

Empa **News**

Le périodique clients et grand public de l'Empa
7^e année / numéro 26 / juillet 2009



Tuning high-tech pour le microscope à force atomique 20

EMPA 
Materials Science & Technology

Des cerfs-volants Tensairity
pour la production d'électricité
04

Andreas Züttel fait campagne pour
l'hydrogène comme support d'énergie
10

Une balayeuse à pile
à combustible en action
15

«Il y en a tant qu'il y en a» n'est pas une solution

Nous menons une vie bien confortable: on trouve toujours de l'essence à la station-service, des repas chauds à la cantine et de l'électricité à chaque prise. L'énergie est tout simplement là. Toujours et (presque) partout. Il est certes énervant de constater que mois après mois le plein d'essence devient plus cher. Mais jusqu'ici cela n'était franchement pas un grand problème.

Et maintenant, la crise. Plus d'un commencent peut-être à comprendre que cela ne va pas continuer éternellement comme ça. Une évidence qui date déjà de la première crise pétrolière dans les années soixante-dix, mais bien oubliée depuis. Pourtant toutes les données disponibles montrent qu'il est grand temps d'entamer aujourd'hui plutôt que demain le passage à l'ère post-fossile.



L'Empa travaille depuis longtemps déjà sur les technologies nécessaires, par exemple sur le support énergétique prometteur qu'est l'hydrogène (voir Focus). Mais pour cela il ne suffit pas de surmonter des obstacles technologiques, il faut encore

aussi amorcer un changement des mentalités au sein de la société. Et c'est là le but du «World Resources Forum» qui aura lieu au mois de septembre à Davos (p. 23).

La nanotechnologie est le second thème central de ce numéro. Sa parution concorde avec la Nanoconvention qui se tiendra au début du mois de juillet à Zurich où – nous l'espérons – se déroulera à nouveau un débat animé et controversé sur les effets de cette «technologie clé du 21 siècle» sur l'économie, la société, l'environnement et la santé.

Michael Hagmann

Responsable de la communication



Avec de l'air
Des cerfs-volants Tensairity pour la production d'électricité 04



Page de titre

Des chercheurs de l'Empa ont combiné un microscope à force atomique (AFM, Atomic Force Microscope) avec un appareil de mesure des propriétés physiques macroscopiques (PPMS, Physical Properties Measurement System). Ce nouvel instrument aux performances élevées peut par exemple s'utiliser pour le développement des disques durs de mémoire du futur.



Avec de l'engagement
Andreas Züttel fait
campagne pour l'hydrogène 10



Avec de l'hydrogène
Une balayeuse à pile
à combustible en action 15



Avec un prix
Un pont de l'Empa convaincant
par son design et ses matériaux 19

Impressum

Editeur
 Empa
 Überlandstrasse 129
 CH-8600 Dübendorf
 www.empa.ch

Rédaction, lectorat,
maquette, impression
 Section Communication

Rédaction
 Téléphone +41 44 823 45 98
 Téléfax +41 44 823 40 31
 empanews@empa.ch

Parution trimestrielle

ISSN 1662-6532

- Recherche et développement
04 Une centrale énergétique ailée
- Recherche et développement
06 Poids plume solaire
- Recherche et développement
08 Le cristal impossible
- Recherche et développement
09 Les renverseurs de molécules
- Focus: l'hydrogène, support énergétique du futur**
- 10 «Nous pouvons résoudre le problème de l'énergie»**
- 13 La société de l'hydrogène en test pratique**
- 14 La cuisine à l'hydrogène**
- 15 C'est propre et ça nettoie**
- 16 Stockage complexe des gaz**
- 17 Une centrale énergétique décentralisée**
- 18 Naturellement artificiel**
- Transfert de savoir et de technologie
19 Tendu comme un arc
- Transfert de savoir et de technologie
20 Tuning high-tech pour le microscope à force atomique
- Transfert de savoir et de technologie
22 Les chaussettes argentées dans la machine à laver
- Transfert de savoir et de technologie
22 Davantage d'efficacité
- Transfert de savoir et de technologie
23 Nano? Oui, mais alors sûr.
- 24 Manifestations**

Une centrale énergétique ailée

Les éléments Tensairity formés de membranes, de tiges et de câbles ont déjà fait leurs preuves dans la construction comme structures porteuses extrêmement légères et pourtant stables. Mais cette technologie se prête-elle aussi à des utilisations en aéronautique, par exemple pour la structure porteuse de ces cerfs-volants? Des chercheurs de l'Empa explorent actuellement cette possibilité – et font s'élever dans les airs leurs premiers objets de démonstration.

TEXTE: Martina Peter / PHOTOS: Empa



1
Ce cerf-volant ultraléger d'une envergure de 8 mètres ne pèse que 3 kilogrammes.

2
Lors des essais de remorquage, le cerf-volant monte dans les airs tiré par une voiture.

3
Un des prototypes de cerf-volant Tensairity dans le laboratoire du «Center for Synergetic Structures».



Replié comme une chauve-souris endormie, un paquet, formé de membranes de plastique, de tiges et de fins câbles soigneusement assemblés, attend son prochain vol. «Nous désirons savoir si les éléments Tensairity se prêtent aussi à la construction d'ailes de cerfs-volants» explique Rolf Luchsinger qui dirige le «Center for Synergetic Structures» à l'Empa. Les éléments porteurs Tensairity, composés d'une membrane gonflée d'air, de tiges et de câbles, sont actuellement déjà utilisés dans la construction, par exemple comme poutres d'une portée de 28 mètres de la toiture d'un parking couvert à Montreux. Ces poutres gonflables extrêmement légères peuvent aussi s'utiliser pour la réalisation d'ouvrages temporaires, tels que des ponts, partout où leur construction doit pouvoir s'effectuer rapidement et simplement.

Maintenant les chercheurs se proposent d'ouvrir un nouveau domaine d'application à ces structures porteuses. Une démarche logique puisque la légèreté est une exigence fondamentale en aéronautique. «Comment passer des poutres aux ailes?» se sont demandé Luchsinger et son équipe. Des ailes extralégères pour les cerfs-volants ne sont pas uniquement intéressantes pour des applications en sport et en loisirs, elles le sont aussi dans le domaine de l'ingénierie. Par exemple pour réaliser des cerfs-volants tracteurs qui utilisent la force du vent pour tirer, comme «moteur accessoire», les cargos à propulsion diesel sur les mers du monde. Ces «kites» pourraient aider les compagnies maritimes à réduire leurs frais élevés de carburant.

Mais on peut aussi envisager de se servir de ces cerfs-volants pour l'utilisation de l'énergie éolienne. Les cerfs-volants, et c'est là l'idée, s'élèvent à plusieurs kilomètres d'altitude attachés à leur câble. L'élévation sous l'action du vent met en mouvement un système de treuil couplé à un générateur qui produit du courant. Une fois arrivé à l'altitude prévue, le cerf-volant replie ses ailes et se laisse descendre en direction du sol pour ensuite reprendre son ascension. Un domaine d'utilisation captivant pour ces structures ultralégères car, pour une utilisation efficace de l'énergie éolienne, ces cerfs-volants doivent être de très grande taille.

Où se situent les limites ?

Luchsinger et son équipe se sont donné pour but de construire un cerf-volant gonflable qui, grâce à une utilisation judicieuse des matériaux, soit léger, stable et efficace. «Un prototype de démonstration doit nous permettre de trouver quels sont les points cruciaux sur le plan de la dynamique de vol et de déterminer si un cerf-volant Tensairity présenterait le cas

échiant des avantages par rapport aux objets volants traditionnels» déclare Luchsinger.

Déjà lors d'un stage pratique, le collaborateur de Luchsinger, Joep Breuer, qui a effectué des études en aéronautique et en aérospatiale à l'Université de Delft, a travaillé sur la conception et la réalisation d'ailes Tensairity. «Joep a sûrement déjà cousu plusieurs centaines de mètres d'Icarex, ce tissu léger utilisé pour les cerfs-volants», explique Luchsinger. Il est important que la conception d'un tel produit ne s'effectue pas uniquement sur la planche à dessin. «Seuls les tests sur des objets réels nous permettent finalement de savoir si cela fonctionne ou pas».

C'est ainsi que sont nées un grand nombre d'idées de cerfs-volants de tailles et de formes différentes et finalement aussi une série de modèles présentant un comportement statique et dynamique convainquant: plus leurs longerons d'aile remplis d'air sont fins et plus les cerfs-volants présentent une force ascensionnelle efficace pour la production d'électricité. Tout est là affaire de synergie, de l'interaction entre des composants en matériaux aux propriétés différentes, soit entre les membranes remplies d'air, les tiges et les câbles que les scientifiques assemblent pour créer une nouvelle unité.

Le plus grand cerf-volant Tensairity que Luchsinger et son équipe ont développé et soumis à des essais de charge statique en laboratoire a une envergure de huit mètres et une surface de onze mètres carrés. Avec une masse de 2,5 kilogrammes, il est dimensionné pour développer une force de traction de 1000 Newtons. Théoriquement ce cerf-volant pourrait monter à une altitude de 4000 mètres au-dessus du sol. Le record du monde est en effet actuellement de 4000 mètres et il a été atteint dans la grande prairie du middle West canadien. «Là tout est plat jusqu'à l'horizon», explique Luchsinger qui parle encore des défis que posent les tests de ses engins volants. Car, après de longs calculs et une construction couronnée de succès, lui et son équipe de scientifiques désirent naturellement obtenir une réponse à ces questions: Ce cerf-volant monte-t-il bien? Et jusqu'à quelle altitude? Son vol reste-t-il stable même à grande vitesse? Et – à ne pas oublier – est-ce qu'il redescend sans dommage à la fin de son vol? Les réponses pouvaient être apportées par des tests de remorquage à l'air libre.

Essai de vol en plein ciel du cerf-volant

Partir de l'Empa pour se rendre dans un champ et laisser monter le cerf-volant était impossible. Luchsinger explique pourquoi: «En Suisse il faut une autorisation spéciale pour faire voler des cerfs-volants à plus de 60 mètres au-dessus du sol». Après réserver

Poids plume solaire

Voler autour du monde avec la seule énergie solaire, cela pourrait bientôt déjà devenir une réalité. Solar Impulse doit devenir le premier avion à propulsion solaire à effectuer le tour du monde sans carburant. Après de longs travaux de recherche et de développement, cet avion solaire va bientôt être construit. Cela grâce aussi aux nombreux travaux de développement de différentes institutions. Et parmi elle, l'Empa qui a apporté son savoir faire principalement dans le choix des matériaux appropriés.

