d'économiser jusqu'à 20% de carburant

32 MUSIQUE
Trombones historiques fidèlement recréés

[RUBRIQUES]

04 LA PHOTO

16 BRIÈVEMENT

34 EN ROUTE

[COUVERCLE]



Lorsque le matériau se corrode, il perd d'importantes propriétés – et peut se rompre. L'Empa s'efforce de comprendre ces processus et, si possible, de les prévenir...
Image: 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)



No. 01-19-120301 – www.myclimate.org
© myclimate – The Climate Protection Partnership



Photo: istock

SUR LA PRÉCARITÉ DE TOUTE CHOSE

Chère lectrice, cher lecteur,



En principe, il n'y a qu'une direction: vers le bas. A peine un objet a-t-il pris forme que Chronos se met à le ronger. On peut protéger les objets, mais cela nécessite des moyens.

On entend souvent dire qu'avant, c'était mieux, que les objets duraient plus longtemps. Le soupçon s'est installé que des entreprises avides d'augmenter leurs ventes programment leurs produits pour qu'ils tombent en panne à une échéance donnée. La vérité est plus complexe, comme le montre notre article en page 13.

Le vieillissement et la fatigue jouent un rôle important dans l'étude des matériaux. Il est indispensable d'en comprendre les mécanismes dans le moindre détail si l'on veut évaluer une durée de vie ou prévenir une défaillance par une réparation ou par un renfort. C'est en quoi l'analyse de catastrophes comme celle du pont Morandi de Gênes est riche en enseignements.

Réciproquement, une bonne connaissance des vulnérabilités de la matière et des systèmes aide les chercheurs dans l'étude de matériaux devant résister au vieillissement, à la dégradation ou à l'effondrement (page 6). Il peut également arriver que l'on souhaite la progressive désagrégation d'un matériau! Voyez l'exemple des vis chirurgicales qui, en disparaissant, épargnent aux patients une seconde opération (page 21).

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

Votre MICHAEL HAGMANN



DES NUAGES FIGÉS

Les aérogels sont les solides les plus légers connus. Ces structures nanoporeuses permettent d'envisager beaucoup d'applications en pharmacie, en isolation thermique et en catalyse. Composé de cellulose – le polymère de loin le plus répandu du monde – et doté de propriétés intéressantes telles que d'être biodégradable et recyclable, ce produit n'est pas un aérogel traditionnel. Son extrême légèreté volumétrique et sa transparence le rendent comparable à un nuage.

Pour plus d'information:
www.empa.ch/de/web/s604/aerogel

Photo: Deepjanshu Sivaraman et Michal Ganobjak

RIEN NE DURE ÉTERNELLEMENT

Le mot «corrosion» vient du latin «corrodere», ronger. Il désigne la détérioration progressive d'un matériau par l'effet de substances agressives présentes dans l'environnement. Les spécialistes de l'Empa sont à l'avant-garde de l'étude de ce genre de phénomènes et trouvent souvent le moyen d'y remédier avant qu'ils ne provoquent des catastrophes telles que celle de Gênes.

Texte: Rainer Klose



LA CORROSION EST UNIVERSELLE

Elle ronge les infrastructures et coûte des milliards. Elle ne se limite pas aux métaux classiques, elle se manifeste dans les nouveaux matériaux composites et les couches fines. L'Empa sait répondre à ces problèmes.

Le maître d'œuvre d'un nouveau site industriel de production d'appareils high-tech n'en croyait pas ses yeux: des kilomètres de nouvelles conduites d'air comprimé et de refroidissement en acier inox et aluminium ayant coûté plusieurs centaines de milliers de francs présentaient des signes de corrosion avant même la fin du chantier. Quel phénomène avait pu dégrader les matériaux aussi rapidement? Des experts de l'Empa se sont penchés sur l'ensemble du système. Avait-on employé des matériaux de construction corrosifs, des produits de nettoyage suspects ou avait-on simplement mal choisi les matériaux des conduites? Le coupable a finalement pu être identifié: un flacon dans une camionnette. Au lieu d'un liquide de contrôle d'étanchéité professionnel, l'équipe de montage employait un produit de nettoyage universel vendu en supermarché et dont la mousse leur signalait certes les fuites... mais contenait des acides et des chlorures qui ont attaqué les métaux.

Changement de décor: une école en Suisse orientale pendant les vacances de printemps 2019. Procédant à des nettoyages, le concierge constate que les fixations des lampes de la salle de gymnastique présentent des marques de corrosion. La direction demande l'avis de l'architecte qui a naguère supervisé le chantier. Celui-ci s'adresse à l'Empa. On démonte alors l'habillage du plafond et découvre que toute la structure métallique est attaquée. Quelques années auparavant, des ouvriers n'ayant pas connaissance de la problématique liée aux mousses de résine phénolique avaient perforé cette isolation pour poser des crochets métalliques. L'humidité ambiante a par la suite diffusé dans l'isolation, laquelle a dégagé des acides puissants qui ont rouillé les crochets en profondeur. Le plafond suspendu se serait tôt ou tard effondré.

Photo: iStock

INGÉNIEURS ET SCIENTIFIQUES – DEUX SENSIBILITÉS, UNE MÊME PRÉOCCUPATION

Ces cas d'expertise constituent-ils le quotidien des chercheurs spécialisés en corrosion? Seraient-ils les pathologistes de l'industrie de la construction, les médecins légistes des matériaux, des limiers traquant un coupable? Pas du tout. Leur champ d'action est beaucoup plus vaste et couvre toute l'interface entre science des matériaux et construction d'une part, chimie et physique d'autre part. Nos chercheurs sont à la fois ingénieurs et scientifiques. Ils ne se concentrent pas uniquement sur le passé, ses erreurs et leurs conséquences, mais planchent également sur l'avenir.

Prenons comme exemple l'économie de l'hydrogène. Dans les années à venir, le virage énergétique nécessitera la conversion d'importants surplus de courant électrique en hydrogène. C'est un moyen important de stocker l'énergie solaire et éolienne estivale pour l'hiver. Il faut pour cela prévoir de grands réservoirs, mais également penser aux conduites, vannes, stations-service, moyens de transport et autres équipements comme les compteurs de livraison. Tout cela est majoritairement construit en acier de haute qualité résistant à des pressions de plusieurs

COURS «ELEKTROCHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG UND KORROSION» (en allemand)

Une journée consacrée à ce sujet est organisée le 7 février 2020 à l'Académie de l'Empa à Dübendorf. Le cours commencera par une introduction à la corrosion et aux principales méthodes de mesure électrochimique. En fin de journée, les participantes seront à même d'identifier les grands types de corrosion et connaîtront les paramètres de corrosion mesurables par les techniques électrochimiques. Informations et inscriptions: <https://bit.ly/2kfuEK9>

centaines d'atmosphères muni de joints d'une étanchéité capable de prévenir toute fuite pendant des années. Le problème est que l'hydrogène peut s'infiltrer dans de nombreux aciers qu'il fragilise déjà à température ambiante. A partir de 300° C, il réagit en plus chimiquement avec le carbone de l'acier, ce qui dégrade la qualité de l'alliage. L'Empa a déjà entrepris l'étude des mécanismes de «fragilisation par l'hydrogène» et développe des matériaux destinés à l'approvisionnement énergétique de l'avenir.

DÉTECTION DE LA CORROSION PAR MICROCAPTEURS ÉLECTROCHIMIQUES

L'hydrogène ne naît cependant pas que de la volonté humaine! Les phénomènes de corrosion peuvent en engendrer, le laisser s'infiltrer dans les matériaux et en quantité minimale fragiliser localement leur structure. Pour comprendre ces mécanismes et comment les prévenir, les chercheurs doivent zoomer sur la microstructure du matériau et analyser les réactions chimiques en jeu dans les domaines microscopiques attaqués. L'Empa a développé pour cela un microcapteur électrochimique capable d'analyser des surfaces inférieures au cent millième de millimètre carré et d'y détecter une quantité de moins d'un millionième de pourcent en masse d'hydrogène. Cette méthode permet d'étudier certaines zones critiques d'éléments de construction fragilisés par de l'hydrogène atomique et donc sujet à une défaillance. Exemple: les joints de soudure.

L'équipe du laboratoire «Technologie des assemblages et corrosion» de l'Empa que Lars Jeurgens dirige depuis 2012 poursuit une double activité de recherche d'une part, et de prestations de services pour l'industrie d'autre part. «Avec nos diplômés des EPF de Zurich et de Lausanne, nous pouvons profiter du savoir cumulé de deux grandes écoles d'ingénieurs», se réjouit-il. Lui-même vient des Pays- ▶

Bas et a longtemps travaillé à l'Institut Max-Planck de Stuttgart. «La corrosion ignore les frontières, nous entretenons des relations avec des experts universitaires et de l'industrie de plusieurs pays et échangeons nos découvertes récentes et nos méthodes. Ce partage est très précieux, il nous permet de résoudre plus facilement et plus rapidement des problèmes souvent fort complexes.»

CE N'EST PAS LE TRAVAIL QUI MANQUE

Les spécialistes en corrosion ne sont jamais à cours de travail. Ainsi, l'industrie automobile et l'aviation utilisent toujours plus de matériaux composites mêlant matériaux en tous genres. Leur tenue à la corrosion dans des environnements opérationnels parfois extrêmes est mal connue. Les alliages d'acier, de titane et d'aluminium sont aussi très utilisés. Ils doivent cependant leur résistance à la corrosion à une couche d'oxyde inerte nanométrique qui leur sert de peau et qu'on ne peut mettre en évidence – à fin d'optimisation – que par des méthodes d'analyse de surface avancées.

«La corrosion doit figurer en bonne place sur les checklists – pas en queue de liste – et cela dès les premières études».

