

Empa **News**

Le périodique clients et grand public de l'Empa
8^e année / numéro 28 / janvier 2010



Un approvisionnement électrique sûr et durable grâce à la photovoltaïque 12

EMPA 
Materials Science & Technology

Interview avec le directeur
de l'Empa 04

Les muscles artificiels
apprennent à voler 08

Un provisoire fête
ses 40 ans 22

Tout ce qui est bon vient d'en haut

Même si à la mi-décembre le sommet mondial sur le climat de Copenhague n'a pas abouti à la fixation de buts très ambitieux pour la limitation des émissions de CO₂, un approvisionnement en énergie durable, ménageant à la fois les ressources et l'environnement demeure une tâche urgente – et cela précisément aussi pour une institution de recherche et de technologie telle que l'Empa.



En principe, il «existe» plus que suffisamment d'énergie sur la Terre, le Soleil nous la livre franco domicile. Pour l'utiliser, il suffit en fait de la capter et de la transformer, en électricité par exemple. C'est précisément là le but que poursuit l'Empa avec ses activités en photovoltaïque que nous vous présentons sous la rubrique «Focus»: produire des piles solaires aussi efficaces (et bon marché) que possible. Et comme il vaut toujours

mieux avoir plusieurs cordes à son arc, les équipes de l'Empa ne travaillent pas seulement sur les piles solaires «classiques» mais développent aussi des piles solaires à revêtements minces de types nouveaux à partir des matériaux les plus divers.

Mais même si nous parvenons à transformer de manière efficace l'énergie solaire en électricité – le défi suivant attend déjà: le stockage de l'énergie. Nous avons en effet aussi besoin d'énergie lorsque le soleil ne brille pas. Le développement de batteries innovatrices et autres dispositifs de stockage de l'énergie demande lui aussi un vaste savoir faire en matière de science des matériaux; les scientifiques ne sont donc pas près de manquer de travail.

La lumière ne se trouve pas seulement au centre de la photovoltaïque mais aussi de la photonique, le point fort des activités de recherche du nouveau directeur de l'Empa, Gian-Luca Bona, qui dirige notre institution depuis le mois de septembre. Après ces «fameux» premiers cent jours de fonction, il esquisse dans une interview le développement futur de l'Empa ainsi que ses objectifs en matière de recherche et d'organisation structurelle.

Michael Hagmann
Responsable de la communication



Les 100 premiers jours, un bilan
Le directeur de l'Empa veut favoriser le développement de produits innovateurs 04



Page de titre

Le soleil est une source d'énergie pratiquement inépuisable: différents groupes de recherche de l'Empa travaillent sur les piles photovoltaïques et leurs procédés de fabrication pour rendre l'exploitation de l'électricité solaire plus efficace et meilleur marché. (Photo: iStock)



Des polluants dans les glaces
Des chercheurs analysent les
sédiments de lacs glaciaires 07



Vent en poupe pour les
matériaux intelligents
Le Blimp «nage» sans bruit
à travers les airs 08



40 ans de bons et loyaux services
Le «banc d'étirement» de l'Empa
teste les câbles en fatigue 22

Impressum

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

Rédaction, lectorat,
maquette, impression
 Section Communication

Rédaction
 Téléphone +41 44 823 47 33
 Téléfax +41 44 823 40 31
 empanews@empa.ch
 www.empanews.ch

Parution trimestrielle

ISSN 1662-6532

- Recherche et développement
04 «La recherche fondamentale est vitale pour
le développement de produits innovateurs»
- Recherche et développement
06 Des nanoparticules dans les fœtus
- Recherche et développement
07 Un héritage douteux issu des glaciers
- Recherche et développement
08 Les muscles artificiels apprennent à voler
- Transfert de savoir et de Technologie
10 Les voies du succès vers l'industrie
- Focus: Approvisionnement durable en énergie**
- 12 Flexibles, minces et bon marché: les piles solaires de demain**
- 15 Le silicium – un potentiel encore loin d'être épuisé**
- 16 Sur la voie de la pile solaire transparente**
- 18 La métamorphose de l'énergie dans un cristal**
- 19 La chaleur de l'été pour les froides journées d'hiver**
- 20 Diagnostic: durable?**
- En dialogue
21 Une téléconférence réduit massivement les émissions de CO₂
- Essais et services
22 Un provisoire fête ses quarante ans
- 24 Manifestations**