TEXTE: Michael Hagmann / PHOTO: Solar Impulse

>>

vation d'une piste de l'aérodrome militaire de Dübendorf, ils ont pu procéder à de premiers essais de remorquage à faible altitude. Lors de ces premiers essais, l'airbag monté dans le nez du cerf-volant pour éviter le pire lors des «atterrissages non contrôlés» s'est révélé des plus utiles. Mais l'autorisation de vol n'est pas tout, les conditions météorologiques et de vent sont aussi importantes. «Pour ces essais de remorquage, il faut autant que possible qu'il n'y ait pas de vent», explique Luchsinger.

Les chercheurs eurent de la chance: l'autorisation était là et les conditions excellentes lorsque il y a eu de temps Luchsinger et ses collègues ont procédé à d'autres essais de remorquage sur un ancien aérodrome militaire dans l'Oberland bernois. Attaché à une voiture, le cerf-volant a été tiré à une hauteur de 50 mètres sur une distance d'un kilomètre. Et il est aussi redescendu sans encombre – le plus souvent sans que l'airbag ait dû entrer en action.

«Notre système fonctionne», conclut ainsi Luchsinger. «Notre cerf-volant Tensairity a répondu à nos attentes et il résiste aux forces qui agissent sur lui.» Ces chercheurs pensent maintenant déjà à leur prochaine vision - un cerf-volant d'une envergure de 30 mètres dont les membranes seront remplies d'hélium et qui pourra continuer à planer en altitude même en absence de vent.

Ce nouveau concept d'aile ne se prête pas seulement à la construction de cerfs-volants mais possède aussi un potentiel pour des applications en sport ou pour la réalisation d'engins volants sans pilote. Une application comme plateforme de communication est aussi envisageable: un cerf-volant plateforme (HAPS, «High Altitude Platform System») volant à grande altitude pourrait remplacer les satellites pour la transmission de signaux radio ou téléphoniques. //

Le cerf-volant Tensairity après le succès des tests de remorquage dans l'Oberland bernois.





Voler doit devenir plus écologique. Le projet Solar Impulse dû à l'initiative du pionnier du vol libre Bertrand Piccard marque un premier pas. Certes Solar Impulse n'est pas le premier avion solaire mais il est le premier qui doit aussi voler de nuit et cela avec l'aide de batteries au lithium qui stockent l'énergie solaire pour la nuit.

Non seulement les ailes avec leur mince «peau» de cellules photovoltaïques mais aussi chacun des composants de la chaîne de propulsion ont dû être optimisés pour le Solar Impulse. Dans cela, un point important est le design de l'avion et les matériaux utilisés pour sa réalisation. L'Empa a fourni là une contribution importante avec la détermination expérimentale des propriétés mécaniques et ther-

miques des stratifiés et de éléments en fibres de carbone ainsi que des feuilles de couverture du fuselage et de la voilure. «Ce sont là des paramètres importants pour le dimensionnement des éléments de construction» explique Giovanni Terrasi qui dirige le laboratoire «Mechanical Systems Engineering». L'objectif était d'optimiser le design et la sécurité de l'avion et de le rendre ainsi plus léger plus résistant et plus sûr.

Un objectif atteint: Solar Impulse présente une envergure de 61 mètres, presque égale celle d'un airbus A340, mais son poids n'atteint qu'une minime fraction de celui de ce dernier. Le roll-out du premier prototype devrait avoir lieu mi-2009 et sera suivi des premiers vols d'essai. //



Emission TV

Le 21 mai 2009, dans son émission «Einstein», la télévision suisse alémanique a diffusé un reportage sur les cerfs-volants Tensairity. La vidéo «Drachen als Stromproduzenten» peut être visionnée sur Internet sous l'adresse Web <http://www.sf.tv/sendungen/einstein/sendung.php?docid=20090521>

Le cristal impossible

Des molécules qui possèdent une symétrie pentagonale s'ordonnent sous forme de cristaux bidimensionnels – bien que cela soit théoriquement impossible. Les chercheurs de l'Empa et de l'Université de Zurich ont récemment trouvé une explication à cela en suivant à l'aide du microscope à effet tunnel les processus complexes de cette cristallisation.

TEXTE: Martina Peter

Ce que nous faisons n'est en fait théoriquement pas du tout possible», explique en riant Karl-Heinz Ernst du laboratoire «Nanoscale Materials Science» de l'Empa qui parle ici de ses molécules à symétrie pentagonale qui se disposent de manière aussi compacte que possible sur une surface pour former des cristaux bidimensionnels. Une chose considérée comme impossible en cristallographie – cela pour la même raison qu'un assemblage de carreaux en forme de pentagones réguliers ne permet pas de réaliser un pavage exempt de lacunes. A moins que d'utiliser d'autres formes géométriques pour obtenir un plan complet.

Avec Jay Siegel de l'Institut de chimie de l'Université de Zurich, Ernst a étudié des molécules de corannulène. Ces molécules, qui possèdent une symétrie pentagonale, présentent une forme bombée – comme une coupe – et sont considérées comme étant des fragments de molécules de fullerène de Buckminster, aussi dénommés buckyballs, et elles sont ainsi aussi désignées sous le nom buckybowls. Les atomes de carbone des molécules de corannulène sont ordonnés en cinq hexagones autour d'un anneau central pentagonal. Les

chercheurs pensent que le corannulène et ses dérivés pourraient jouer un rôle important dans le développement de nouveaux matériaux, en particulier pour la photovoltaïque et l'électronique.

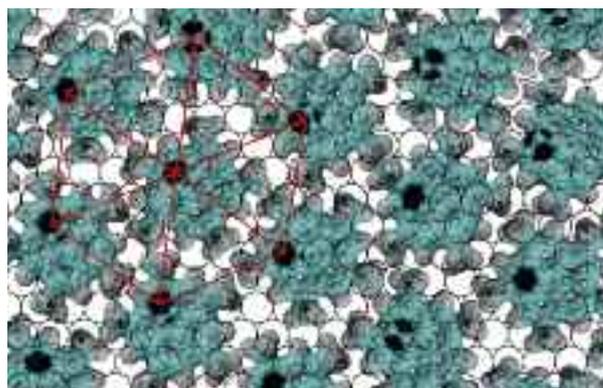
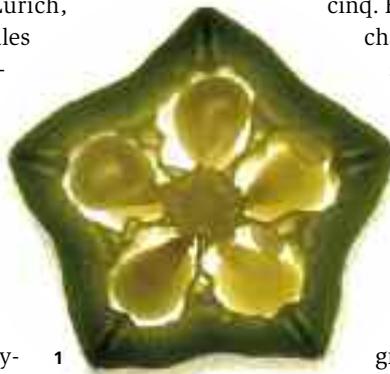
Une grille cristalline presque régulière

Pour observer comment des molécules présentant une symétrie pentagonale s'ordonnent pour former des cristaux bidimensionnels sur une surface, les chercheurs de l'Empa ont eu recours au microscope à effet tunnel. Ils s'attendaient à voir soit une structure irrégulière, soit un agencement parfait des molécules mais alors avec une symétrie de la grille cristalline différant de l'ordre cinq. En réalité les molécules «trichaient» pour atteindre un assemblage aussi compact que possible sur la surface et «basculaient» pour abandonner la symétrie d'ordre cinq.

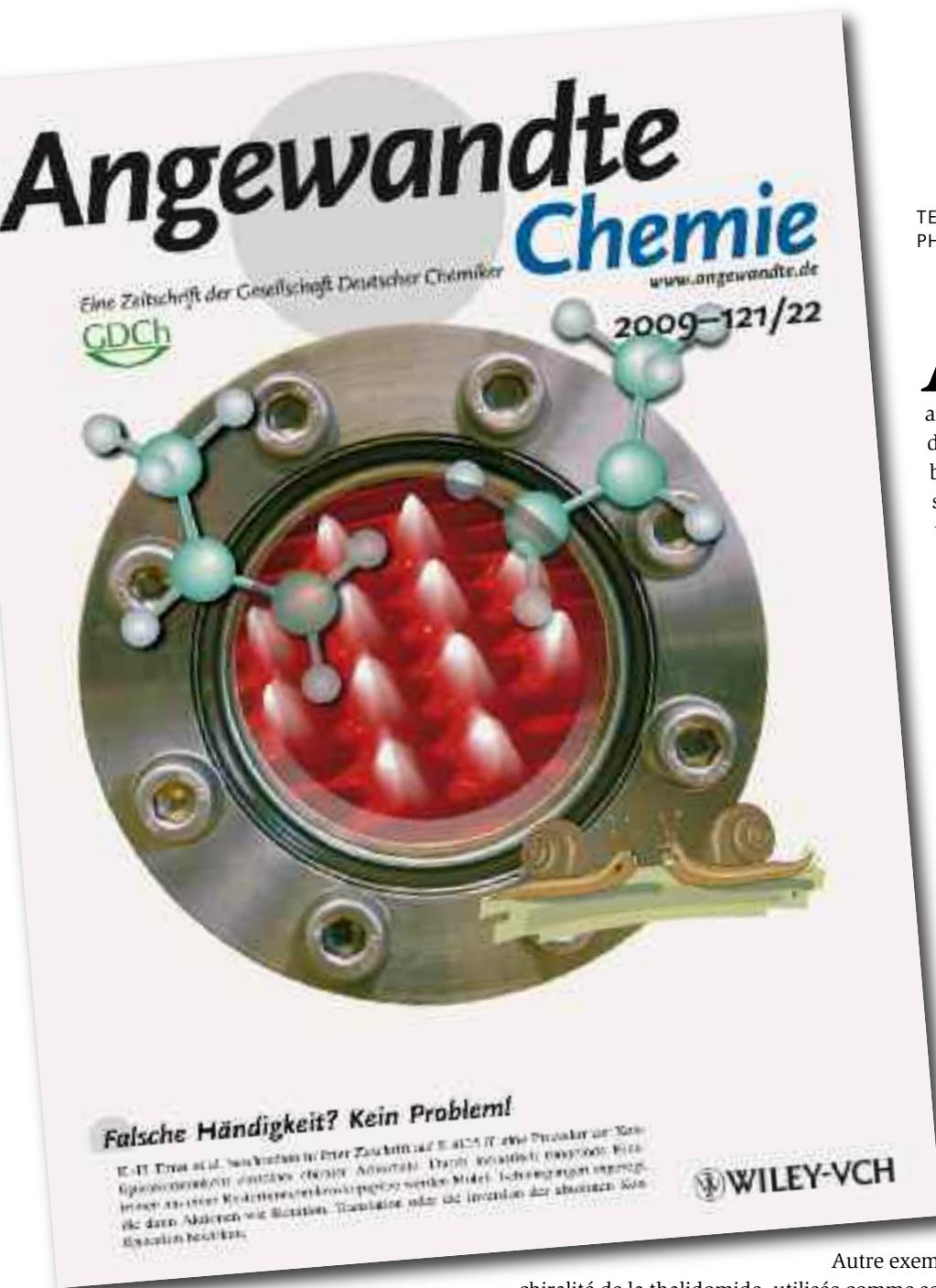
«Dans une expérience suivante nous avons utilisé des molécules possédant des groupes latéraux volumineux empêchant ce basculement et qui contraignaient les molécules à conserver une symétrie d'ordre cinq», explique Ernst. Malgré cela ces molécules formaient un assemblage compact et se disposaient dans une grille hexagonale dans le cristal bidimensionnel qui présentait alors une symétrie d'ordre six. Cependant par rapport aux molécules possédant une symétrie hexagonale, les molécules de corannulène se différencient dans leur agencement parallèle à la surface. Les résultats de ce travail, publiés récemment dans la revue scientifique «Journal of the American Chemical Society», avaient été prédits aussi bien par des simulations mathématiques qu'à l'aide de modélisations mécaniques simples avec des pentagones de polystyrène expansé ou d'aluminium placés sur des coussins d'air ou sur une table vibrante. //