Finalement, l'application de revêtements fonctionnels dans les circuits et composants électroniques miniaturisés engendrent de nouvelles inconnues en terme de mécanismes de corrosion. Lars Jeurgens cite l'exemple suivant: «Lorsque la couche anticorrosion d'une turbine perd un centième de millimètre par année, ce n'est pas un problème. Mais si, dès le

départ, la couche protégeant la composante électronique n'a qu'un centième de millimètre d'épaisseur, elle aura complètement disparu après une année. Ce qui semble résister à la corrosion à grande échelle doit être considéré différemment à l'échelle du micron. Il nous faut donc revoir la manière de fixer les échelles de susceptibilité à la corrosion.»

LE CORPS HUMAIN ÉGALEMENT CONFRONTÉ À LA CORROSION?

Les phénomènes de corrosion se manifestent aussi là où on les attendrait le moins: à l'intérieur de notre corps, avec ses liquides tempérés et apparemment inoffensifs. Les experts de l'Empa étudient les dégâts que la corrosion localisée peut occasionner sur des matériaux tels que les aciers inoxydables et les alliages de titane présents dans de nombreuses prothèses ainsi que pour le silicium utilisé dans de nombreux nouveaux composants implantés. Les larges surface lisses y sont peu susceptibles; en revanche, les micro-crevasse parfois liées au design ou à la fabrication peuvent générer des attaques de corrosion induites par les liquides physiologiques.

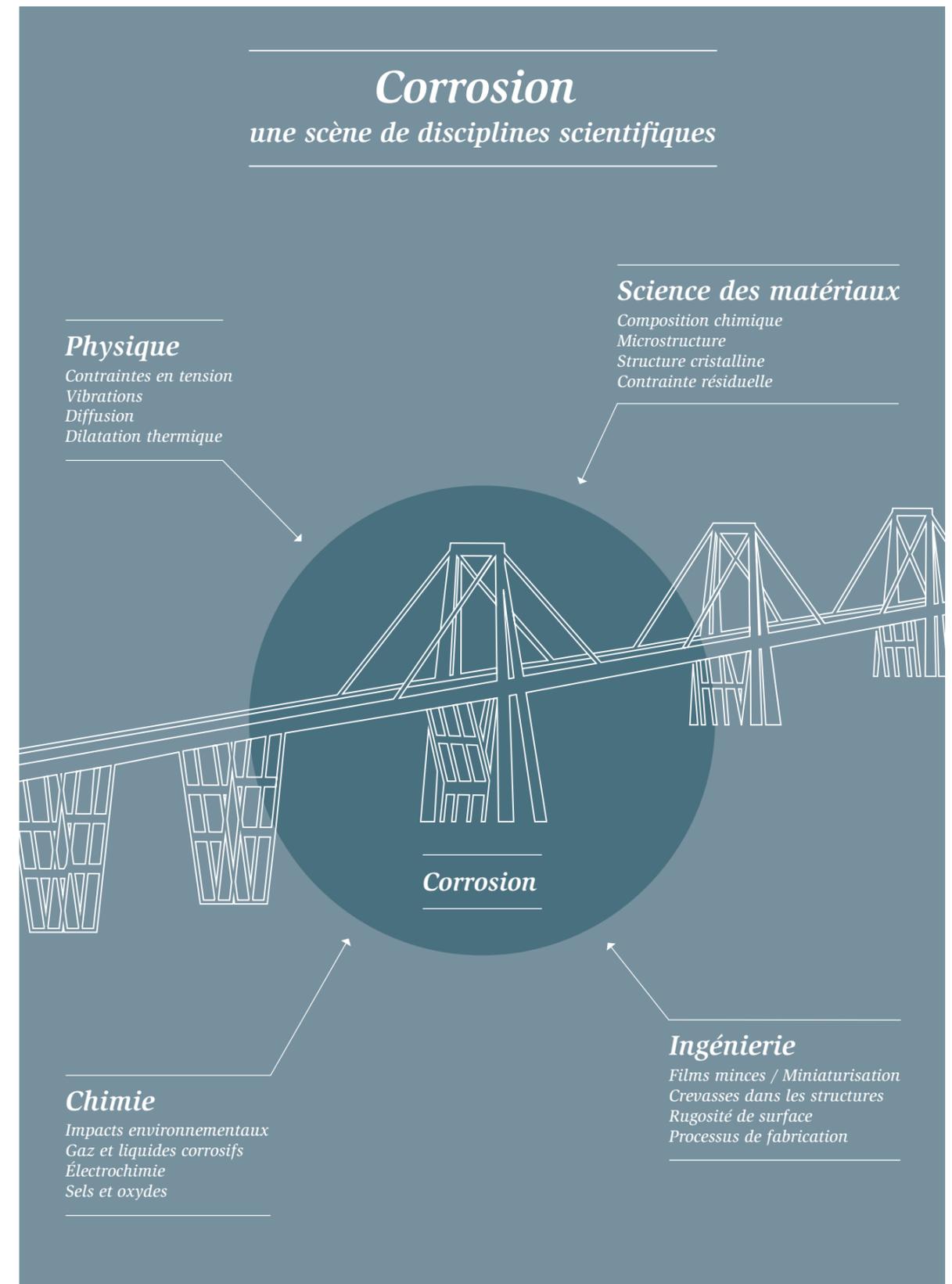
Il y a peu, une équipe de l'Empa a pu mettre en évidence en laboratoire la lente dissolution d'une couche d'adhésion en silicium. Une microfissure s'était formée entre l'alliage de titane de la prothèse et la revêtement de surface protectrice. En l'absence d'oxygène, un milieu fortement agressif peut progressivement se développer qui, en lien avec des liaisons avec le phosphates provenant du corps, peut dissoudre la couche d'adhésion de silicium.

Les chercheurs de l'Empa disposent de sondes spéciales qui leur permettent d'étudier les processus chimiques de corrosion dans ces minuscules interstices, voire de les accélérer expérimentalement. Ils peuvent alors prédire avant

même l'opération, et avec une bonne fiabilité, la durée de vie d'une prothèse.

L'étude des phénomènes de corrosion est de toute première importance dans bien des domaines, et pourtant, le travail des «pathologistes de l'ingénierie» reste souvent méconnu. Lars Jeurgens et ses collègues s'efforcent d'obtenir des universités et des hautes-écoles techniques qu'elles accordent plus d'attention à ces questions. «La problématique de la corrosion doit figurer en bonne place sur la checklist de toute construction et de chaque produit, pas seulement en queue de liste mais dès les premiers développements», souligne Jeurgens. «Il arrive trop fréquemment que l'on ne nous consulte qu'après avoir imprimé les prospectus en couleurs. Souvent trop tard pour aider le client.» ■

Vous trouverez un interlocuteur spécialiste en corrosion sous le lien suivant: www.empa.ch/web/s202/services



INCASSABLE

Le verre peut-il fluier aux températures ambiantes et résister ainsi aux chocs? C'est ce que prédisait une théorie des années 70. Des chercheurs de l'Empa en ont maintenant apporté la preuve. Ce résultat pourrait permettre d'imprimer des microstructures de verre en 3D.

Texte: Rainer Klose

Ce que nous avons mesuré, personne au monde ne l'avait encore vu», remarque Rajaprakash Ramachandramoorthy. «Nous avons beaucoup mieux compris la manière dont le verre se brise que quiconque auparavant.» Raj, comme ses collègues l'appellent, travaille au laboratoire de «Mécanique des matériaux et nanostructures» sous la direction de Johann Michler.

L'équipe scrute les propriétés du matériau aux plus petites échelles. Des machines de leur conception impriment à l'aide de minuscules tampons une pression sur des microcolonnes fines de quelques microns. Ils observent ensuite au microscope électronique comment ces microcolonnes se brisent sous ces forces mesurées avec la plus grande précision. Forts de ces résultats, les chercheurs peuvent se prononcer sur la structure intérieure du matériau.

UNE LONGUE PRESSION ET MARTELER

Ramachandramoorthy et son collègue Jakob Schwiedrzik ont utilisé cette méthode pour étudier le verre quartzé. Ils lui ont découvert des propriétés bien éloignées de celles que nous connaissons au niveau macroscopique. Lorsqu'il subit une pression lentement croissante, le verre se comporte comme du mastic. Si la pression croît un peu plus vite, il peut se déchirer et éclater. Et lorsqu'on lui imprime de très brèves impulsions, il se montre à nouveau visqueux et déformable. «Notre essai en compression le plus long a duré environ 20 minutes, explique le chercheur. Nos impulsions les plus rapides sur les microcolonnes n'ont duré que 100 microsecondes, comme un coup de marteau».

LES PRÉVISIONS DES ANNÉES 70 CONFIRMÉES

Ces recherches conduites à l'Empa ont fourni les premières données expérimentales sur certaines propriétés du matériau qui, jusqu'alors, n'avaient été que postulées. La déformabilité des matériaux amorphes tels que le verre avait été indépendamment prédite à la fin des années 70 par le physicien Frans Spaepen de l'Université de Harvard et, quel-

ques encablures plus loin, par Ali S. Argon du «Massachusetts Institute of Technology» (MIT). Les deux théories, que nous nommerons ici «du verre fluant», pointent dans la même direction: pour la fabrication de systèmes micromécaniques non cassants, le verre est préférable au silicium. Il résiste à des forces supérieures.

Cela n'avait pourtant jamais pu être prouvé expérimentalement. On ne savait soumettre les échantillons microscopiques qu'à des pressions lentement croissantes. Au niveau macroscopique, les expériences dynamiques à haute vitesse provoquent une onde de choc qui l'emporte sur les mécanismes de déformation. Se passe alors ce que nous connaissons tous: le verre se brise dès que l'onde de choc croise un défaut, ce qui est pratiquement toujours le cas sur de grandes pièces.