«La recherche fondamentale est vitale pour le développement de produits innovateurs»

Cent jours se sont maintenant écoulés depuis l'entrée en fonction du nouveau directeur de l'Empa, Gian-Luca Bona; moment venu de parler avec lui de ses plans, de son attente et de l'avenir de l'Empa.

Interview: Beatrice Huber, Michael Hagmann / PHOTO: Querwerk GmbH

Plus de 100 jours après votre entrée en fonction vous devez maintenant bien connaître l'Empa. Quelles sont vos premières impressions?

La culture constructive et la diversité qui règnent à l'Empa m'ont beaucoup impressionné. Des personnes très qualifiées et engagées travaillent dans nos laboratoires, avec les savoir-faire les plus divers, des chimistes, des physiciens, des ingénieurs ou encore de biologistes. Récemment j'ai même rencontré un ethnologue.

Quelles sont, selon vous, les forces de l'Empa?

Il n'existe certainement pas en Suisse d'autre institution qui réunissent «sous un même toit» un savoir aussi vaste en science des matériaux s'étendant des connaissances fondamentales jusqu'aux applications pratiques. A l'Empa nous désirons comprendre ce que sont les matériaux, et cela de la structure atomique jusqu'aux systèmes, autrement dit jusqu'aux technologies.

Voyez-vous déjà de nouveaux points sur lesquels vous désirez poser un accent?

Oui, par exemple dans le domaine des technologies propres et plus particulièrement dans celui des énergies renouvelables. Quelques groupes de recherche effectuent déjà chez nous un excellent travail, par exemple dans le domaine de l'hydrogène ou de la photovoltaïque. Mais je suis persuadé que nous devons aborder ce thème sur un plan encore plus large. Comme le soleil ne brille pas toujours lorsque nous avons besoin d'électricité, le stockage de l'énergie est pour moi un thème central. Il suffit de penser déjà à la technique des accumulateurs électriques. Une connaissance profonde des matériaux et ici nécessaire pour trouver de nouvelles solutions. Je vois là une grande chance pour l'Empa mais aussi pour la place industrielle suisse en général.

Un autre domaine à mon avis prometteur est le domaine pharmaceutique – ou médical et biotech. Les approches bottom-up – telles que l'auto-organisation moléculaire – bien connues et déjà éprouvées dans l'industrie des semi-conducteurs, pourraient fournir là de nouvelles impulsions. L'Empa héberge toutes les disciplines nécessaires à cela – de la nanotechnologie à la biologie cellulaire. D'une manière générale, grâce à la collaboration interdisciplinaire, il nous faut parvenir à tirer davantage de profit de nos vastes connaissances dans les différences disciplines des sciences physiques et naturelles et des sciences de l'ingénieur – et développer ainsi de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies.

Que faut-il développer ou encore améliorer?

En recherche et développement, d'une manière générale une orientation internationale devient de plus en plus importante. Nous travaillons dans un environnement global et nous devons mieux utiliser nos forces pour trouver des solutions durables pour la Suisse. Nous entretenons déjà des partenariats étroits avec des universités et des institutions de recherche dans le monde entier, nous devrions encore renforcer cela avec des laboratoires industriels. De plus, nous devons encore améliorer la valorisation des résultats de notre recherche. Ce qui implique aussi une promotion de la relève. Nous ne transférons en effet pas notre savoir uniquement dans des produits mais aussi au travers de personnes qui ont acquis une excellente formation – et pas seulement théorique mais aussi justement pratique. Ce mode de transfert de technologie est une des forces majeures de l'Empa qu'il s'agit de développer encore.

Avant votre venue à l'Empa vous avez travaillé pour IBM aux USA. Qu'est-ce que l'Empa peut apprendre d'un acteur industriel global tel que IBM?