1 Les molécules de «buckybowl» ne sont pas les seules à posséder une symétrie d'ordre cinq; en coupe, les capsules d'okra elles aussi présentent une telle symétrie. (Photo: iStock)

2 Exemple d'un ordonnancement de dérivés du penthaméthylcorannulène: les atomes en noir montrent la grille de symétrie hexagonale régulière autour de laquelle les molécules de symétrie d'ordre cinq «s'agglutinent». (Photo: Empa)



Les renverseurs de molécules



TEXTE: Martina Peter /
PHOTOMONTAGE: Anton Koster

Afin d'étudier les réactions chimiques qui se déroulent sur les surfaces, Manfred Parschau a excité des molécules isolées avec une précision élevée à l'aide d'un faisceau d'électrons dans un microscope électronique à balayage (MEB). Les molécules ainsi excitées se mettaient alors à gigoter, puis à sautiller, à tourner autour de leur axe, mais aussi à «s'inverser» en un clin d'œil, autrement dit à se transformer en leur image miroir. Cette propriété, appelée chiralité, passionne Parschau et son collègue Karl-Hienz Ernst: dans la nature de telles paires semblables et pourtant différentes, dont l'une des formes est appelée lévogyre et l'autre dextrogyre, qui ne sont pas superposables ni par rotation ni par retournement, sont fréquentes. Des exemples typiques d'objets chiraux sont nos deux mains et les coquilles d'escargot ou encore des minéraux de même que de nombreuses biomolécules telles que l'ADN et les protéines. Ces dernières n'apparaissent presque exclusivement que dans une de leurs deux formes possibles. Ces paires de molécules images miroirs l'une de l'autre peuvent – malgré des caractéristiques physiques et une composition chimique identiques – présenter des effets biologiques totalement différents. Ainsi, par exemple, le carvone présente une odeur soit de menthe soit de cumin suivant sa forme dextrogyre ou lévogyre.

Autre exemple, dramatique celui-là: dans les années 1960 la chiralité de la thalidomide, utilisée comme somnifère, a eu des conséquences désastreuses: sa forme dextrogyre amenait le sommeil souhaité alors que sa forme lévogyre provoquait de graves malformations du fœtus chez les femmes enceintes.

Cette étude a eu les honneurs de la deuxième page de couverture de la revue scientifique *Angewandten Chemie*, Volume 48 Issue 22, numéro du 8 mai (voir photo) et a été choisi comme «Research Highlight» par la revue scientifique *Nature Nanotechnology* (online, 20 février 2009). //

A hand is shown holding a ball-and-stick molecular model. The model consists of black and yellow spheres connected by thin rods. The background is a blurred image of a computer keyboard. The text is overlaid on a semi-transparent white box.

«Nous pouvons résoudre le problème de l'énergie»

Les réserves des supports énergétiques fossiles s'amenuisent alors que la soif d'énergie des pays émergents grandit et que les pays industrialisés consomment année après année toujours davantage d'énergie. Et cela alors qu'il faut réduire les émissions de CO₂ pour au moins ralentir le réchauffement climatique. Partout dans le monde on crée des parcs éoliens, des installations solaires et des centrales énergétiques à biomasse; on assiste même à une renaissance de l'énergie nucléaire. Mais tout cela ne constitue pas encore une réponse claire sur la façon de résoudre le problème énergétique.

INTERVIEW: Ivo Maruszyk / PHOTO: Ruedi Keller

Andreas Züttel, directeur du programme de recherche «Matériaux pour les techniques énergétiques» de l'Empa.

Le laboratoire «Hydrogène et énergie» de l'Empa effectue des travaux de recherche sur des solutions au problème de l'énergie. Les EmpaNews ont demandé à Andreas Züttel, qui dirige le programme de recherche «Matériaux pour les techniques énergétiques» de l'Empa, pourquoi il est persuadé que l'hydrogène est la solution pour remplacer les supports énergétiques fossiles et quand nous pourrions enfin rouler avec des voitures à hydrogène.

Monsieur Züttel, pourquoi misez-vous sur l'hydrogène?

Parce que je suis convaincu que nous devons rechercher un nouveau support énergétique. Nous avons l'habitude de trouver tout simplement de l'énergie à la station-service. Dans l'avenir aussi ce besoin va persister, c'est là affaire de commodité. Et si nous devons renoncer aux carburants fossiles – que ce soit du fait de l'épuisement des ressources ou pour freiner le réchauffement climatique – il nous faut une alternative. L'hydrogène en constituera très certainement un élément important, pour ne pas dire qu'il deviendra LE support énergétique par excellence.

Pourquoi en êtes-vous si certain?

Le manque d'autres possibilités. Il n'existe pas tellement de substances qui entrent en ligne de compte comme support énergétique. Et l'hydrogène est la seule que nous puissions produire aujourd'hui déjà. Et en le liant à l'azote ou au carbone, nous pourrions même produire un carburant synthétique. Ce serait un pas gigantesque pour nous libérer définitivement des carburants et des combustibles fossiles.

Tous ne croient pas à l'avenir de l'hydrogène. Le gouvernement US vient de couper toutes les subventions dans ce domaine, il mise sur la voiture électrique plutôt que sur celle à hydrogène.

Je considère que c'est un pas fatal dans la mauvaise direction. Le gouvernement US va bientôt se rendre compte que les véhicules électriques ne peuvent pas offrir ce qu'offrent les voitures à essence. Il faut des batteries énormes pour fournir à une voiture électrique l'énergie équivalente à un plein de carburant fossile. Pour remplacer 70 litres de diesel, il faut par exemple une batterie d'une tonne. Ou pour les avions: des batteries capables d'emmagasiner autant d'énergie que 100 tonnes de kérosène pèseraient près de 4000 tonnes, soit dix fois le poids au décollage d'un airbus A380.

Et qu'en est-il de la densité énergétique de l'hydrogène ?

La densité énergétique de l'hydrogène est bien plus proche de celle des carburants fossiles. En doublant le volume du réservoir on arrive tout de même à parcourir la moitié de la distance atteinte avec du carburant fossile.

Mais, au contraire du diesel ou de l'essence, il n'est pas aussi simple de faire le plein avec l'hydrogène. Sur les voitures à hydrogène de la première génération, l'hydrogène diffusait tout simplement à travers l'enveloppe du réservoir qui se vidait alors de lui-même.

Ce problème a entre-temps été résolu. Les réservoirs stationnaires sont maintenant fabriqués avec des aciers inoxydables spéciaux et les réservoirs mobiles, en aluminium renforcé de composites fibres de carbone/résine époxyde.

>>

Et la fragilisation des matériaux au contact de l'hydrogène?

Avec le temps les réservoirs vieillissent par fatigue du matériau, c'est exact. Mais il existe aujourd'hui déjà des réservoirs qui peuvent tenir des années.

Il faut toutefois toujours stocker l'hydrogène sous très haute pression ou le refroidir à moins 253 degrés Celsius pour qu'il reste liquide.

C'est vrai et nous n'atteignons par encore la même densité énergétique qu'avec les carburants fossiles. Mais il existe plusieurs approches prometteuses. Nous menons actuellement des travaux intensifs sur les hydrures, des composés métalliques spéciaux qui absorbent l'hydrogène comme une éponge et peuvent ensuite à nouveau le céder (voir page 16).

Il y a eu et il y a je ne sais combien de prototypes de véhicules. Des bus à hydrogène circulent à Berlin et à Hambourg, Mazda et BMW présentent avec fierté à toutes les occasions leurs modèles à hydrogène. Mais nombreux sont ces projets qui ont été à nouveau enterrés. Quand la voiture à hydrogène pour monsieur ou madame tout le monde deviendra-t-elle enfin réalité?