Ramachandramoorthy et Schwiedrzik ont trouvé le moyen de prévenir ce phénomène en utilisant des microcolonnes de verre si menues qu'elles peuvent être statistiquement libres de tout défaut susceptible de fausser les résultats. Et l'onde de choc ne fait plus problème car elle se propage si rapidement dans le microéchantillon que son effet ne se superpose plus au coup de marteau qui déplace les atomes du verre. Il est maintenant possible d'étudier les deux effets séparément. Ce qui a permis de confirmer expérimentalement la quadragénaire théorie du verre fluant de Spaepen et Argon.

PIÈCES D'HORLOGERIE EN VERRE PAR IMPRESSION 3D

Les travaux poursuivis à l'Empa ont déjà attiré l'attention de l'industrie horlogère suisse et de fabricants de microsystèmes électromécaniques (MEMS). Ils pourraient servir de base à l'impression 3D de microéléments de verre pour montres ou instruments de mesure antichoc. En mars 2019, la marque suisse de montres de luxe Ulysse Nardin a déjà présenté un prototype de nommé «FREAK neXt» équipé d'une aiguille des minutes lumineuse en verre. L'aiguille, traversée d'un tube capillaire rempli d'un liquide fluorescent, a été imprimée en 3D par l'entreprise suisse spécia- ▶

«De nombreux fabricants de verre veulent en savoir plus sur les micropropriétés de leurs produits.»



Photo: iStock

FRAGILE

Les chercheurs de l'Empa scrutent la manière dont le verre se brise.

LUMINEUX
L'aiguille des minutes en verre contenant un liquide fluorescent.



lisée Femtoprint. Passer du prototype exposé en vitrine à la production en série de montres résistant aux chocs va encore nécessiter quelques efforts de développement. Les chercheurs de l'Empa vont en poser les bases.

L'INDUSTRIE DU VERRE FRAPPE À LA FENÊTRE

Rajaprakash Ramachandramoorthy est bien occupé et constate déjà que ses travaux n'intéressent pas que l'industrie horlogère. Au lendemain de la publication des résultats sur le verre quartzé, plusieurs fabricants de verre flotté et de verre boraté l'ont contacté. Ils souhaitent tous mieux connaître les micropropriétés de leurs produits. De nouveaux projets de recherche sont déjà lancés. «Notre méthode permet en principe

d'étudier tous les systèmes à base, entre autres, de matériaux amorphes, métaux, polymères, biomatériaux ou céramiques», précise le chercheur.

Il souhaite maintenant utiliser la machinerie développée au laboratoire de Thoune pour un grand programme d'essais. «Nous souhaitons mesurer les propriétés mécaniques de matériaux entre -150°C et +1000°C, à différentes vitesses.» Cette étude focalisée sur les microcolonnes pourrait ouvrir la voie à une série d'importantes découvertes. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s206

PÉREMPTION PROGRAMMÉE?

Du portable aux WC à douche, l'électronique ne cesse de se compliquer. Et qui n'a pas entendu parler de ces appareils qui tombent en panne sitôt leur garantie échuë? Si la durée de vie de certains produits va décroissant, observe Peter Jacob, chercheur à l'Empa, cela n'est pas tant lié à de perfides stratégies d'obsolescence programmée qu'à l'énorme pression exercée sur les prix. Monsieur Jacob et son équipe enquêtent sur les pannes avec l'attention et l'obstination d'une agence de détectives.

Texte: Karin Weinmann

ROBUSTE
Il était facile de réparer les anciennes radios «à transistors». Cela n'a souvent plus de sens avec les radios modernes.



Photo: Ulysse Nardin

Photos: iStock

Lorsque, dans les années 50, on achetait une radio, il fallait déboursier une belle somme d'argent. Les appareils, en revanche, étaient assez faciles à réparer. Aujourd'hui, lorsqu'un récepteur de radio ne fonctionne plus, on le remplace. La raison est simple: les radios des années 50 étaient faites de composants largement disponibles sur le marché et de quelques tubes électroniques standard faciles à remplacer. Les radios d'aujourd'hui sont construites autour de circuits intégrés dédiés, ces puces regroupant des milliers de transistors et généralement fabriquées pour un produit spécifique. Quelques années plus tard, on ne les trouve plus sur le marché.

Pour ce qui concerne les portables, on voit bien que le simple remplacement des batteries fait déjà problème, alors qu'il y a peu encore, on pouvait les changer à la main. Aujourd'hui, impossible d'ouvrir son téléphone à moins d'être un pro ou de le confier à une boutique de réparation. Ce n'est pas entièrement

négatif, précise Peter Jacob qui dirige à l'Empa le Centre Electronique et fiabilité: «Au contraire des anciennes batteries, les batteries lithium-ion peuvent prendre feu et provoquer de graves brûlures lorsqu'on ne les manipule pas correctement. Elles doivent aussi être recyclées dans les règles. Les boutiques de réparation se chargent des deux opérations.»

TOUTE LA CHAÎNE DE PRODUCTION SOUS PRESSION

Cela explique pourquoi bien souvent, les appareils électroniques ne peuvent plus être réparés. Mais pourquoi leur durée de vie se réduit-elle? «Là non plus, n'imaginons pas trop de sombres desseins», commente Jacob. Le problème tient plutôt à l'actuelle concurrence globale et à l'énorme pression qu'elle exerce sur les prix, ainsi qu'aux longues chaînes de livraison. Dans la production de masse, les coûts internes sont sévèrement surveillés. Les spécifications imposées aux composants sont poussées aux limites. «Aujourd'hui, un simple condensateur est souvent soumis à sa charge limite,

alors que l'ingénieur aurait préféré lui laisser une marge de sécurité.» L'électronique bas de gamme – comme les jouets pour enfants qui clignent de toute part – n'est pas seule en cause, l'électronique professionnelle est également touchée, on le voit dans l'automobile.

La constante pression exercée sur les prix se propage dans toutes les chaînes de livraison. Une simple climatisation de voiture implique souvent plus de cent fournisseurs. Identifier la cause d'une défaillance n'est pas simple. Ajoutons que les enjeux financiers sont importants. Lorsqu'on a affaire à des articles produits en grandes séries, un petit fournisseur peut être menacé de disparition lorsqu'il a été montré qu'une erreur lui était imputable. Ce genre de cas, le Centre Electronique et fiabilité de l'Empa les étudie avec l'extrême attention et l'obstination d'une agence de détectives.

LE DIABLE EST DANS LES DÉTAILS

Il arrive à l'équipe dirigée par Peter Jacob de tomber sur des erreurs de conception.

Dans une installation sanitaire, un circuit alimenté par une tension 5 volts se trouvait trop près d'un autre circuit raccordé au 230 volts. L'humidité ambiante des salles de bain ne manqua pas de provoquer de dangereux courts-circuits.

Les défaillances peuvent aussi résulter d'interactions plus complexes. Jacob raconte le cas d'un fabricant de voitures dont un certain modèle devait passer au garage après 10 000 kilomètres déjà. C'était chaque fois la même fonction de commande du moteur qui lâchait... mais seulement dans les pays sans limitation de vitesse. Après réparation de l'unité de commande, la panne ne se reproduisait plus. Il est ressorti de l'examen de ces véhicules que l'unité était installée entre des tuyaux de caoutchouc dépourvus de mise à la masse. Les chercheurs de l'Empa ont mesuré la charge électrique sur le boîtier métallique de l'unité à l'aide d'une sonde différentielle. Aux vitesses inférieures à 150 km/h, aucune défaillance ne se produisait. Mais lorsque l'auto franchissait ce cap, la sonde signalait soudainement des tensions bien supérieures à ce qu'elle pouvait mesurer. Explication: le puissant flux d'air et ses turbulences engendraient une charge électrique qui, en l'absence de mise à la masse, n'était pas évacuée. L'unité de commande se trouvait alors exposée à une très forte tension qui la détruisait. Mais pourquoi le problème ne survenait-il que dans les premiers 10 000 kilomètres? Les détectives ont également clarifié cette énigme: après ce cap, suffisamment de crasse et de poussière s'étaient accumulées sur les tuyaux de caoutchouc pour leur donner une conductivité assurant leur mise à la masse.

Dans les deux cas – les toilettes et la voiture – les défaillances survenaient toujours au même endroit, un endroit inattendu.

MYTHE OU SOMBRE CALCUL?

L'obsolescence programmée ne serait-elle donc qu'un mythe? La réduction du cycle de vie des produits ne tiendrait-il qu'à la soif de nouveautés des consommateurs? Laquelle exacerbe la concurrence entre fabricants et entre fournisseurs, entraînant une sous-enchère des prix dont les composants sont victimes? Ce n'est pas aussi simple. On connaît effectivement des cas bien documentés d'entreprises ayant appliqué une stratégie d'obsolescence programmée pour contraindre leurs clients à renouveler leurs achats.

Le premier cas documenté est celui des ampoules électriques, un honneur douteux. Les ampoules mises au point par Thomas Edison duraient trop longtemps au goût des grands fabricants mondiaux et ne devaient être remplacées que trop rarement. Leur cartel s'entendit dans les années 1920 pour en ramener la durée de vie de 2500 à 1000 heures. Les filaments furent raccourcis, ce qui, à tension égale, en réduisit la durée de vie. Les membres de l'entente dont les produits duraient plus longtemps étaient mis à l'amende. Opération réussie: les ventes d'ampoules électriques crurent massivement jusqu'à ce que la Deuxième Guerre mondiale bloque toute coordination de la production entre pays maintenant ennemis, entraînant le démantèlement du cartel.

Aujourd'hui, l'obsolescence programmée passe souvent par les logiciels. Ainsi, certaines cartouches d'encre sont équipées d'une puce qui bloque l'impression dès que le niveau d'encre glisse sous un seuil donné. On est donc contraint de changer la cartouche alors qu'elle contient suffisamment d'encre pour poursuivre le travail.