Dans une entreprise, les connaissances acquises dans la recherche et le développement doivent aboutir à de nouveaux produits; les propriétaires veulent finalement gagner de l'argent. Il n'en va pas autrement pour l'Empa. Notre recherche doit conduire à une plus-value pour ceux qui nous financent – soit les contribuables. L'Empa doit donc apporter son aide et trouver des possibilités pour le développement et finalement le transfert à l'industrie de produits innovateurs. Ceci crée de la plus-value, par exemple sous forme de nouveaux emplois. Nous devons comprendre notre environnement et connaître très précisément les niches prometteuses pour nous afin d'en tirer profit.

Parlons finances: l'Empa est financée pour les deux tiers par la Confédération. Il semble que chaque fois que l'on espère une hausse des fonds destinés à la formation, à la recherche et à l'innovation, le trop connu «frein à la dette» refait son apparition. Pourquoi fait-on en Suisse des économies précieusement dans ce domaine?

Un précision d'abord: les fonds supplémentaires attribués au Domaine des EPF dans le message FRI 2008 – 2011 sont allés intégralement aux deux écoles polytechniques; les établissements de recherche n'ont obtenu que la compensation du renchérissement. C'est aussi pourquoi j'attend naturellement que le budget de l'Empa et des autres établissements de recherche ne subisse

«Notre recherche doit conduire à une plus
– value pour ceux qui nous financent –
par exemple sous forme de nouveaux emplois.»



pas de réduction. Les responsables politiques devraient garder à l'esprit que la valeur ajoutée créée en Suisse, et donc le bien-être du pays, proviennent pour la majeure part – à côté du secteur financier – du domaine de l'innovation. La Suisse possède une excellente industrie high-tech dont on peut être fier à bon droit mais dont il faut aussi prendre soin. Il est malheureux que la Suisse ne fasse guère de publicité avec ses innovations. Prenons, à titre de contre-exemple, la région de San Francisco, la Bay Area, avec une population et une surface comparables à celles de la Suisse, dont le nom est indissociablement lié aux technologies de pointe.

Comment prévoyez-vous combler d'éventuelles «lacunes de financement»?

Nous devons nous orienter encore davantage sur le marché, par exemple dans notre offre de services mais aussi dans nos activités de transfert de technologie. Ces dernières peuvent être encore davantage ciblées sur l'industrie pour les offrir à des prix du marché. Je vois ici encore un potentiel important.

Vous n'êtes pas seulement directeur de l'Empa mais aussi professeur de photonique à l'ETH de Zurich et à l'EPF de Lausanne. Un domaine prometteur – désirez-vous développer ce domaine à l'Empa aussi?

Oui, certainement, ici avant tout le domaine de la mesure optique, par exemple celui des capteurs optiques. Je suis déjà en contact avec plusieurs entreprises suisses et je m'occupe déjà d'un premier doctorant dans ce domaine. Il travaille à l'Empa sur des antennes et des capteurs d'un type nouveau.

Quels buts vous êtes-vous fixés personnellement pour l'Empa?

Ce qui est très important pour moi, c'est que l'on arrive à tirer profit des nombreuses synergies au sein de l'Empa et à une contribution accrue au développement de produits jusqu'au produit fini. Une bonne recherche fondamentale est certes utile mais entendre davantage à l'avenir une phrase du genre «ce produit a été développé en commun avec l'Empa» me réjouirais tout particulièrement. Nous devons exercer une fonction de pont pour transformer la bonne recherche fondamentale en produits innovateurs. //

Portrait

Gian-Luca Bona est directeur de l'Empa depuis le 1er septembre 2009. Il occupe simultanément une chaire de professeur ordinaire aux EPF de Zurich et de Lausanne. Docteur en physique, il a travaillé durant plus de 20 ans pour IBM, tout d'abord dans le laboratoire de recherche d'IBM à Rüschlikon. En 2004, il part pour les USA dans le centre de recherche d'IBM d'Almaden à San José en Californie et à partir de 2008 il est directeur du laboratoire de développement de supports de stockage de données de IBM à Tucson en Arizona.