Cette voiture arrivera lorsque les gens voudront bien l'acheter. Par rapport à l'essence et au diesel, l'hydrogène ne présente encore actuellement aucun avantage ni pour l'industrie automobile ni pour le consommateur. C'est la raison pour laquelle il n'est pas accepté. Pour que l'hydrogène devienne le nouveau support énergétique durable, il faut remanier l'ensemble du système économique et c'est là que réside le problème. Notre économie et la société sont axées sur la combustion des supports énergétiques fossiles. Cela ne changera que lorsque les énergies renouvelables offriront des avantages importants à ce système. Tant que les supports énergétiques fossiles sont disponibles et encore plus ou moins bon marché, aucun autre système ne parviendra à s'imposer. Mais le temps travaille pour les alternatives, finalement les réserves de combustibles fossiles ne sont pas inépuisables.

Sur le plan purement technique, pourrait-on opérer ce passage aujourd'hui déjà ?

Presque. Nous sommes à ce point avancés que nous pouvons montrer que la voiture à hydrogène est réalisable. Mais la technique n'est pas encore mûre pour la série. Pour cela les développeurs doivent encore surmonter quelques obstacles. Pour ce qui est des prototypes – par exemples les bus de Berlin – on n'a pas précisé que ce sont des véhicules spéciaux avec des chauffeurs formés spécialement à cet effet. Ces véhicules ne sont pas encore aptes à une utilisation courante, ce qu'on se garde bien de préciser. Mais pas de souci, nous y arriverons.

Le choc pétrolier de l'année dernière semble avoir été surmonté. Cela signifie-t-il que les modes de propulsion alternatifs ont maintenant à nouveau de moins bonnes cartes en main?

Non, le prix du pétrole augmente à nouveau, et il continuera d'augmenter. Et nous aurons alors la prochaine crise. Il ne sera plus possible de se cramponner à l'ancien système reposant sur les carburants fossiles. Il nous faudra soit réduire nos besoins soit miser sur une alternative.



En conversation avec des politiciens aussi: Andreas Züttel avec le Conseiller fédéral Moritz Leuenberg (à droite) au mois de janvier 2009 lors du World Future Energy Summit à Abou Dhabi (EAU). A gauche, le président de l'EPFZ Ralph Eichler.

Les Européens se considèrent volontiers comme des pionniers en matière de protection du climat et d'énergies renouvelables. A tort ou à raison?

Je pense que nous autres Européens sommes très naïfs. Nous espérons simplement que quelqu'un résolve les problèmes pour nous. Comparée à celle des USA, notre puissance politique est faible, mais nous espérons tout de même encore recevoir du pétrole lorsqu'il deviendra rare. Et en même temps nous misons sur le mauvais cheval. Une grande partie de l'argent alloué à la recherche s'évapore dans l'espoir d'un réacteur à fusion nucléaire dans un futur incertain, alors que chacun sait qu'il ne faut pas s'attendre à une percée dans ce domaine avant plusieurs décennies. Cela m'effraie que l'Europe n'ait pas la force de s'attacher au développement de solutions durables au problème de l'énergie.

Et la Suisse en particulier ?

La Suisse s'est longtemps vantée de produire beaucoup d'électricité avec la force hydraulique, autrement dit de l'énergie propre. Mais c'est trop peu, d'autant plus

que nombre de centrales hydroélectriques servent pour une grande part de réservoir de stockage pour l'électricité nucléaire. Pour d'autres énergies renouvelables, nos voisins sont en avance. Un exemple: en Europe il existe entretemps un réseau de stations d'hydrogène, de sorte que je peux rouler à l'hydrogène de l'Allemagne du Nord jusqu'en Sicile – ce n'est qu'en Suisse que ce réseau présente une lacune. Nous devons commencer à injecter dans les réseaux de distribution autant d'énergies renouvelables que possible. C'est pourquoi je considère qu'il est faux de limiter la rémunération du courant produit avec des sources d'énergie renouvelables lors de son injection dans le réseau de distribution public.

Cela signifie-t-il que le problème n'est pas pris au sérieux?

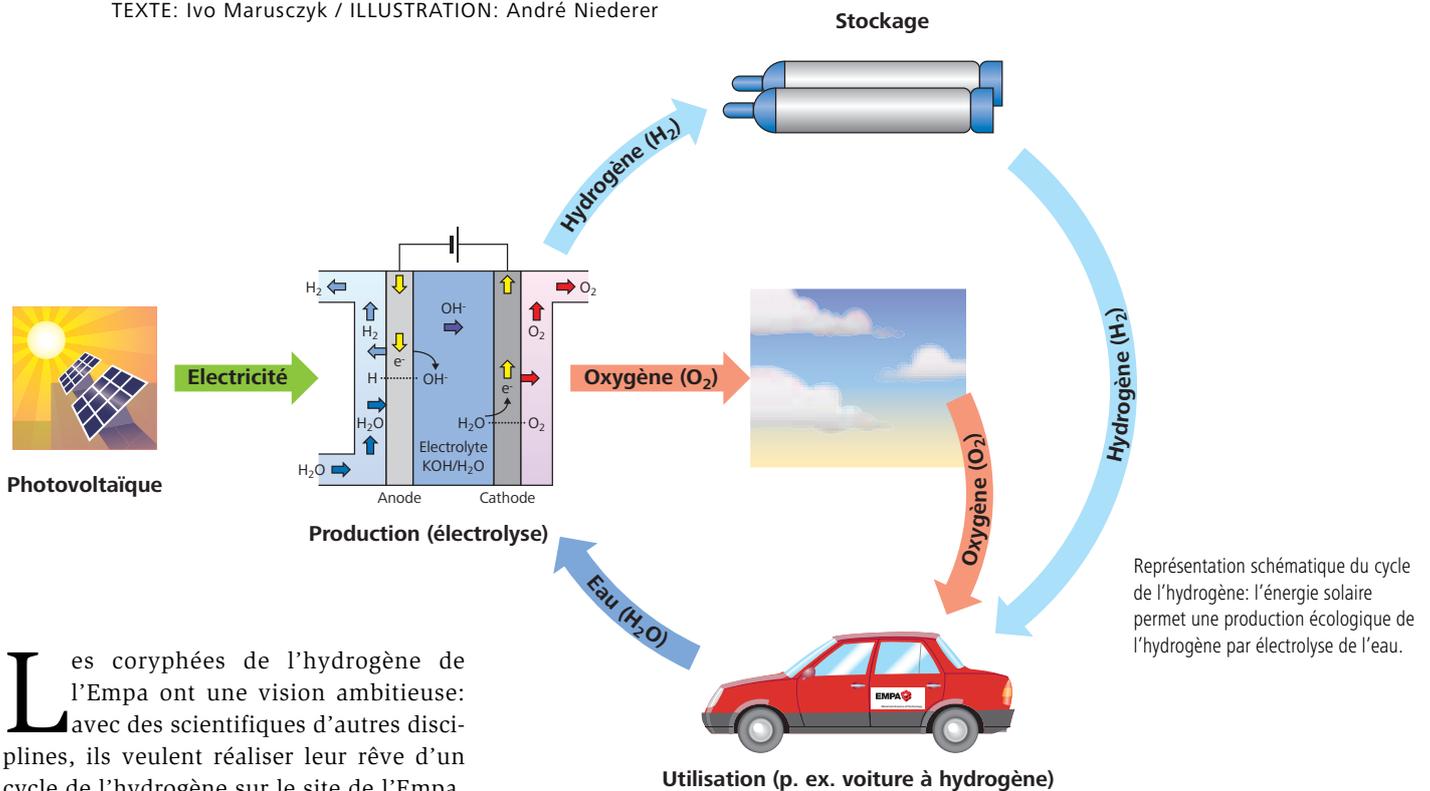
Nous pouvons résoudre le problème de l'énergie, j'en suis convaincu. Mais je doute qu'on puisse convaincre les hommes que d'importants changements sont nécessaires pour cela. Je crains fort que nous devions passer tout d'abord par une crise grave. //

«Notre économie et la société sont axées sur la combustion des supports énergétiques fossiles.»

L'Empa, bientôt avec son propre cycle de l'hydrogène?

L'hydrogène pourrait devenir le support énergétique qui nous libérera de la dépendance du pétrole et du charbon. Mais au contraire des combustibles et des carburants fossiles, l'hydrogène demande tout d'abord à être produit – en recourant à de l'énergie renouvelable. L'Empa désire donner le bon exemple: bientôt déjà elle pourrait montrer comment fonctionne en pratique un cycle de l'hydrogène.

TEXTE: Ivo Marusczyk / ILLUSTRATION: André Niederer



Les coryphées de l'hydrogène de l'Empa ont une vision ambitieuse: avec des scientifiques d'autres disciplines, ils veulent réaliser leur rêve d'un cycle de l'hydrogène sur le site de l'Empa.

Dans quelques années déjà, les toits des bâtiments de l'Empa pourraient briller d'un éclat bleuté. Jusqu'à 5000 mètres carrés de la surface des toits, soit presque l'équivalent d'un terrain de football, pourraient servir à l'aménagement d'une installation photovoltaïque. Le courant fourni par ces piles solaires alimentera une centrale d'électrolyse décomposant l'eau en hydrogène et en oxygène.

L'hydrogène ainsi produit devrait suffire pour alimenter 20 voitures, soit suffisamment pour l'ensemble du parc automobile de l'Empa. Leurs tuyaux d'échappement ne laisseront alors s'échapper que de la vapeur d'eau au lieu de polluants. De plus, cet hydrogène pourra s'utiliser à des fins chimiques dans ses laboratoires.

Toutefois l'utilité des installations photovoltaïques dans le climat nuageux de l'Europe centrale est controversée. Pour

l'approvisionnement en énergie de l'ère post-fossile, certains chercheurs préconisent la réalisation de gigantesques fermes solaires dans le Sahara et d'autres régions désertiques du globe. Toutefois le chercheur de l'Empa Andreas Züttel relève que le rayonnement solaire sur le site de l'Empa atteint tout de même la moitié de celui existant au Sahara et il est convaincu que son exploitation en vaut la peine.

Réalisation malgré l'absence de subventions

Züttel estime le coût de ce projet pilote de production d'hydrogène à 1.5 millions de francs. A son grand regret, l'Office fédéral de l'énergie lui a refusé son soutien, ce qui

en retardera la concrétisation. «Nous devons tout simplement réaliser ce cycle de l'hydrogène par étapes, mais je suis sûr que cela va marcher», déclare avec confiance Züttel.