Certains fabricants de smartphones se sont aussi laissés tenter. En 2018,

Apple et Samsung ont été condamnés à des millions de dollars d'amende pour avoir, lors de mises à jour des systèmes d'exploitation de leurs appareils, ralenti délibérément d'anciens modèles, contraignant pratiquement leurs utilisateurs à acheter de nouveaux modèles.

Manipulée ou non, on observe souvent que la durée de vie des logiciels de produits techniques raccourcit plutôt que prolonge la vie utile du matériel: leur constante mise à jour soumet sans cesse le matériel à de nouvelles exigences. Ce facteur pèse probablement plus lourdement sur la perte de valeur des équipements que l'obsolescence programmée.

Lorsque l'«Internet des choses» sera devenu une réalité, l'obsolescence par voie de software sera encore plus menaçante. Il est possible que le fonctionnement des objets de notre vie quotidienne soit tributaire de leur mise à jour. Un phénomène que l'Empa a malheureusement subi avec une série de caméras pour microscope qui, alors qu'elles fonctionnaient parfaitement, ont dû être remplacées après une mise à jour de Windows. L'Internet des choses risque de nous mettre dans la situation où il sera nécessaire de remplacer un réfrigérateur qui refroidit parfaitement mais dont l'électronique est prise de court par les nouveaux logiciels. ■



COMMANDÉ

Cas classique d'obsolescence programmée: l'imprimante déclare la cartouche d'encre vide avant qu'elle ne le soit et bloque l'impression.

Photo: iStock

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s498

DES CAPTEURS POUR LA CONDUITE AUTOMATIQUE



EXACT
L'équipe du département Technologies de propulsion automobile de l'Empa pose avec la Lexus mise à sa disposition.

Les capteurs jouent un rôle central dans le pilotage des véhicules autonomes. Ils saisissent les paramètres du cadre et du trafic dans lesquels le véhicule évolue, et lui transmettent les informations nécessaires à la conduite. Ces capteurs sont exposés à toutes les intempéries, pollutions et assauts mécaniques. L'Empa a conclu avec Lexus un accord de collaboration portant sur l'amélioration des systèmes de capteurs utilisés par les véhicules autonomes. Lexus a mis à disposition de l'Empa un véhicule d'essai qu'il s'agit maintenant d'équiper de capteurs et d'un système de saisie des données avant d'étudier le comportement des capteurs en conduite réelle.

Pour plus d'information: www.empa.ch/web/s604/lexus



EFFRAYANT
5000 tonnes de plastique finissent dans la nature.

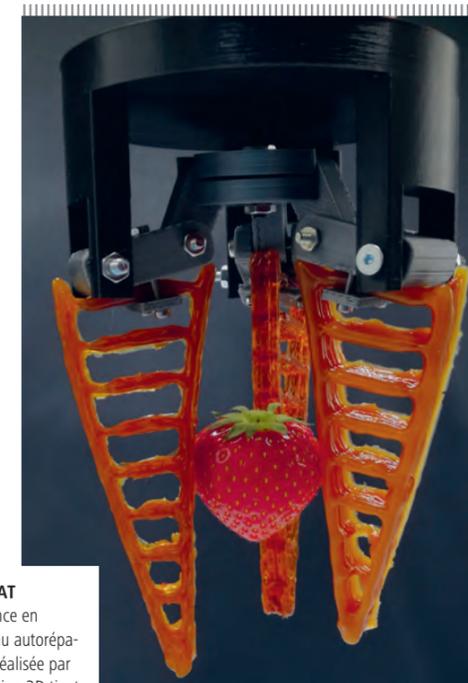
PLUS DE 5000 TONNES DE PLASTIQUE JETÉES PAR ANNÉE DANS LA NATURE

Le plastique n'a pas sa place dans l'environnement. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a chargé l'Empa de calculer la quantité de plastique simplement dispersée aux alentours. L'Empa s'est penché sur le destin des sept plastiques les plus utilisés. Triste constat: le chiffre est supérieur à 5000 tonnes par année. Les sols – que le plastique soit abandonné en surface ou enfoui dans la terre – sont beaucoup plus concernés que les eaux.

Pour plus d'information: www.empa.ch/web/s604/mikroplastik-bafu

Photos: Empa (2)

DES ROBOTS QUI «SENTENT LA DOULEUR» ET SE RÉPARENT EUX-MÊMES



DÉLICAT
Une pince en matériau autoréparateur réalisée par impression 3D tient une fraise.

Les robots jouent un rôle croissant dans la vie quotidienne. A l'avenir, il faudra les doter de pièces souples pour leur permettre de manipuler des objets délicats et d'interagir sans danger avec les humains. Les matériaux adaptés peuvent cependant se déchirer contre des objets aigus, et les réparations sont coûteuses. Une équipe internationale de chercheurs à laquelle collabore l'Empa étudie dans le cadre du projet SHERO (Self-HEaling soft RObotics) les technologies pouvant permettre aux robots de se «soigner» eux-mêmes. Il existe par exemple des plastiques flexibles autoréparateurs. L'objectif ambitieux du projet européen est de réaliser un robot en matériau autoréparateur, capable de détecter les incidents dont il est victime puis de prendre les mesures qui s'imposent. Il pourrait ainsi tout d'abord terminer les tâches en cours, puis se faire réparer dans une phase d'entretien.

Pour plus d'information: www.empa.ch/web/s604/self-healing-robot



COMPLEXE
En hiver, la production de courant solaire plonge alors que la demande de courant s'envole. Comment assurer l'offre?

PAS À PAS VERS L'ÉNERGIE DE DEMAIN

Il reste encore bien du travail à la Suisse pour parvenir à fonctionner sans combustibles ni carburants. Une étude de l'Empa publiée fin juin dans le journal professionnel «Energies» propose deux solutions: – emmagasiner en été de grandes quantités d'énergie pour les utiliser en hiver, – produire de l'énergie sous le soleil du Sud et dans les vents du Nord pour l'acheminer chez nous. Par leur étude, les auteurs entendent engager une réflexion d'ensemble au niveau politique et sociétal.

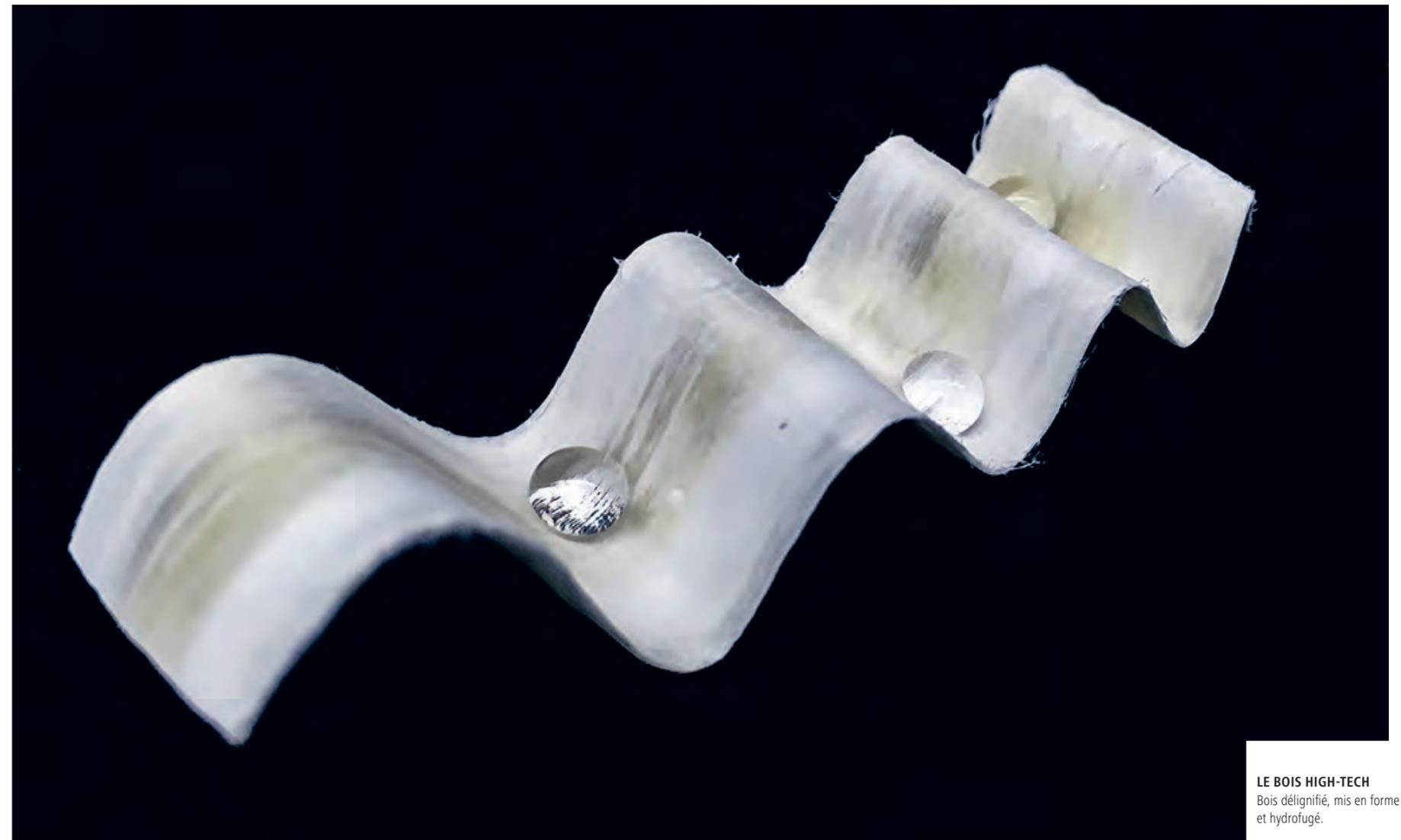
Pour plus d'information: www.empa.ch/web/s604/energieversorgung

Photos: istock, Vrije Universiteit Brussel

LE BOIS, CE PARADOXE

Le bois, un matériau high-tech? Grâce aux travaux de délignification du bois de Marion Frey, Tobias Keplinger et Ingo Burgert, on touche presque au but. Le matériau tiré du bois que l'équipe de chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ a mis au point peut prendre toute sorte de forme, offre une résistance trois fois supérieure au bois d'origine et se prête aux applications les plus variées.