Des nanoparticules dans les foetus

Des études scientifiques montrent que les nanoparticules peuvent parvenir dans la circulation sanguine à travers les voies respiratoires. On ne sait pas encore exactement si chez les femmes enceintes ces nanoparticules peuvent être transmises au fœtus. Des scientifiques de l'Empa et de l'hôpital universitaire de Zurich présentent maintenant les premiers résultats.

TEXTE: Simon Berginz, Beatrice Huber / PHOTOS: Empa

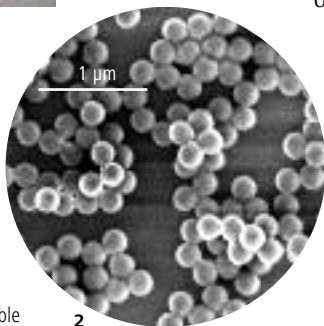
Nanotechnologie: dénué d'effet, c'est aussi résultat important

Dans l'étude des effets des nanoparticules libres sur l'homme, le résultat est fréquemment: dénuées d'effet. Ce «non-résultat» est important car il montre quelles sont les nanoparticules qui ne présentent pas de risques pour la santé. Toutefois jusqu'ici de tels résultats n'étaient guère publiés dans les revues scientifiques. Le chercheur de l'Empa Harald Krug est maintenant intervenu auprès de différents éditeurs pour qu'ils acceptent de publier les résultats de telles études «no effect». Une étude réalisée dans le cadre du projet UE «Nanommune» consacré aux effets des nanoparticules sur le système immunitaire (voir EmpaNews 27) et qui n'a décelé aucun effet a récemment été publiée dans la revue scientifique «Nanotoxicology».



1

1 En laboratoire il est possible de maintenir durant quelques heures la circulation sanguine du côté maternel et fœtal.



2

2 Pour le travail de recherche, des nanoparticules de polystyrène ont été injectées dans le circuit sanguin maternel pour observer si elles passaient dans le circuit sanguin fœtal.

Le placenta fonctionne comme un filtre entre la mère et le fœtus. Il assure l'approvisionnement du fœtus en oxygène et en substances nutritives mais aussi la séparation entre les circuits sanguins de la mère et de son enfant à naître.

«Jusqu'ici la science s'est surtout occupée de savoir si et comment les nanoparticules pouvaient parvenir dans la circulation sanguine à travers les poumons. On ne savait toutefois pas jusqu'ici si ces minuscules particules tentaient aussi de passer la barrière placentaire», explique le nanotoxicologue de l'Empa Peter Wick.

«Une étude a par exemple bien montré que l'on constatait une altération de la fonction respiratoire chez les nouveaux-nés dont les mères avaient subi une forte exposition à des poussières fines. On n'étais toutefois pas parvenu à déterminer si ces particules passaient aussi effectivement dans le corps de l'enfant.»

Des connaissances fondamentales maintenant disponibles

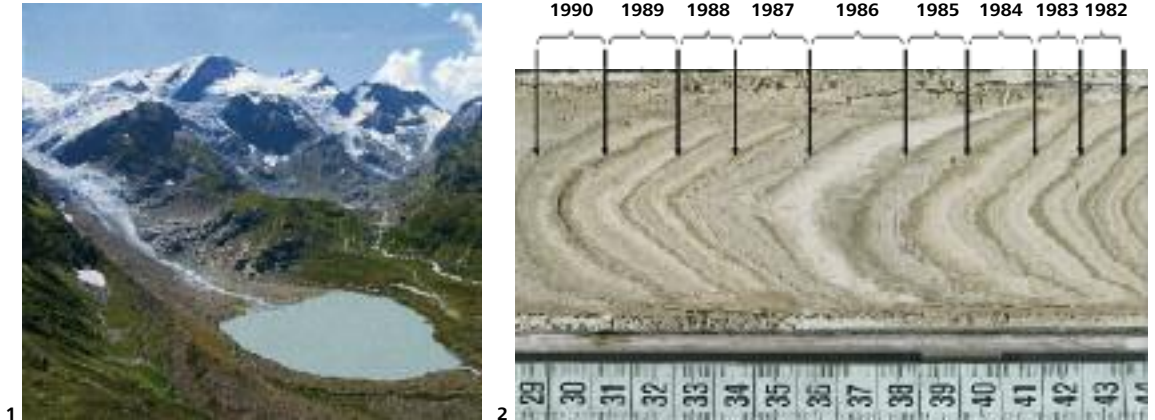
Depuis deux ans, Wick étudie avec des scientifiques de l'Empa et de l'hôpital universitaire de Zurich comment les nanoparticules se comportent vis à vis du fœtus. «Normalement il est très difficile d'obtenir des placentas humains, Ursula von Mandach de l'hôpital universitaire de Zurich m'a fourni là une aide précieuse», explique Wick. Avec un placenta conservé artificiel-