Car finalement ce projet pilote touche plusieurs domaines de recherche de l'Empa, avant tout la photovoltaïque et la recherche sur la mobilité. La conversion déjà planifiée de la station-service de l'Empa au gaz naturel crée déjà les conditions pour la réalisation d'une station d'alimentation en hydrogène, ce qui comblerait une grande lacune dans le réseau européen d'alimentation en hydrogène. D'autres parties de cette installation seront réalisées dans le cadre des activités de recherche de l'Empa, jusqu'à la fermeture complète de ce cycle. //

La cuisine à l'hydrogène

Pour la cuisine, nous utilisons normalement une cuisinière à gaz ou électrique. Dans le projet «SELF», ce n'est pas le cas. SELF est une micro-maison qui produit elle-même (en anglais self) l'énergie qu'elle consomme. Les scientifiques de l'Empa ont développé un nouveau type de réchaud pour la production de chaleur. Cette nouvelle génération de cuisinières fonctionne à l'hydrogène.

TEXTE: Simon Berginz / PHOTO: Empa

Le but de ce projet était de réaliser une micro-maison fonctionnant en autarcie, soit sans alimentation énergétique extérieure. La micro-maison «SELF» produira elle-même l'énergie nécessaire pour y habiter et y vivre. Le gaz butane pour un réchaud à gaz ne se laisse pas produire comme ça et les précieuses réserves d'énergie électrique stockées dans les batteries lithium-ion sont réservées à l'éclairage, à l'ordinateur mobile et au réfrigérateur.

L'ingénieur en sciences des matériaux de l'Empa Ulrich Vogt a donc développé un prototype d'un nouveau réchaud. Ce réchaud utilise un brûleur catalytique de la firme Radiamon. Ce brûleur se compose d'un boîtier métallique renfermant des fibres revêtues d'un catalyseur et comporte en bas et sur le côté des raccords pour le gaz. «Le revêtement catalytique, en l'occurrence du platine, fait que l'hydrogène réagit avec l'oxygène de l'air et brûle sans source d'alimentation extérieure», explique Vogt. Ceci permet d'obtenir des températures de 200 à 400 degrés Celsius, suffisamment élevées pour chauffer une plaque de vitrocéramique. Une méthode de cuisson très écologique car ce réchaud à hydrogène ne dégage que de la vapeur d'eau.

Un principe bien connu

L'hydrogène nécessaire, SELF le produit par électrolyse de l'eau (H_2O), qui est décomposée en hydrogène et en oxygène (H_2 et O_2) à l'aide d'énergie électrique. L'eau peut par exemple être fournie par la pluie après épuration. L'hydrogène ainsi produit est accumulé dans des hydrures métalliques (voir article pages 16/17). L'hydrogène nécessaire peut alors être «tiré» facilement de ce réservoir de stockage. En plus de la cuisson, la chaleur produite peut encore servir au chauffage d'une partie de l'habitation.

L'hydrogène, une bonne alternative

SELF produit son électricité à l'aide des cellules photovoltaïques incorporées à son toit. Mais alors pourquoi ne pas utiliser cette électricité directement sur un réchaud électrique? Les batteries supplémentaires nécessaires seraient trop lourdes pour cette micro-maison dont le poids ne doit pas excéder cinq tonnes pour demeurer facilement transportable. C'est ainsi pourquoi l'hydrogène est utilisé pour fournir la chaleur nécessaire à la cuisson. Cet hydrogène est produit en été avec l'excédent d'électricité et est ensuite stocké pour servir à la cuisson et au chauffage en hiver.

Le développement de cette nouvelle cuisinière semble avoir inspiré les scientifiques de l'Empa. Ils pensent en effet déjà au développement d'un autre appareil de cuisine fonctionnant à l'hydrogène. «Nous avons déjà en tête un concept de grill à hydrogène», annonce Vogt. //





Depuis la mi-mai, Bâle possède une attraction supplémentaire: ses rues et ses places sont nettoyées par le «Bucher CityCat H₂», le premier véhicule communal au monde propulsé par une pile à combustible qui va être testé sous toutes ses coutures durant 18 mois. Cette balayeuse baptisée hy.muve a été développée par des chercheurs de l'Empa et de l'Institut Paul Scherrer (PSI) en collaboration avec plusieurs partenaires industriels.

TEXTE: Michael Hagmann / PHOTO: Juri Weiss

Les piles à combustible sont considérées comme la source d'énergie propre pour la mobilité du futur; elles transforment l'hydrogène directement en électricité qui est alors utilisée par exemple pour propulser le moteur électrique du véhicule. Avantage de taille: aucun polluant ne sort de leur «tuyau d'échappement», mais seulement de la vapeur d'eau qui se forme lors de la réaction chimique de l'hydrogène avec l'oxygène dans la pile. Dans les zones sensibles que sont les zones piétonnières, les halles des gares ou même dans des locaux fermés, tels que les halles d'exposition, de tels véhicules communaux sont nettement moins polluants que les véhicules conventionnels le plus souvent équipés de moteurs diesel.

Un accélérateur pour la technologie de l'hydrogène

«Ce projet ne doit pas seulement montrer qu'une balayeuse peut être propulsée à l'hydrogène, ce qui est trivial», déclare le chef de ce projet Christian Bach qui dirige le labora-

toire «Moteurs à combustion» de l'Empa. «Nous désirons faire passer la technologie des piles à combustible du laboratoire dans la rue – dans la pratique réelle.» Par ailleurs, il s'agit aussi de tester le comportement en exploitation de cette technologie et le vieillissement des composants dans des conditions d'utilisation quotidiennes «tout à fait normales». Cela tout d'abord à Bâle, puis à St-Gall et dans d'autres villes de Suisse. Mais ce n'est pas tout: ce projet dénommé «hy.muve» (hydrogen-driven municipal vehicle) sert encore de plateforme de recherche pour des études socio-économiques sur l'acceptance de la technologie de l'hydrogène, sur son introduction sur le marché et sur sa rentabilité.

Les véhicules communaux, qui se déplacent en majeure partie à faible charge, sont particulièrement bien adaptés à ce mode de propulsion et ils peuvent être utilisés judicieusement déjà avec une infrastructure de ravitaillement ponctuelle. «Ils exercent ainsi une fonction importante d'ouvreur de marché pour d'autres véhicules propulsés à l'hydrogène, par exemple pour les bus urbains»,

déclare Bach. Il pourrait toutefois encore s'écouler 10 à 15 ans d'ici que les voitures de tourisme propulsées à l'hydrogène conquièrent le marché. «Le développement jusqu'au stade de la commercialisation des technologies innovatrices telles que celle-ci est des plus coûteux en temps et en argent», relève Bach.

Des émissions de polluants nettement plus faibles

Ce que promet et peut tenir ce nouveau mode de propulsion a été déterminé au moyen de simulations sur ordinateur effectuées à l'Empa; selon celles-ci, la consommation d'énergie de la propulsion par pile à combustible est réduite de moitié par rapport à celle de la propulsion diesel usuelle. Même avec une production conventionnelle de l'hydrogène à partir de gaz naturel, la réduction des émissions de CO₂ atteint environ 40%. Les participants au projet hy.muve sont, à côté de l'Empa et du PSI, les entreprises Bucher Schörling, Proton Motor, BRUSA Elektronik AG et Messer Schweiz. //

Comparaison de différentes méthodes de stockage : le stockage de 4 kilogrammes d'hydrogène, qui correspond à environ 24 litres d'essence, au moyen d'hydrures métalliques (par exemple Mg_2FeH_6 et $LaNi_5H_6$) demande beaucoup moins de place que les bouteilles de gaz et atteint presque la densité énergétique de l'essence. (Illustration: Empa)

Stockage complexe des gaz

Nombreux sont ceux qui considèrent l'hydrogène comme le support énergétique de l'avenir. Toutefois son stockage demeure toujours un casse-tête. Les hydrures métalliques – des métaux qui, à la manière d'une éponge, se gorgent d'hydrogène – sont une alternative à l'hydrogène sous pression ou liquéfié. Des chercheurs de l'Empa ont réussi une percée dans la production de nouveaux hydrures à haute capacité de stockage.

TEXTE: Ivo Marusczyk

Avec l'hydrogène, un rêve devient réalité: des tuyaux d'échappement d'où ne sort que de la vapeur d'eau. Dans plusieurs villes d'Europe on peut déjà voir des bus ou des voitures propulsés à l'hydrogène, et en Suisse, depuis le mois de mai 2009, la première balayeuse à hydrogène nettoie les rues de Bâle (voir page 12).

«Quelles que soient les sources avec lesquelles nous couvrirons à l'avenir nos besoins d'énergie, il nous faudra un support énergétique pour les voitures. Et l'hydrogène est le seul qui puisse servir relativement facilement et avec efficacité à cela.» déclare Andreas Borgschulte du laboratoire «Hydrogène et énergie» de l'Empa.

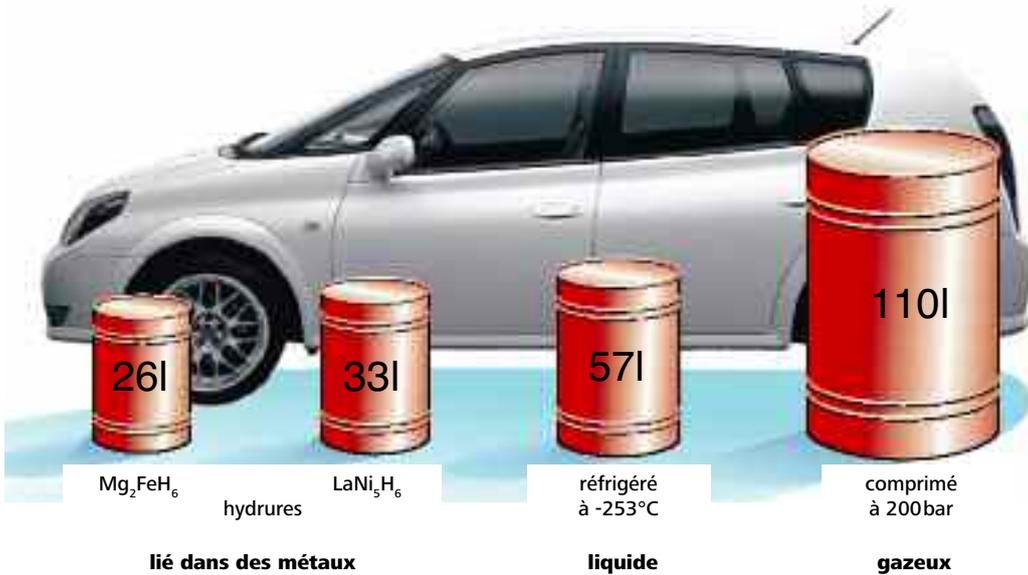
Mais d'ici que le diesel ou l'essence fassent place à l'hydrogène sur nos routes, il reste encore de grands défis à maîtriser. Malgré tous les succès enregistrés jusqu'ici, le stockage de ce carburant gazeux reste encore un casse-tête: comme réservoir on utilise soit des bouteilles de gaz sous une pression de 800 bar, soit les véhicules font le plein avec de l'hydrogène liquéfié à une température de -253 degrés Celsius, ce qui est à la fois compliqué et coûteux.