Texte: Stephan Kälin



LE BOIS HIGH-TECH
Bois délignifié, mis en forme et hydrofugé.

Le bois est le plus ancien matériau du monde. Il est léger, a de remarquables qualités mécaniques, pousse tout seul et, en prime, fixe le CO₂. Ces deux dernières caractéristiques expliquent que – dans le contexte de la crise climatique – on cherche à mieux l'utiliser, et plus souvent. C'est à quoi le groupe de chercheurs de l'Empa et de l'EPFZ dirigé par Ingo Burgert œuvre depuis des années. Objectif: améliorer les caractéristiques naturelles du bois et

lui conférer de nouvelles propriétés afin d'en élargir les applications.

En collaboration avec Tanja Zimmermann, actuelle dirigeante du département «Matériaux fonctionnels» de l'Empa, Ingo Burgert présente déjà de stupéfiants objets de bois au module «Vision Wood» du bâtiment de recherche en grandeur nature NEST, tels que des poignées de porte en bois antibactérien, du bois minéralisé de bonne résistance au feu, une paroi d'affichage en bois magnétisé. Après environ trois années

d'utilisation pratique dans l'appartement d'étudiants «Vision Wood», les deux premiers produits s'avèrent convaincants; le troisième doit encore être amélioré.

Par ses récents travaux de recherche, le groupe «Wood Materials Science» de l'EPFZ et de l'Empa a maintenant ouvert une nouvelle voie: «Nous avons trouvé un moyen d'améliorer nettement les caractéristiques mécaniques du bois et, en outre, de lui conférer plus facilement de nouvelles propriétés», explique Burgert. ▶

Photo: Empa/ETH Zürich

SOUPLE QUAND IL EST HUMIDE, RIGIDE QUAND IL EST SEC

Le procédé passe par la délignification et le compactage. Du point de vue chimique, le bois se compose essentiellement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. La lignine empêche les longues fibrilles de cellulose de fléchir, les rigidifiant. «Nous la retirons du bois à l'aide d'un acide; nous retirons donc la colle naturelle du bois», explique Marion Frey qui termine actuellement une thèse dans l'équipe de Burgert. Le bois, ou plutôt sa cellulose résiduelle de couleur blanche peut prendre n'importe quelle forme à l'état humide. Les espaces intercellulaires qu'occupait la lignine absorbent l'eau, laquelle dissout les liaisons entre cellules, permettant toute sorte de manipulation. Lorsqu'on les sèche, les cellules s'accrochent les unes aux autres, recréant des liaisons rigides. Un compactage sous presse confère ensuite au matériau une rigidité et une résistance à la traction trois fois supérieures au bois de pin à l'état naturel. Revêtu d'une couche hydrofuge qui le protège de l'humidité, l'objet conserve la forme souhaitée.

SOUPLESSE FONCTIONNELLE

L'extraction de la lignine a un autre effet sur le bois: elle en augmente la porosité. «C'est appréciable lorsqu'on cherche à lui confier de nouvelles fonctions, souligne Tobias Keplinger. L'espace libéré entre les cellules et dans les parois cellulaires permet l'adjonction de substances lui conférant de nouvelles propriétés». Ainsi, on peut rendre le bois magnétique par infiltration d'oxyde de fer. Les expériences ont montré que le bois délignifié se laissait beaucoup mieux magnétiser que le bois naturel utilisé jusqu'alors dans l'unité «Vision Wood» du bâtiment NEST.

DES APPLICATIONS EN AUTOMOBILE ET EN AVIATION

Les chercheurs pensent que leurs nouveaux matériaux trouveront de nombreux



MOULABLE ET RÉSISTANT

Photo ci-dessus: Défait de sa lignine, le bois perd sa couleur. Compacté, il s'avère trois fois plus résistant que le matériau d'origine.

Photo ci-dessous: Le casque de cycliste et l'élément mural de bois délignifié réalisés par la designer Meri Zirkelbach pour son travail de master.

ses applications dans l'automobile, l'aviation et l'industrie du meuble. Dans le cadre d'un travail de master, la designer Meri Zirkelbach a déjà concrétisé quelques idées de produits: un casque de cycliste, une garniture intérieure de portière de voiture et un rétroviseur. ■

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

UNE VIS SOLUBLE

Lorsqu'un os éclate, les chirurgiens en réunissent les fragments au moyen de vis orthopédiques. Les vis en magnésium qui se dissolvent lentement dans le corps épargnent au patient une opération supplémentaire, réduisant d'autant les risques d'infection. Mais ce qu'il advient de ces implants dans le corps reste mal compris. Des chercheurs de l'Empa analysent les mécanismes de corrosion du magnésium pour mettre au point les meilleurs alliages et vis orthopédiques à surface fonctionnalisée.

Texte: Andrea Six

Lorsqu'un chirurgien étudie la manière de fixer des fragments d'os à leur emplacement original, il peut choisir entre différents types de matériel d'ostéosynthèse. Il y a les vis et plaques de titane ou d'acier, mécaniquement très stables mais qu'il faudra retirer. Ou alors les prothèses en matière organique qui se dissolvent avec le temps mais présentent d'autres inconvénients tels qu'une moindre solidité et des produits de dégradation pas toujours inoffensifs. Des chercheurs de l'Empa étudient actuellement une autre approche: de petites prothèses et vis en magnésium qui sont mécaniquement stables et dont l'ultérieure dégradation dans le corps n'affecte pas les tissus.

Cette piste est particulièrement intéressante pour les interventions médico-orthopédiques sur les enfants dont l'ossature se développe rapidement.

Les vis biodégradables n'entravent pas leur croissance. Elles dispensent en outre les jeunes patients d'une seconde intervention, ce qui réduit les risques d'infection et les coûts.

«On voit plutôt le magnésium comme une poudre blanche souvent conseillée comme complément alimentaire», remarque Arie Bruinink du laboratoire «Technologie des assemblages et corrosion» de l'Empa. «Les implants en alliage de magnésium sont non seulement biocompatibles, mais présentent dans la première phase critique de la guérison des propriétés mécaniques semblables à celles des os, ce qui les rend même plus indiqués que les implants de titane.»

Merveilleux, mais cela peut aussi parfois mal tourner: le processus de dissolution du magnésium s'accompagne de mécanismes de corrosion complexes pouvant affecter les surfaces et produire diverses

molécules. En fonction du type d'alliage de magnésium choisi, la dégradation peut s'accompagner de production d'hydrogène allant parfois jusqu'à la formation d'un coussinet gazeux sous la peau du patient. La dégradation des vis de magnésium par oxydation avec libération d'hydrogène est tout à fait souhaitable. Mais si la production d'hydrogène dépasse la capacité d'évacuation du corps, le processus de guérison des os encore fragiles est compromis.

La biocorrosion des vis de magnésium reste mal comprise. Les chercheurs de l'Empa en recréent les conditions de manière aussi réaliste que possible et l'étudient par des procédés analytiques développés sur place. Leur objectif: trouver les meilleurs alliages de magnésium ou autres éléments biocompatibles, ainsi que de nouvelles fonctionnalités pour les surfaces de vis résorbables en magnésium. Enfin, réussir ►

[IMPLANTS]

une désagrégation lente et contrôlée des implants prévenant toute formation de bulles de gaz dans les tissus.

«On sait déjà que la réaction varie selon l'acidité du tissu», explique Bruinink. En milieu légèrement acide, la corrosion du magnésium dégage de grandes quantités d'hydrogène gazeux; lorsque le pH se déplace vers l'alcalin, la réaction produit entre autres des composés carbonatés qui risquent de bloquer le processus souhaité. En milieu de pH 7,4, comparable au sang, il se forme plutôt des hydroxydes de magnésium ou des liaisons phosphate qui entravent partiellement la poursuite de la corrosion. Le sang – de par son puissant mécanisme tampon – sait maintenir son pH dans une étroite fourchette. On a étudié en laboratoire des implants de magnésium dans un milieu tampon tout aussi puissant

mais non physiologique. Bruinink juge toutefois cette approche peu réaliste.

«Le sang est un liquide très particulier!» constate le docteur Faust sous la plume de Goethe. On ignore en revanche ce qu'il pensait du liquide interstitiel. Pourtant, avec ses quelque dix litres, ce liquide salin et sous-estimé occupe plus de place que le sang. Il circule tranquillement entre les tissus et les cellules à la lenteur d'un escargot et se révèle d'une importance cruciale pour la conception des nouveaux implants. En effet, le processus de guérison des fractures, qui est sous le contrôle des cellules immunitaires, conjugue dégradation et reconstruction de l'os et se déroule essentiellement dans le liquide interstitiel.

L'acidité de ce liquide varie dans une fourchette bien plus importante que

le sang. Selon la partie du corps ou l'état des tissus où elle est posée, la vis est soumise à des influences différentes. Pour prévoir de manière réaliste le processus corporel de biocorrosion, Bruinink a mis au point des outils de mesure et des chambrettes d'écoulement microfluidique permettant d'étudier la régulation pH telle qu'elle se joue dans le corps. Le chercheur place ses échantillons d'alliage au magnésium dans une batterie de dix chambrettes où circule un liquide reproduisant fidèlement le liquide interstitiel, aussi tranquillement que dans le corps humain.