lement «vivant» il est possible de maintenir durant quelques heures en laboratoire aussi bien la circulation fœtale que la circulation maternelle. Pour ce travail de recherche, on a introduit des nanoparticules de polystyrène dans la circulation maternelle et observé si elles migraient dans la circulation fœtale. «Les particules de polystyrène sont particulièrement bien adaptées», explique Wick. «Elles ne provoquent aucun stress dans les tissus et on trouve même sur le marché des particules fluorescentes.» En éclairage ultraviolet, ces particules fluorescentes émettent de la lumière et sont ainsi facilement détectables. Les particules injectées présentaient des tailles différentes qui allaient de 50 à 500 nanomètres. «La limite se situait entre 200 et 300 nanomètres. Toutes les particules de polystyrène de taille inférieure passaient la barrière placentaire et parvenaient dans la circulation fœtale alors que toutes les particules de taille supérieures étaient retenues.» Les résultats du travail de recherche de Wick et de ses collègues, publiés à la fin du mois de novembre dans la revue scientifique «Environmental Health Perspectives», indiquent clairement qu'à partir d'une certaine taille, les nanoparticules peuvent parvenir dans la circulation sanguine du fœtus.

Ce résultat demande la poursuite des travaux de recherche. «Dans la prochaine étape», indique Wick, «nous devons découvrir les voies qu'empruntent les nanoparticules pour traverser le placenta pour, le cas échéant, pouvoir envisager aussi des applications thérapeutiques des nanoparticules.» //

1
Le glacier de Stein et le lac de Stein dans l'Oberland bernois où des échantillons de sédiments ont aussi été prélevés et analysés en mars 2009. (Photo: Ruedi Keller)

2
Les couches sédimentaires des carottes se «lisent» à la manière des cernes annuels des troncs d'arbre. (Photo Empa)



Un héritage douteux issu des glaciers

Ce que les glaciers ont retenu caché durant des années, les eaux de fonte le libèrent à nouveau une fois ou l'autre. Ceci est aussi valable pour les polluants organiques persistants. Les chercheurs de l'Empa ont analysé les couches sédimentaires des lacs glaciaires et décelé là une source secondaire des polluants.

TEXTE: Martina Peter

Un glacier n'est pas une masse statique mais il est continuellement en mouvement. Tout ce qui tombe avec la neige sur le glacier migre vers le bas et ressort une fois ou l'autre avec les eaux de fonte. Cela vaut aussi bien pour les alpinistes disparus dans les crevasses que pour les substances toxiques et parmi elles les POP («persistant organic pollutants»), des polluants environnementaux organiques difficilement dégradables tels que le DDT, les PCB ou encore les dioxines. Du fait de leur persistance dans l'environnement, ces substances se retrouvent pratiquement partout sur la Terre et ainsi aussi dans les glaciers.