Une troisième possibilité qui serait aussi plus élégante: depuis le 18e siècle déjà, on sait que certains métaux peuvent absorber de grandes quantités d'hydrogène à la manière d'une éponge et peuvent ensuite à nouveau le libérer. Et cela à pression et température ambiantes.

Jusqu'ici trop lourds et trop chers

La réalisation de cette idée a jusqu'ici échoué du fait de deux problèmes. Les alliages de métaux appropriés, tels que le $LiNi_5$ sont beaucoup trop lourds et trop chers pour qu'on puisse les utiliser comme réservoir à hydrogène dans les véhicules. C'est pourquoi les scientifiques sont à la recherche de métaux légers disponibles en quantités suffisantes qui se prêtent au stockage de l'hydrogène. Un des candidats les plus intéressants est le borohydride de lithium $LiBH_4$, un hydruure complexe formé de lithium, de bore et d'hydrogène. Son gros avantage: il possède une «capacité d'accumulation gravimétrique d'hydrogène» particulièrement élevée et peut donc lier de grandes quantités d'hydrogène.

Toutefois jusqu'ici la synthèse de cet hydruure exigeait l'utilisation de solvants coûteux et toxiques. Avec le développement



d'une nouvelle méthode, les chercheurs de l'Empa ont réussi une percée sur la voie de l'accumulateur solide d'hydrogène. Dans une première étape, les chercheurs du laboratoire «Hydrogène et énergie» sont parvenus à produire du $LiBH_4$ directement à partir des éléments lithium, bore et hydrogène à une pression de 150 bar. En partant d'hydrure de bore, ils ont même réussi cette synthèse à pression ambiante et à la température modérée de 120 degrés Celsius. «Ainsi, en passant, nous avons aussi réfuté la théorie selon laquelle le bore et l'hydrogène ne réagissent entre eux que dans un milieu liquide ou à des températures extrêmement élevées», relève le chercheur de l'Empa Oliver Friedrichs.

Toutefois l'objectif d'obtenir cette réaction aux conditions ambiantes n'est pas encore totalement atteint. Les scientifiques de l'Empa sont actuellement à la recherche d'un catalyseur qui accélère la formation de $LiBH_4$. De plus, ils veulent encore élucider si cette méthode peut aussi s'utiliser pour la synthèse d'autres hydrures complexes. Ce succès leur donne des ailes. «C'est en tout cas une percée prometteuse» déclare Borgschulte. «Nous avons franchi un pas décisif vers la réalisation du réservoir à hydrure.» //

Une centrale énergétique décentralisée

Comme on le sait, tous les chemins mènent à Rome. A côté de l'hydrogène il existe encore d'autres supports énergétiques, tels que le bois ou le biogaz, qui peuvent servir à la production d'électricité. «Ces supports énergétiques sont – au contraire de l'hydrogène – facilement disponibles et relativement aisés à transporter» estime Peter Holtappels du laboratoire «Céramiques hautes performances». L'énergie chimique qu'ils renferment peut-être transformée en électricité au moyen de piles à combustible à oxydes solides (SOFC, en anglais Solid Oxid Fuel Cell) pour, par exemple, alimenter en énergie des bâtiments.

A la différence des piles à combustible «usuelles», l'élément de base des SOFC se compose d'un empilement de trois plaques de céramique dans lequel les deux plaques extérieures fonctionnent comme électrodes où se déroulent d'un côté la «combustion» du combustible et de l'autre la réduction de l'oxygène provenant de l'air, la plaque intermédiaire agissant comme électrolyte et isolant électrique. Ce sont ces réactions qui produisent de l'électricité et de plus aussi de la chaleur qui peut être utilisée, par exemple, pour la production d'eau chaude. Toutefois la température de fonctionnement des SOFC de 700 à 850 degrés Celsius est encore fort élevée, ce qui rend leur fabrication coûteuse nécessitant, entre autres, une isolation importante.

Holtappels et ses collègues travaillent à l'amélioration de l'efficacité des SOFC. «Nous effectuons de travaux de recherche sur de nouveaux matériaux permettant d'abaisser la température de fonctionnement à 600 degrés et qui devraient aussi conduire à une amélioration de l'efficacité des SOFC», explique Holtappels. Il existe déjà actuellement des bâtiments administratifs et des hôpitaux équipés de telles petites centrales énergétiques comme objets de démonstration mais ces piles à combustible doivent toutefois être contrôlées régulièrement. Si les optimisations visées par les chercheurs de l'Empa peuvent être réalisées avec succès, des immeubles d'habitation pourraient disposer à l'avenir de leur propre centrale énergétique grâce aux SOFC.

Naturellement artificiel

L'année dernière, la Suisse a consommé 14 milliards de litres de pétrole, avec une tendance à la hausse. La nécessité de faire appel aux sources d'énergie renouvelables se fait de plus en plus pressante et anime la recherche et la science à développer des idées nouvelles. Par exemple dans un projet de programme de recherche national en préparation dans lequel l'Empa propose de produire du pétrole artificiel.

TEXTE: Simon Berginz / PHOTOS: Ruedi Keller; Beck Energy GmbH



Des piles solaires au lieu de colza: l'hydrogène, produit avec l'électricité solaire, lié au CO₂ de l'air, sera transformé en carburant artificiel pour les voitures. Bien plus efficace que la culture du colza pour la production de biocarburant.



Our ignorance is not so vast, as our failure to use what we know», a déclaré une fois Marion King Hubbert, un géologue et géophysicien américain qui avait prévu en 1956 déjà la crise pétrolière de 1973. «La moitié des réserves des supports d'énergie fossiles va bientôt être épuisée et la consommation d'énergie continue à croître rapidement» déclare le scientifique de l'Empa Andreas Züttel. Loin de vouloir semer la panique, Züttel propose au contraire de produire artificiellement des hydrocarbures semblables au pétrole. C'est dans cette perspective qu'avec Heinz Berkel de l'Université de Zurich il a émis une proposition d'un nouveau Programme national de recherche (PNR). Ce PRN «Supports énergétiques renouvelables non biogènes» doit réunir des scientifiques des domaines de la physique, de la chimie, du génie mécanique, des techniques énergétiques et de la science des matériaux pour traduire cette idée dans les faits.

Le «pétrole artificiel», meilleure efficacité énergétique que la biomasse

L'idée est relativement simple: avec l'aide de la source d'énergie naturelle qu'est le rayonnement solaire, on décompose de l'eau (H₂O) en oxygène (O₂) et en hydrogène (H₂). Par exemple en produisant de l'électricité avec des cellules photovoltaïques qui sert ensuite pour l'électrolyse de l'eau. Cet hydrogène peut être ensuite utilisé pour réagir avec le dioxyde de carbone (CO₂) de l'air pour former des hydrocarbures; selon cette vision, un combustible et un carburant durable possible du futur.

Toutefois le prélèvement du CO₂ dans l'atmosphère pose un problème plutôt ardu. Un des objectifs centraux de ce PRN projeté est ainsi de trouver une solution pratique à ce problème par le développement de matériaux adéquats pour absorber le dioxyde de carbone.

Züttel considère que d'autres supports énergétiques renouvelables, tels que la biomasse, sont bien moins aptes à assurer un approvisionnement durable en énergie. Un exemple concret l'illustre: si l'on cultive sur une surface égale à un terrain de football du maïs ou du colza servant de biomasse pour la production de biodiesel, ceci permet de faire rouler cinq voitures durant une année. Mais si l'on posait des cellules photovoltaïques sur une surface de même grandeur pour produire ainsi des hydrocarbures artificiels, ceci permettrait d'alimenter 150 voitures en carburant durant une année.

Une décision à la fin de cette année

«Mais pour cela il faut à tout prix faire avancer la recherche» explique Züttel. Car aussi simple que soit cette idée, sa transposition dans les faits est des plus exigeantes – et par là aussi excitante pour ce chercheur de l'Empa. Un premier obstacle a été déjà été franchi: 7 des 57 propositions de PNR soumises à son appréciation – et parmi ces 7 celle de Züttel et Berke – ont été transmises récemment au Fonds national suisse par le Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche. Après évaluation scientifique de ces projets par cette instance, le Conseil fédéral décidera fin 2009 quels seront les thèmes aptes à faire l'objet d'un PNR.

La réalisation de ce projet ne permettrait pas seulement de résoudre le problème de la pénurie prochaine du pétrole. La production de pétrole artificiel lie davantage de CO₂ de l'air que sa combustion n'en libère et il en résulterait une situation «win-win»: moins de gaz à effet de serre et des stocks de pétrole bien garnis. //



Tendu comme un arc

Le «pont arc» qu'empruntent les visiteurs de l'Empa pour se rendre dans son bâtiment administratif à Dübendorf fait partie des 40 constructions en bois primées du «Prix Lignum 2009».