Le pH de chaque chambrette est mesuré et le liquide est en outre soumis à une analyse électrochimique de précision portant également sur le potentiel électrochimique et le changement d'impédance superficielle de l'alliage, un

indicateur de corrosion et de formation d'hydrogène gazeux. «Les chambrettes sont de minuscules laboratoires simulant fidèlement la réalité de la corrosion», explique Bruinink. La prochaine étape sera d'y placer les échantillons d'alliages en présence de cellules vivantes pour reproduire plus fidèlement encore ce qui se passe dans le corps. «Dès que nous aurons clarifié le mécanisme de biocorrosion des alliages de magnésium, nous pourrons doter les implants de surfaces fonctionnalisées pour, par exemple, stimuler la réactivité de l'environ biologique.» ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s202



Photo: Empa

Photo: Empa



UNE OREILLE ATTENTIVE AU BRUIT

Le son d'un ruisseau... c'est celui que Jean-Marc Wunderli préfère. Pourtant, son quotidien sonore n'a rien d'un bruissement réparateur. Au contraire, le chercheur est confronté au vacarme des avions, des trains et des routes surchargées, au vrombissement des éoliennes, et, plus récemment, au bourdonnement des drones. Autant d'émissions sur lesquelles se penche le département Acoustique de l'Empa que Jean-Marc Wunderli dirige depuis juillet dernier.

Texte: Cornelia Zogg

Les sons nous accompagnent toute la journée. Certains nous stressent, d'autres nous détendent. Alors que ces dernières décennies la lutte contre le bruit a prioritairement porté sur la réduction des sources les plus bruyantes, la densification et la technicisation galopantes ont progressivement noyés de vastes territoires dans un bruit omniprésent. Cette évolution, Jean-Marc Wunderli, nouveau directeur du laboratoire Acoustique de l'Empa, entend la contrer. «Les recherches actuelles montrent que le stress provoqué par le bruit est plus supportable lorsqu'on a accès à des espaces de verdure et de délassement». C'est une question à laquelle les chercheuses et chercheurs de l'équipe de Wunderli souhaitent consacrer plus de temps dans les prochaines années afin de poser les bases scientifiques d'une meilleure protection des paysages acoustiquement bienfaisants. L'espace urbain et

les zones denses sont au cœur de cette préoccupation. Comment y assurer la qualité de vie et la santé des habitants?

COMMENT CARACTÉRISER LE BRUIT?

Pour Wunderli, la recherche doit se centrer sur l'être humain et non la mesure des décibels. «La perception humaine est beaucoup plus complexe que ne peut l'exprimer une simple mesure de décibels», constate-t-il. Exemple classique: les éoliennes. A niveau sonore égal, les éoliennes dérangent beaucoup plus les riverains que le trafic routier. Cela tient à la structure et à la fréquence des signaux acoustiques. Une fréquence basse en phase avec les battements cardiaques a quelque chose d'oppressant. «Les voisins d'éoliennes expliquent que le battement des pâles contraint leur cœur à suivre un rythme donné, ce qui, évidemment, les stresse.» L'acoustique physique n'est donc qu'un élément de son activité; il faut lui ajouter la psychoacoustique.

Wunderli et ses collègues travaillent donc étroitement avec des sociologues, des psychologues et des épidémiologistes afin de ne pas se limiter à la mesure du bruit, mais d'en appréhender également les effets sur la population.

Après avoir bouclé ses études d'ingénieur en génie rural à l'EPFZ, Jean-Marc Wunderli a débuté sa carrière de chercheur à l'Empa. Le département d'acoustique était alors bien différent de ce qu'il est aujourd'hui. «C'était en quelque sorte un bureau d'ingénieurs». Son activité consistait à mesurer des sources de bruit telles que les stands de tir. La recherche était secondaire. Mais lorsque, au virage du siècle, l'Empa a entrepris sa mutation de laboratoire d'essais classique en institut de recherche moderne, le département s'est également transformé. «Il a même été question de privatiser l'acoustique», raconte Wunderli.



JEAN-MARC WUNDERLI
Nouveau directeur du laboratoire Acoustique de l'Empa.

Photo: Empa / Gian Vaiti

«Heureusement, ajoute-t-il, l'idée a été enterrée.» L'Empa est une institution indépendante de première importance et ses expertises sont prises très au sérieux. «Nous profitons beaucoup de nos étroites relations avec l'administration, le monde politique et l'industrie», remarque-t-il. Les chercheurs de l'Empa sont des interlocuteurs privilégiés des offices fédéraux, entre autres ceux de l'environnement (OFEV) et de l'énergie (OFEN). Ils collaborent également avec de nombreux partenaires industriels au développement de matériaux et technologies aidant à réduire les sources de bruit.

DES GÉANTS DU CIEL AUX MINI-DRONES

La Suisse a aussi fait appel au savoir des acousticiennes et acousticiens de l'Empa pour un dossier inhabituel: l'achat des nouveaux chasseurs de combat. L'Empa accompagne la procédure d'évaluation en cours, il mesure le niveau sonore des chasseurs en vol et crée la modélisation qui sera utilisée pour l'évaluation sonore de tous les candidats. Ces modélisations permettent de simuler des vols isolés aussi bien que des scénarios complets d'engagement. Il sera ainsi possible d'évaluer la charge sonore à laquelle la population sera soumise après l'introduction des nouveaux appareils.

Les chasseurs de combat seront peut-être remplacés à l'avenir par des drones. Les offices fédéraux comptent là aussi sur l'expertise de Wunderli pour se faire une idée de cet avenir. Les progrès de la technique ouvrent ici de toutes nouvelles possibilités comme le montrent les premiers essais de transport par drone. Que ce passera-t-il quand ils survoleront par centaines les villes suisses? Difficile de se le représenter. A quel niveau sonore faut-il s'attendre? Trouverons-nous cela pénible? Ces questions, l'équipe de Wunderli les étudie. L'«auralisation» – récréation d'un environnement sonore à partir de données – est l'un des

«La perception humaine est beaucoup plus complexe que ne peut l'exprimer une simple mesure de décibels.»

moyens de se représenter de tels décors sonores. On reproduit par algorithmes les émissions des diverses sources de bruit telles que le trafic ferroviaire. Le procédé est entièrement numérique.

LE BRUIT REND MALADE

Wunderli prendra cette année la présidence de la Commission fédérale de lutte contre le bruit dont il occupe actuellement la vice-présidence. La question des valeurs plafond l'occupe beaucoup parce qu'elles permettent d'exercer la pression nécessaire à l'application des solutions techniques disponibles. «Le bruit est avec la pollution de l'air, l'une des deux principales nuisances environnementales pour l'homme», rappelle-t-il. Il n'est par uniquement source de désagrément, il a des effets directs et choquants sur la santé. Dans notre pays, on lui attribue annuellement 500 infarctus du myocarde et 2500 cas de diabète. Le bruit est donc une lourde réalité économique. «La question est importante; en fait, elle concerne tout un éventail de problématiques», constate Wunderli.

L'une d'elles est le trafic aérien dont, semble-t-il, nous ne saurions nous passer, mais qui est une grave source de pollution et de bruit. Pour Wunderli, rien n'indique que cette problématique va se résoudre. Les acousticiennes et acousticiens de l'Empa fournissent toutefois tous les éléments scientifiques nécessaires au débat politique et cherchent avec les intéressés les solutions techniques susceptibles de tant soit peu réduire l'impact néfaste du bruit.

Le chercheur est évidemment très sensible aux bruits parce qu'il en connaît les effets. C'est pourquoi, dans ses loisirs, Wunderli apprécie le calme qu'il trouve dans la nature, par exemple en promenant son chien ou, pendant les vacances, en évitant les centres touristiques. Un calme dont il ne jouira pas beaucoup dans ses prochaines fonctions à la tête du département d'acoustique de l'Empa dont la vocation est de tendre l'oreille vers toutes les sources de bruit. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s604/zuglaerm-simulation



MESURES DE BRUIT
Jean-Marc Wunderli mesure le bruit de chasseurs aériens à l'aérodrome de Payerne. L'Empa accompagne la procédure d'évaluation pour l'achat des nouveaux appareils de combat en mesurant toutes les variables nécessaires à la modélisation de la charge sonore des différents candidats en lice.



Photos: Rolf Dammer, VBS

ESPION POUR BLESSURES
Lorenzo Valpiano, chercheur dans le domaine des terahertz, a mis au point une technique de discrimination des phases rendant visible des objets masqués par un tissu de fibres de verre.



AU SERVICE SECRET DE LA MÉDECINE

Il est difficile de vérifier si une plaie couverte d'un pansement est en train de guérir ou non. Des chercheurs de l'Empa en ont trouvé le moyen – digne des films de James Bond. Le calibrage ciblé et resserré d'un rayonnement de la gamme des terahertz pourrait permettre l'analyse de tissus multicouches et également faciliter le diagnostic et le traitement de dépôts dans les vaisseaux sanguins.

Texte: Andrea Six

Le film: "Le monde ne suffit pas". Le décor: un soir au casino. L'espion en smoking sort de sa poche un gadget inédit: des lunettes teintées en bleu. Il peut maintenant voir à travers les vêtements des crapules qui hantent l'établissement, voir les armes sous leurs vestons.

Les techniciens qui équipent notre héros ne sont pas les seuls à travailler sur la vision X. La vision trans-textile est déjà utilisée par exemple par les scanners corporels des contrôles de sécurité aéroportuaires. Des chercheurs de l'Empa étudient la manière d'en faire profiter la biomédecine en mettant au point un nouveau procédé permettant par exemple d'inspecter une plaie sans devoir en retirer le pansement.