Un carottage révélateur

Entraîné dans les eaux de fonte, les POP parviennent dans les lacs glaciaires où ils se déposent en partie dans les sédiments. C'est ce qui s'est passé et se passe toujours dans le lac de Stein qu'un groupe de chercheurs de l'Empa, de l'ETHZ et de l'Eawag avaient choisi pour leur étude. Ce lac est situé dans l'Oberland bernois à une altitude de 1934 mètres près du col du Susten et il est alimenté par les eaux de fonte du glacier de Stein. Ces dernières années, les chercheurs y ont prélevé des carottes de sédiments. «Nous avons découpé une de ces carottes en tranches que nous avons alors lyophilisées», explique le chimiste de l'Empa, Peter Schmid. Ensuite, dans les laboratoires de l'Empa, ce chimiste et son équipe ont analysé les différentes couches de sédiments.

«Ces analyses des couches sédimentaires nous ont permis de confirmer que de 1960 à 1970 la production de POP a été très importante et que ces POP se sont aussi déposés dans ce lac alpestre», explique Christian Bogdal qui a effectué sa thèse de doctorat

sur le comportement des POP dans l'environnement à l'Empa et qui poursuit maintenant ses travaux de recherche dans ce domaine à l'ETH. On reconnaissait aussi bien sur les couches sédimentaires comment les concentrations de ces substances diminuent avec l'interdiction de ces substances au début des années 1970.

Nouvelle augmentation des POP dans les couches sédimentaires plus jeunes

Ce qui est tout aussi impressionnant – et dans une certaine mesure surprenant – c'est que, comme le relève Bogdal, on constate une nouvelle augmentation des POP dans les couches sédimentaires plus jeunes. A partir des années 1990 jusqu'à aujourd'hui, les quantités des composés chlorés sont même en partie supérieure à celles des années 60 et 70. Les glaciers sont ainsi – comme les environmentalistes les présumaient depuis longtemps déjà et qui est maintenant pour la première fois prouvé – des sources secondaires à prendre au sérieux pour une remise en circulation des POP dans l'environnement.

Avec des glaciologues, des chimistes et des sédimentologues de l'ETH, du PSI et de l'Eawag, Bogdal et Schmid ont soumis une proposition de projet au Fonds national suisse pour poursuivre leurs travaux de recherche sur le devenir des polluants dans les glaces «éternelles». Peter Schmid décrit ainsi le but de ce travail de recherche: «Nous voulons savoir comment les POP se déposent dans les glaciers, quelles voies ils empruntent au sein d'un glacier et s'il faut s'attendre à une libération de quantités encore plus importantes de ces polluants». //

Les muscles artificiels apprennent à voler

Une idée qui décolle: le dirigeable innovateur «Blimp» est un objet de démonstration parfait pour soulever l'enthousiasme de partenaires industriels potentiels de l'Empa; les vastes «muscles artificiels» légers et de grande surface qui propulsent sans bruit et avec efficacité ce dirigeable dans l'air à la manière d'un poisson sont en effet uniques au monde. Ces nouveaux matériaux intelligents pourraient aussi trouver des applications en médecine.