TEXTE: Simon Berginz / PHOTOS: Empa

1
Des bandes de polymère renforcé de fibres de carbone insensibles à la corrosion assurent la mise en tension du pont.

2
Le pont forme un arc élégant au-dessus de l'étang.

3
Le «pont arc» primé devant le bâtiment administratif de l'Empa.

Urs Meier, l'ancien directeur de l'Empa Dübendorf, a développé dans les années quatre-vingt-dix déjà des projets de ponts utilisant des matériaux nouveaux. En 1996 à Atlanta, une passerelle pour piétons spectaculaire aurait dû être érigée sur le site des jeux olympiques. Toutefois les responsables américains n'eurent pas confiance dans les matériaux nouveaux propagés par Urs Meier. Seul du bois et des polymères renforcés des fibres de carbone devaient entrer dans sa construction, à l'exclusion de tout autre matériau de construction usuel tel que le béton ou l'acier. L'idée de la construction d'un tel «pont arc» sur la Limmat près de l'Escher-Wyss-Platz à Zurich n'a pas rencontré plus de succès. Le bois flottant charrié par la rivière aurait pu endommager la sousconstruction assez sensible du pont.

Une patience récompensée

En 2007, il y eut tout de même un happy end. Lors de la rénovation du bâtiment administratif de l'Empa à Dübendorf, un «pont arc» d'une longueur de 12 mètres est devenu réalité. Le mode de construction unique de ce pont a fait une impression telle sur le jury du Prix Lignum qu'il lui a attribué une «Mention Région Nord» le 26 mai. «J'avais alors considéré la construction de ce pont comme un prix de consolation, mais voilà que maintenant il a même remporté un vrai prix», se réjouit Urs Meier.

Le tablier en bois lamellé collé de ce pont est recouvert d'une plaque en polymère renforcé de fibres de verre (PRV). Des tirants en polymère renforcé de fibres de carbone (PRC) sur sa face inférieure tendent le pont comme un arc qui forme une courbe élégante sur l'étang qu'il surplombe. Une synergie optimale résulte de la combinaison du bois et des polymères renforcés de fibres. Le bois gagne ainsi en rigidité alors que les tirants en PRC sont insensibles à la corrosion et possèdent une excellente résistance à la traction.

A suivre...

Ainsi que le confirme Urs Meier, des entreprises ont déjà manifesté de l'intérêt pour la construction de ponts de ce type. Des portées atteignant jusqu'à 100 mètres devraient être réalisables. C'est aussi une des raisons pour lesquelles ce pont est équipé de capteurs de monitoring afin de recueillir des informations supplémentaires sur son comportement dynamique et à long terme.

Le «pont arc» de l'Empa n'est pas seulement un ouvrage de construction (maintenant primé) donnant accès à son bâtiment administratif à Dübendorf. Il symbolise aussi ce à quoi s'efforce l'Empa dans son travail: lancer un pont entre la recherche fondamentale et les applications technologiques. //



1



2



3

Tuning high-tech pour le microscope à force atomique

Une technologie innovatrice, un bon réseau et un habile recrutement de personnel, tels sont les ingrédients du succès d'un transfert de technologie. Ceci s'applique aussi à l'instrument, développé par l'Empa et perfectionné par la firme NanoScan, qui «palpe» avec la plus haute précision les propriétés physiques des matériaux. Récemment le premier de ces instruments high-tech a été vendu à une université espagnole.

TEXTE: Martina Peter / PHOTOS: Ruedi Keller, Empa



Ce nouvel instrument nous permet de mesurer localement et avec fiabilité différentes propriétés des matériaux telles que leur topographie, les champs magnétiques et électriques ainsi que leur réponse piézoélectrique», explique Joef Hug, le chef du laboratoire «Nanoscale Materials Science» de l'Empa et fondateur de la firme NanoScan AG, une spin-off issue de son ancien groupe de travail à l'Université de Bâle.

Hug considère que le développement des disques durs magnétiques du futur pourrait être un domaine d'application prometteur pour cet appareil. «Pour cela, il faut créer avec une précision extrême à la surface du support de stockage de minuscules îlots magnétiques dont la magnétisation puisse être inversée dans un domaine de champ magnétique très étroit lors du processus de stockage.» Et c'est précisément cela dont est capable ce nouvel instrument performant dénommé PPMS-AFM qui réunit un microscope à force atomique (ou AFM pour Atomic Force Microscope) et un appareil de mesure des propriétés physiques macroscopiques dénommé PPMS (Physical Properties Measurement System).

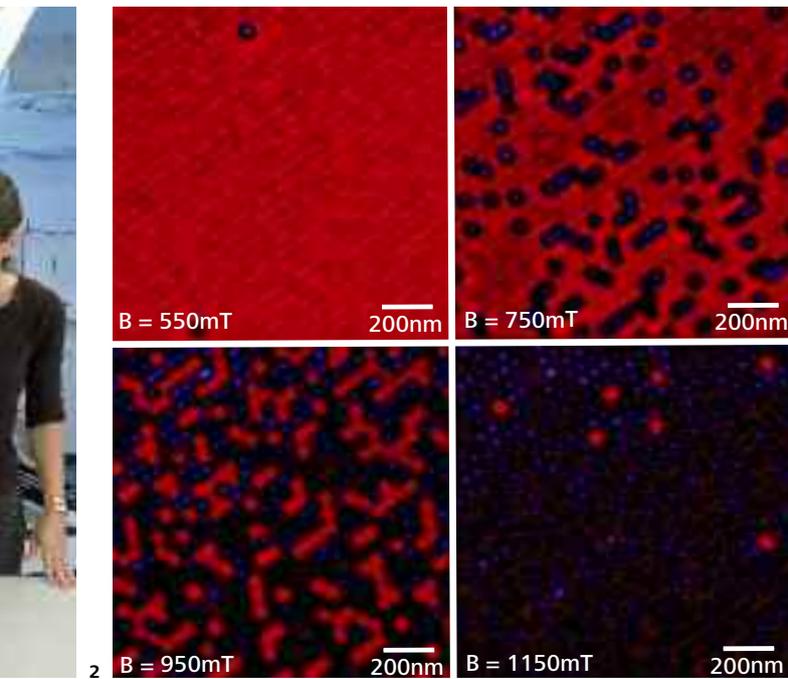
Au cours de ces dernières années, Hug a développé avec l'ingénieur en mécanique Sasa Vranjkovic et les physiciennes Raphaëlle Dianoux et Quang Thai un microscope à force atomique fonction-

nant sous vide très élevé et à basse température qui permet de mesurer en deux dimensions les forces les plus infimes. Cet appareil permet, par exemple, de déterminer la rigidité des molécules ou les forces qu'il faut appliquer pour déplacer des atomes et des molécules sur une surface.

De l'Empa au marché via Nanoscan

Dans une deuxième étape, Hug et Vranjkovic ont aussi développé à partir de cet appareil un module de microscope à effet de force miniaturisé pour le PPMS largement répandu de la firme US «Quantum Design». Les PPMS sont utilisés dans les laboratoires de recherche du monde entier pour mesurer les propriétés physiques les plus variées d'un échantillon à des températures situées entre 2 et 400 Kelvin et dans des champs magnétiques pouvant atteindre jusqu'à 16 Tesla.

«La demande pour notre mini-AFM est énorme; c'est aussi pourquoi nous avons transféré la poursuite du développement et la commercialisation du PPMS-AFM à NanoScan», explique Hug. Là, grâce à deux physiciens des plus expérimentés, la technologie de l'Empa est en de bonnes mains. Récemment, NanoScan a conclu un partenariat stratégique avec la firme ION-TOF, un partenaire industriel de projets UE en cours, qui produit des instruments pour l'analyse des surfaces.



1

Le chercheur de l'Empa Josef Hug et Raphaëlle Dianoux de la firme NanoScan avec leur produit, le PPMS-AFM qui associe un microscope à force atomique et un instrument de mesure des propriétés physiques macroscopiques.

2

Les mémoires de données de l'avenir pourraient être formées de minuscules îlots magnétiques de 10 à 20 nanomètres de diamètre (points bleus et rouges, suivant la polarité magnétique des îlots). Les images PPMS-AFM enregistrées par Guido Tarrach et Tim Ashworth montrent comment la polarité de ces îlots peut s'inverser lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique croissant – cela toutefois sur un domaine encore assez étendu: avec un champ magnétique de 550 mT, le premier îlot change de polarité (en haut à g.); à 750 mT la plupart des îlots conservent encore leur polarité initiale (en haut à dr.); à 950 mT, la majorité des îlots ont inversé leur polarité, pourtant même 1150 mT tous les îlots n'ont toujours pas inversé leur polarité (en bas à dr.).



Avec Raphaëlle Dianoux, Hug a aussi trouvé une collaboratrice compétente qui n'apportait pas seulement le savoir-faire technique nécessaire mais qui était de plus disposée à assumer la fonction de CEO. Hug, qui est par ailleurs aussi président du conseil d'administration de NanoScan, en est persuadé : avec le soutien nécessaire du conseil d'administration, son ancienne collaboratrice postdoc réussira son saut dans d'univers des affaires et de la gestion. «C'était un véritable défi et en même temps une grande chance pour mon développement professionnel» déclare Raphaëlle Dianoux.

La décision de Hug est payante: après quelques mois seulement NanoScan a déjà vendu un PPMS-AFM à une université espagnole. Et après le succès de tests de mesure, une grande entreprise IT américaine a inscrit à son budget l'achat d'un appareil NanoScan. D'autres entreprises et instituts de recherche ont aussi déjà manifesté leur intérêt. //

Comment fonctionne un PPMS-AFM?

Comme dans tous les microscopes à force atomique, dans le PPMS-AFM l'échantillon est balayé par une pointe exploratrice qui «palpe» en quelque sorte point par point la totalité de sa surface. Les forces qui apparaissent dans un microlevier (cantilever) dans lequel la pointe est intégrée provoquent une déviation de celui-ci ou – suivant le mode de fonctionnement – une variation de sa fréquence de vibration. La déviation du microlevier est alors mesurée avec une précision subatomique au moyen d'un interféromètre à fibres optiques ultrasensible. Suivant la nature physique des forces en cause, il est possible de mesurer localement les propriétés les plus variées de l'échantillon et de les représenter par des techniques d'imagerie.

Les chaussettes argentées dans la machine à laver

Nombre de sportifs utilisent des chaussettes dont les fibres renferment de l'argent pour combattre les odeurs. Mais lors de leur lavage, ces chaussettes fonctionnelles ne se comportent pas comme on s'y attendait.