L'originalité du dispositif est qu'il ne recourt pas à des rayons ionisants comme les rayons X, mais à des ondes de la gamme des terahertz, c'est-à-dire d'une longueur d'ondes de 0,1 à 1 mm. Situées entre les infrarouges (qui réchauffent) et les ondes radio, elles sont inoffensives.

DES TISSUS TRANSPARENTS

L'équipe de Peter Zolliker et d'Erwin Hack du «Laboratory for Transport at Nanoscale Interfaces» de Dübendorf vient de terminer un projet soutenu par le Fonds national suisse FNS visant non seulement la détection par ondes terahertz d'objets cachés, mais également la visualisation des interactions entre l'objet caché et la surface visible. Cette extension de la technique terahertz peut désormais être utilisée pour l'observation d'une plaie sans retrait préalable du pansement. Jusqu'alors, il n'était pas possible de concilier correctement deux préoccupations du traitement des plaies: a) ne pas exposer le patient à un risque d'infection ou endommager les fragiles tissus en cours de guérison par des changements trop fréquents de

pansement, b) suivre de près l'évolution des plaies compliquées dues par exemple à une brûlure ou à une maladie chronique, une nécessité en soi et pour la personnalisation des soins. Les rayons terahertz, qui traversent de nombreux matériaux (tissus, plastique, papier, bois...), permettent d'effectuer un examen sans toucher à quoi que ce soit. «Auparavant, la résolution de l'imagerie terahertz était plutôt modeste», rappelle le chercheur Lorenzo Valzania. Il n'était en outre pas possible d'observer directement l'effet des textiles sur la peau.

Pour mettre en évidence les interactions textile-peau, il faut tenir compte dans les calculs de reconstruction de l'image aussi bien des propriétés de la peau que de celles du matériau qui la recouvre. Valzania a mis au point à cette fin une technique de discrimination des phases permettant par analyse géométrique du faisceau de saisir l'objet cible et le textile le couvrant. Cela nécessite entre autres un laser à gaz en régime stationnaire comme source des terahertz et un capteur plan pour saisir les franges d'interférences résultantes. Un algorithme spécial d'identification des phases permet la reconstruction d'une image 3D montrant l'ensemble des éléments traversés par le rayonnement. On peut comparer cela au tri des feuilles d'une imprimante traitant simultanément plusieurs documents.

DES RÉOLUTIONS SUPÉRIEURES

Alors que la résolution des scanners corporels d'aéroports est de l'ordre du millimètre, les chercheurs de l'Empa ont recalibré leur scanner sur deux dixièmes de millimètre. Ils projettent de bientôt passer au nanomètre. Cela permettra de distinguer clairement le sang, le profil cutané et les tissus. D'autres applications biomédicales sont envisageables, par exemple dans le diagnostic par imagerie du cancer sans liquide de



TRANSPARENT
Les rayons terahertz permettent de représenter un objet (louange) à travers des textiles, comme le montre la reconstruction (ci-dessous).

contraste, ainsi que pour l'analyse non invasive des vaisseaux sanguins. ■

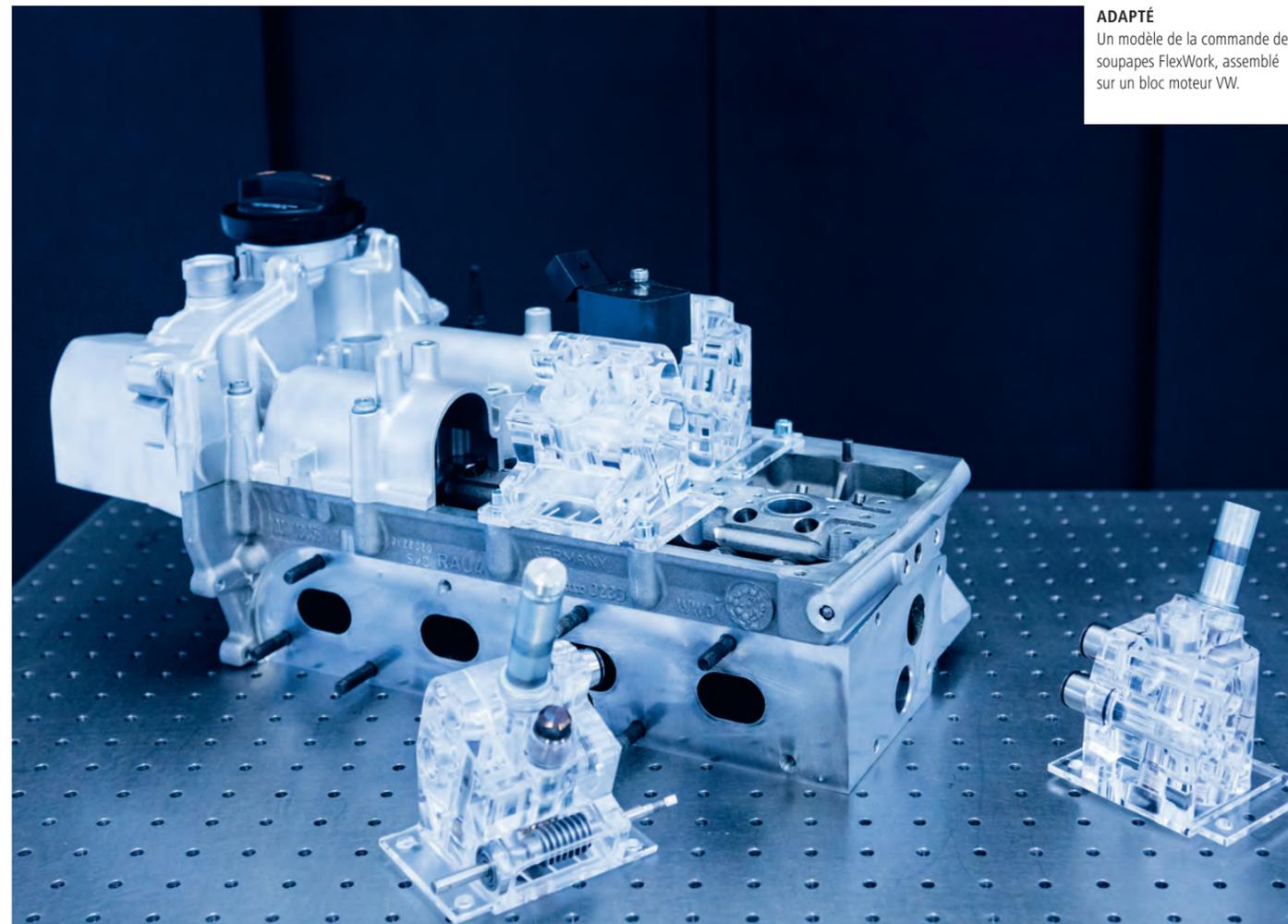
* Projet FNS «Mechanical contact of skin and textiles: THz imaging and modelling of the interface»

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s405/thz-lab

ECO-TUNING POUR MOTEURS

L'Empa a mis au point un nouveau type de commande électrohydraulique des soupapes. La levée et le calage des soupapes peuvent être librement choisis. Testée sur un bloc-moteur VW quatre cylindres tournant depuis plusieurs mois sur un banc d'essai de l'Empa, cette technique est arrivée à maturité et permet d'économiser jusqu'à 20% de carburant. Le moteur VW modifié crée désormais des séquences d'allumage «big-bang» comme les motos de course.

Texte: Patrik Soltic et Rainer Klose



ADAPTÉ
Un modèle de la commande de soupapes FlexWork, assemblé sur un bloc moteur VW.

rapide. Il libère également la culasse de toute trace d'huile, ce qui permet l'utilisation d'huiles moteur plus simples et réduit la fréquence des vidanges.

PLUSIEURS MOIS D'ESSAI

Dans le cadre du projet «FlexWorks» financé par l'OFEN, la nouvelle commande de soupapes a été testée sur un moteur fonctionnant au gaz naturel dérivé d'un moteur VW 1.4l TSI. Les composants ont été fabriqués par l'atelier d'essai de l'Empa. Le système de commande du moteur testé a été développé en interne à l'Empa. Depuis octobre 2018, la commande de soupapes fonctionne sur un moteur tournant sur banc d'essai et a déjà résisté sans problème à plusieurs millions de manœuvres.

Les composants de la commande FlexWork sont peu coûteux. Pas de vanne de commutation ultrarapide, pas de capteur sophistiqué. Le 16 août, le système a été présenté dans la revue professionnelle MTZ Worldwide. L'Empa est en contact avec des motoristes en vue du transfert de cette technologie applicable également aux compresseurs. ■

Les soupapes assurent la respiration des moteurs à combustion, commandant tour à tour l'alimentation en air frais et l'évacuation des gaz d'échappement. Aujourd'hui, les moteurs de grandes séries utilisent tous des arbres à cames à entraînement mécanique. Ils sont souvent équipés d'un mécanisme supplémentaire, parfois complexe, permettant de modifier le cycle original des soupapes, au prix toutefois d'un frottement accru et donc d'une perte d'énergie. En outre, la flexibilité de ces systèmes reste limitée. Les motoristes souhaitent accélérer le déplacement des soupapes, même à bas régime, et en régler individuellement la course et le

calage, cylindre par cylindre. Cela permettrait entre autres une adaptation aux caractéristiques variables des carburants.

ÉCHANGE DE GAZ OPTIMISÉ, RÉDUCTION DU FROTTEMENT

Patrik Soltic et son équipe de l'Empa ont inventé et mis au point avec Wolfgang Schneider, spécialiste en hydraulique, un système de distribution électrohydraulique beaucoup plus souple que les dispositifs actuellement produits en série. Les soupapes sont actionnées individuellement par un électro-aimant. Dès qu'un courant de commande y circule, une microvanne s'ouvre et le fluide hydraulique s'oppose au ressort

de la soupape, assurant le transfert de gaz en quelques millisecondes. Lorsque le courant est coupé, la soupape se referme sous l'effet du ressort et restitue au système hydraulique la majeure partie de l'énergie engagée à l'ouverture. Cela permet une nette réduction de la consommation d'énergie sur une large plage de régimes par rapport au système à arbre à cames. Le gain réalisé à faibles charges – typiques des voitures individuelles – est d'environ 20 %.