TEXTE: Ivo Maruszyk / PHOTO: iStock (retouché)

Les textiles renfermant de l'argent sont à la mode: des fils revêtus d'argent intégrés au tissu ou même des nanoparticules d'argent déposées sur les fibres suppriment les bactéries et les champignons et préviennent ainsi les odeurs et autres désagréments. Ce qu'on ignore toutefois c'est ce que devient ce métal précieux lors du lavage de ces vêtements.

Luca Geranio s'est penché sur cette question dans le travail de master qu'il a effectué dans les deux laboratoires de l'Empa «Technologie et société» et «Advanced Fibers» sous la conduite de Bernd Novak et de Manfred Heuberger: il a étudié si et sous quelle forme l'argent est libéré par ces textiles.

Le résultat: la quantité d'argent qui se retrouve finalement dans l'eau de lavage dépend du processus de fabrication de ces textiles. Certains produits utilisent des fils revêtus d'argent alors que d'autres renferment des fibres auxquelles sont incorporées des nanoparticules d'argent. Ces derniers contiennent moins de ce métal précieux et en libèrent ainsi aussi de plus faibles quantités. L'argent peut être libéré sous forme de ions dissous, de nanoparticules ou encore de particules plus grandes, par exemple dans des fragments de fibres. La plus forte libération d'argent se produit principalement lors du premier lavage et elle diminue nettement lors des lavages ultérieurs.



D'autres résultats sont par contre surprenants: les produits de lessive renfermant des agents blanchissants ne provoquent pas une libération d'argent plus importante que les produits de lavage «doux» et aucune précaution particulière ne doit donc être prise lors du lavage. Ceci bien que les agents blanchissant seuls, en absence de détergents, provoquent une dissolution très rapide des nanoparticules d'argent.

Un autre résultat a encore bien davantage surpris les scientifiques: l'eau de lavage des chaussettes contenant des nanoparticules d'argent ne renfermait que très peu de ce métal sous forme dissoute, mais principalement sous forme de particules plus grosses – exactement comme pour les chaussettes avec des fils revêtus d'argent. La teneur en nanoparticules était par contre faible. D'une manière étonnante, les «nano-chaussettes» ne libèrent pas l'argent en premier lieu sous forme de nanoparticules..

Un résultat important pour ce qui est du comportement ultérieur et des effets de l'argent, par exemple dans les stations d'épuration et dans l'environnement, comme l'a expliqué le scientifique de l'environnement Bernd Novak (voir EmpaNews No 25). //

Davantage d'efficience



World Resources Forum 2009
September 16, 2009 • Davos Switzerland

«Comment poursuivre la croissance alors que notre planète ne croît pas?» C'est là la question centrale que pose le World Resources Forum (WRF) qui se réunira pour la première fois en séance plénière le 16 septembre 2009 à Davos. Une question qui a toute son actualité. Finalement la crise économique actuelle nous montre suffisamment qu'à la longue une économie basée sur la seule croissance ne fonctionne pas.

Au vu de ce contexte, les initiateurs du WRF réclament un changement des

mentalités dans l'industrie et la politique: des scientifiques de Suisse, d'Allemagne, de France, du Japon et de Chine se sont groupés pour exiger une utilisation plus consciente et plus durable des ressources de notre planète.

«Dans l'avenir nous devons tirer encore davantage de profit de ressources naturelles toujours moins abondantes», c'est ainsi que résume Lorenz Hilty, chef du laboratoire «Technologie et société» de l'Empa et un des principaux initiateurs du WRF, le message lancé

par cette organisation. L'utilisation des ressources de la Terre – par exemple des métaux rares pour les produits high-tech, des terres pour les constructions et la production agricole ou encore de l'eau – doit être repensée. Avec pour objectif une amélioration de la productivité des ressources. Le WRF désire présenter des alternatives réalistes et lancer une discussion ouverte sur l'utilisation durable des ressources dans la politique, l'industrie, les sciences et dans l'ensemble de la société.

Nano? Oui, mais alors sûr.

Après 20 ans de travaux de recherche et de développement, de nombreux nanoproducts ont fait leur entrée dans notre vie quotidienne. Toutefois leurs effets sur l'environnement et la santé sur la totalité de leur cycle de vie – de leur fabrication en passant par leur utilisation et jusqu'à leur élimination – ne sont toujours pas encore suffisamment éclaircis. Le projet européen «NanoImpactNet» met à la disposition des scientifiques et des preneurs de décisions une plateforme sur laquelle ils peuvent échanger leur savoir.

TEXTE: Martina Peter / PHOTO: iStock

Le «Woodrow Wilson International Center for Scholars», une organisation US indépendante, a enregistré dans sa banque de données¹ plus de 800 nanoproducts d'usage quotidien. Et parmi ceux-ci aussi des produits suisses – par exemple une pâte dentifrice à effet blanchissant, une émulsion cosmétique qui promet de pénétrer particulièrement profondément dans la peau ou encore une valise dont l'enveloppe repousse l'eau – qui tous doivent leurs propriétés particulières à la nanotechnologie.

«Nous connaissons tous les propriétés pleines de promesses des nanoproducts», explique le scientifique de l'environnement Bernd Novak du laboratoire «Technologie et société» de l'Empa. «Mais nous ignorons les effets qu'ils peuvent avoir sur l'environnement. Et nous ne savons pas non plus s'ils peuvent ou non porter atteinte à notre santé.» La recherche sur leurs aspects toxicologiques a fortement progressé ces dernières années; à l'Empa aussi, les collègues de Novak, Harald Krug et Peter Wick, étudient les interactions entre les nanoparticules et les cellules ou les tissus vivants. Mais on ne sait toujours pas exactement quelles sont leurs propriétés qui font que, par exemple, elles peuvent traverser plus ou moins facilement les membranes cellulaires.

Les cycles de vie des nanoproducts sous la loupe

«Les effets sur l'environnement d'un nanoproduct peuvent varier selon les étapes de son cycle de vie», indique Novak. Toutefois le thème de la sécurité ne prend pas d'importance que lorsque le produit est fabriqué à l'échelle industrielle et mis dans le commerce. Déjà lors de leur développement en laboratoire, ces minuscules composants peuvent théoriquement avoir des effets dom-

mageables sur les chercheurs qui les manipulent. Il en va de même pour la production et la transformation industrielles des nanomatériaux. Et qu'en est-il lorsque les produits se trouvent dans le commerce et sont utilisés? Que se passe-t-il lors de leur élimination dans des décharges, comme déchets spéciaux, lors de leur incinération ou encore de leur recyclage?

Novak et sa collègue Claudia Som passent sous la loupe les cycles de vie de différents nanoproducts. «Nous utilisons les méthodes de l'analyse des cycles de vie pour comprendre où, lors de leur production, de leur utilisation et de leur élimination, les nanoproducts peuvent créer des situations critiques, mais aussi où l'utilisation des nanoparticules peut offrir des chances», explique Claudia Som. A l'aide de modélisations sur ordinateur ils évaluent quels effets les nanomatériaux peuvent avoir sur l'environnement. De plus ils réalisent aussi des expériences sur la libération accidentelle de nanoparticules par les nanoproducts. «Nous aidons ainsi l'industrie à développer de meilleurs nanoproducts répondant mieux aux exigences de la durabilité», résume Claudia Som.

Ce savoir sur le comportement des nanomatériaux, Bernd Novak désire le mettre à disposition des milieux de la recherche et des preneurs de décisions à travers le réseau européen «NanoImpactNet»² dont Novak est co-dirigeant d'un des six «Work Packages».



Ce projet, financé par le 7e programme cadre de recherche de l'UE, offre la possibilité aux scientifiques, aux membres des autorités et aux représentants de l'industrie d'échanger des informations sur les effets éventuels des nanomatériaux sur la santé et sur l'environnement. Son but est de trouver des voies pour la poursuite responsable du développement de nanomatériaux dénués de risques et de définir en commun des mesures réglementaires qui seront ancrées dans la législation européenne.

Des informations accessibles à tous

Michael Riediker, coordinateur du réseau NanoImpactNet et chef du groupe «Particules et santé» de l'Institut universitaire romand de santé au travail (IST) à Lausanne, souligne l'importance de la pratique d'une communication circonspecte: «Tous ceux qui désirent s'informer doivent aussi avoir accès aux informations importantes pour eux.» Il relève toutefois que les informations dont dispose l'industrie sont souvent très sensibles et que, tombées entre de mauvaises mains, elles pourraient entraîner de lourdes pertes financières pour cette dernière. La communication entre l'industrie et la science doit donc être l'objet d'une attention toute particulière. Un réseau tel que NanoImpactNet crée le cadre de confiance nécessaire à cela, ainsi que le relève Riediker. //

¹ Banque de données sur les nanoproducts d'usage courant du «Woodrow Wilson International Center for Scholars»: <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer>

² NanoImpactNet: European Network on the Health and Environmental Impact of Nanomaterials: www.nanoimpactnet.eu

Leur opinion

Jarosław Starzyk



Jarosław Starzyk
Ambassadeur de Pologne en Suisse

“

La visite des laboratoires de l'Empa m'a permis de réaliser l'importance de la contribution de l'Empa dans le développement de nouvelles technologies et quelle est sa fonction précieuse de pont entre la science et l'économie.

”

Manifestations

22 a 24 juillet 2009

SHMII-4 2009

The 4th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure
EPF, Zürich

31 août 2009

Was kommt nach dem Öl?

Apéro scientifique
Empa, Dübendorf

14 au 16 septembre 2009

R'09 Twin World Congress und World Resources Forum (WRF)

Centre des congrès de Davos et Nagoya University, Japon

25 septembre 2009

Nuit des chercheurs

La recherche en direct autour et sur la rade du lac de Zurich, entre Bellevue et le Zürichhorn

26 octobre 2009

Journée technique Nano et environnement

Manifestation pour les fabricants et les distributeurs de «nanoproduits»
Empa, Dübendorf

4 et 5 novembre 2009

Workshop Bionique

Séminaire pour ingénieurs et directeurs de développement
Empa, Dübendorf

Détails et calendrier de toutes les manifestations sous: www.empa-akademie.ch

Votre accès à l'Empa:

 Portal

portal@empa.ch
Tél. +41 44 823 44 44
www.empa.ch/portal