ADAPTABLE AUX CARBURANTS RENOUVELABLES

Comme les variables du système (temps d'ouverture et de fermeture, levée de la soupape) peuvent être réglées indivi-

duellement par cylindre, les paramètres de fonctionnement du moteur peuvent être modifiés en marche, par exemple par la prise en compte intelligente de la charge, en sélectionnant la quantité de gaz résiduels des cylindres (recirculation des gaz d'échappement) ou en désactivant momentanément les cylindres inutiles sans que cela soit perceptible à la conduite. Le moteur s'adapte donc très bien aux nouveaux carburants renouvelables qui contiennent de l'oxygène – tels le méthanol ou l'éthanol – et permettent de garder plus de gaz résiduel dans le cylindre. Quant au gaz naturel, au biogaz et aux gaz de synthèse issus de l'énergie éolienne et solaire, ils ont de meilleures propriétés antidétonantes

auxquelles la commande des soupapes s'adapte aisément. Elle permet en outre d'opter pour d'autres modes de combustion, par exemple l'auto-allumage homogène: le mélange carburant-air s'enflamme en fin de compression sans l'aide d'une étincelle d'allumage et brûle pratiquement sans polluant.

CULASSE SANS HUILE

Le système mis au point à l'Empa se distingue aussi par le choix de son fluide hydraulique: au lieu de l'huile habituelle, il recourt à un mélange eau-glycol, le liquide de refroidissement du moteur. Particulièrement incompressible, ce fluide convient bien aux systèmes hydrauliques à commutation

Photo: Empa

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s604/flexwork

DES RÉPLIQUES DE ROMANTIQUES

Jouer un morceau de musique de manière qu'il sonne comme son compositeur l'entendait... On s'y intéresse beaucoup, mais comment réunir les rares instruments d'époque? Une autre démarche est d'en réaliser de fidèles copies. L'Empa collabore avec une équipe de chercheurs qui analysent des répliques d'anciens – en l'occurrence des trombones – en vue de recréer le son typique d'antan.

Texte: Andrea Six



RÉPLIQUE EXACTE

L'original, un trombone romantique historique (devant), a été comparé par des acousticiens à une réplique exacte (milieu) réalisée par l'atelier bâlois Egger, spécialiste en instruments à vent de la famille des cuivres, et à un instrument moderne (derrière).

Les interprètes et chefs d'orchestre de musique classique sont très demandeurs de trombones romantiques et le constructeur bâlois Rainer Egger est prêt à relever le défi. Ces instruments sont surtout appréciés pour leur sonorité sombre bien en phase avec le symbolisme des œuvres de l'époque. Des chercheurs de l'Empa se sont associés au projet Innosuisse «The Sound of Brass» de la Haute école des arts de Berne pour analyser les matériaux et le timbre des originaux d'époque et les comparer avec les premières répliques. Le projet a pour but de montrer comment fabriquer des répliques d'une qualité sonore égale, voire supérieure aux modèles historiques.

L'atelier Egger, partenaire chargé de réaliser ces instruments, s'est spécialisé dans l'étude et la construction d'instruments historiques. Il souhaite maintenant fabriquer des «trombones romantiques allemands» du 19^e siècle. Brahms, Mahler et Bruckner ont probablement écrit leurs compositions pour ce type de trombones dont les contemporains vantaient «le son fabuleux, si tendre et si plein». «Les trombones d'aujourd'hui sonnent autrement», explique Egger. Il est persuadé que les plans, le choix des matériaux et le mode de fabrication jouent un grand rôle dans ce son. Mais cela n'avait jamais été démontré scientifiquement.

UN TRAVAIL MÉTICULEUX

A cette fin, Martin Tuchschnid, du laboratoire «Technologie des assemblages et corrosion» de l'Empa, a examiné 64 trombones romantiques d'époque. Pour en identifier les matériaux, il a recouru à la spectrométrie de fluorescence X à dispersion d'énergie. Cette méthode d'analyse non destructive des métaux, en usage dans le bâtiment et l'industrie, permet d'inventorier les matériaux présents dans un alliage. Elle a mis en évidence que les différentes parties des trombones

telles que la couronne, le pavillon ou la coulisse, sont faites de matériaux différents. Les plus fréquents sont le laiton, le tombac (un alliage plus rouge de cuivre) et le maillechort (alliage de cuivre, nickel et zinc). «Ce genre d'analyses est pratiqué pour les fouilles archéologiques», précise Tuchschnid. Jusque là, on n'avait aucune idée des matières employées dans les trombones historiques.

CHAUD, SOMBRE, DOUX

Le fabricant d'instruments Egger s'est appuyé sur ces résultats pour choisir ses matériaux et a construit les trombones

«L'embouchure du trombone s'apparente à un réacteur d'avion, son niveau sonore dépasse nettement le seuil de douleur de l'oreille humaine.»

sur le modèle des anciens – à la main. Son hypothèse: les répliques produiront un son plus chaud, plus sombre et plus doux que les instruments modernes. Ces traits peuvent être caractérisés physiquement par des mesures de fréquences et d'amplitudes. Pour éviter que le jeu des musiciens n'influence les mesures, Egger et les experts du département «Acoustique / Contrôle de bruit» de l'Empa ont construit un appareil qui met la colonne sonore des trombones en vibration de manière contrôlable.

Les chercheurs de l'Empa ont analysé le timbre des répliques et des originaux dans une chambre sourde. Le comportement des matériaux durant le jeu était scruté par un «Scanning Laser Doppler Vibrometer». Conclusion: les matériaux, la fabrication et le design des instruments ont une nette influence sur le timbre et la dynamique de l'instrument. «Nous avons pu montrer pour la première fois que les ondes stationnaires et

les matériaux utilisés dans la construction des instruments à vent de la famille des cuivres interagissent par résonance, avec un effet sensible sur la souplesse du jeu et le timbre», explique Armin Zemp, chercheur en acoustique à l'Empa.

Les analyses ont également fourni d'utiles indications pour la construction de l'instrument, par exemple sur la position idéale des renforts transversaux et sur le traitement thermique des pièces. «Lorsque la tôle est chauffée au rouge, les tensions internes se relâchent; cela modifie les vibrations et le son se fait plus doux», indique Zemp. Il a également été constaté que les alliages plus durs à teneur plus élevée en zinc et nickel produisaient un son plus puissant.

Les premières réactions d'experts ont montré que ces répliques étaient tout à fait convaincantes. Ian Bousfield, qui enseigne le trombone à la Haute école des arts de Berne, utilise déjà l'un de ces instruments lors des concerts de l'Orchestre symphonique de Bienne-Soleure: «Le public trouve parfois le son des répliques même plus expressif que l'original». ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s202

DEUXIÈME PLACE POUR SWISSLOOP



RÉUSSI
L'équipe Swissloop remporte la médaille d'argent au concours Hyperloop Pod.

Lors de la finale du concours SpaceX Hyperloop à Los Angeles, la capsule de transport «Claude Nicollier» de Swissloop a atteint l'impressionnante vitesse de 252 km/h sur le tronçon d'essai de seulement 1,25 km. Cela a valu aux étudiants de l'Empa, de l'EPFZ et d'autres hautes écoles suisses d'obtenir la seconde place. Ils ont également reçu un prix de l'innovation pour leur moteur linéaire à induction. Pour compléter la consécration suisse, une équipe de l'EPFL a remporté la troisième place du concours.

www.empa.ch/web/s604/swissloop

LA MOBILITÉ HYDROGÈNE EN LIVE

L'exposition Elmar-Expo du Musée des transports de Lucerne a été l'occasion pour un public de tous les âges de découvrir des motos électriques, une Vespa électrique et des vélos électriques de fabrication suisse. Les spécialistes de l'Empa et d'Avenergy Suisse étaient présents pour informer les visiteurs sur la mobilité hydrogène. La simulation Empa d'une station-service d'hydrogène a permis à chacun et chacune de se rendre compte personnellement de la rapidité et de la sécurité avec laquelle un véhicule pouvait faire le plein de ce carburant renouvelable.

www.empa.ch/de/web/s604/move700bar



L'AVENIR
Florian Freund, expert en hydrogène (à droite), explique la motorisation de la Hyundai Nexo.

Photos: Empa (2), Adam Keras



RECYCLAGE
La numérisation permet de nouvelles avancées dans le recyclage des métaux rares.

LA DIGITALISATION EN DIRECT

La Journée numérique suisse a réuni le 3 septembre plus de 90 partenaires autour du thème «Explorer ensemble le digital». Objectif: mieux faire connaître ce domaine à la population. L'Empa y a montré les progrès rendus possibles par le numérique dans le domaine de la médecine personnalisée et celui du recyclage de métaux rares.

www.digitaltag.swiss

ÉVÉNEMENTS

(EN ALLEMAND ET EN ANGLAIS)

30. OKTOBER 2019

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

4. NOVEMBER 2019

RFA-Seminar Digitalisierung im Bauwesen
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/rfa
Empa, Dübendorf

25.–27. NOVEMBER 2019

Kurs: Advanced X-Ray Diffraction
Methods for Coatings
Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.empa-akademie.ch/ccmx
Empa, Dübendorf

27. NOVEMBER 2019

Kurs: Polymerwerkstoffe für technische Anwendungen
Zielpublikum: Öffentlichkeit
www.empa-akademie.ch/polymerwerkstoffe
Empa, Dübendorf

28. NOVEMBER 2019

Sensors: from Academic Research to Industrial Use
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/technobriefing
Neuchâtel

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

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.