TEXTE: Laura Meier / PHOTOS: Empa

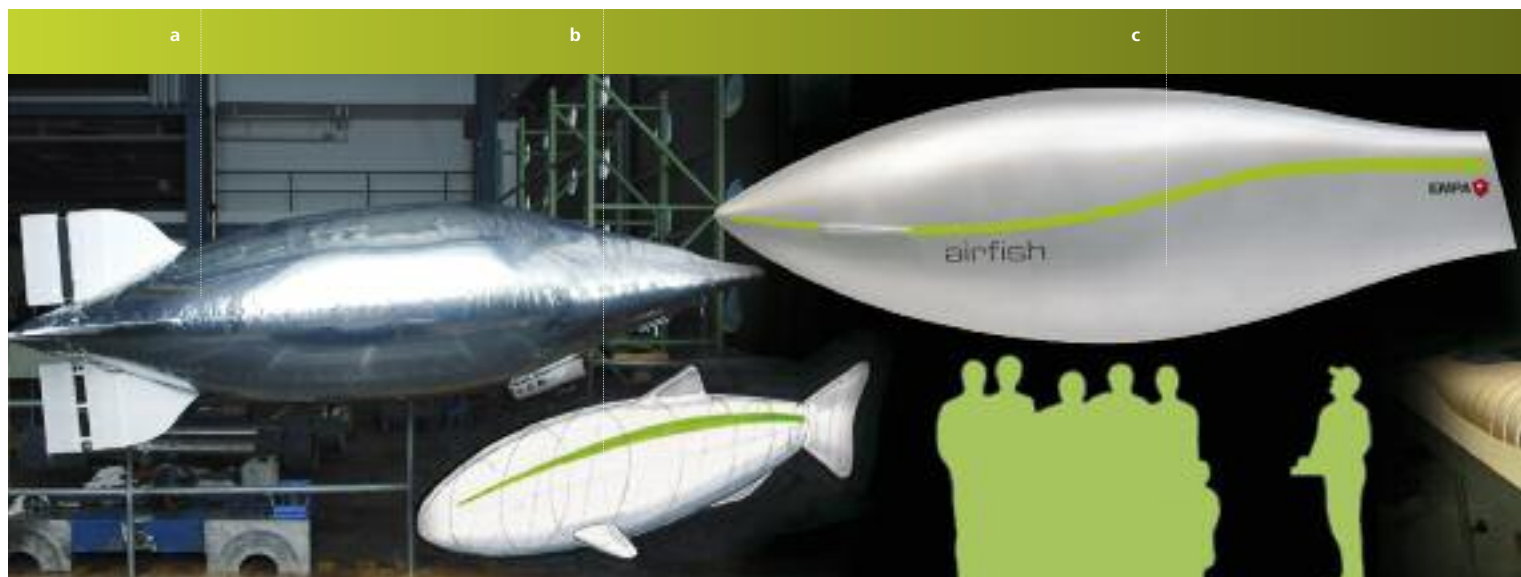
1
Comme un poisson dans l'air: le Blimp avant son vol d'essai dans la halle de l'Empa.

2
Naissance d'un nouveau Blimp (de gauche à droite): **a:** Le premier Blimp de l'Empa avec sa forme de pingouin. **b:** Raoul Rüegsegger, étudiant à la Haute école des beaux-arts et des arts appliqués de Zurich HGKZ, recherche dans son travail de diplôme une forme nouvelle pour le Blimp (sur la photo, la version truite). **c et d:** La nouvelle forme s'élabore – tout d'abord sur ordinateur puis comme modèle. **e:** L'exposition du travail de diplôme de Raoul Rüegsegger. **f:** Le nouveau Blimp lors d'un vol d'essai. Ses éléments PEA en feuilles graphitées noires permettent au dirigeable d'effectuer ses mouvements natatoires caractéristiques.

Directement inspiré de notre Mère Nature, c'est avec agilité et souplesse que ce dirigeable de huit mètres de long se déplace dans l'air. Et cela sans le moindre bruit. Grâce à des polymères électroactifs (PEA), aussi souvent nommés «muscles artificiels», le Blimp se déplace comme s'il possédait un corps vivant, semblable à un poisson qui tracerait sa voie dans l'air et non pas dans l'eau. « Nous voulions développer un objet qui montre que la manière dont se déplace une truite dans l'eau fonctionne aussi dans l'air », explique le chef de projet et senior scientist du laboratoire «Mechanical Systems Engineering, Silvain Michel, qui ajoute encore que l'Empa est le seul laboratoire qui ait développé et fabriqué des PEA d'une surface aussi considérable.

Une truite aérienne

Les dirigeables traditionnels sont propulsés par des hélices. Plus leur enveloppe est volumineuse, plus leurs hélices doivent tourner rapidement pour vaincre la résistance de l'air et les faire se déplacer horizontalement. La vitesse de rotation et le diamètre des hélices sont toutefois limités par la vitesse du son. Lorsque les hélices tournent à une vitesse





1

supérieure à celle du son, il se produit alors un bruit désagréable semblable à celui des rotors d'hélicoptères. De plus, ces dirigeables ont un rendement plutôt moyen. Et c'est ce rendement que Silvain Michel et son équipe se proposaient d'améliorer. «Nous avons alors cherché dans la nature», explique cet ingénieur, «et nous avons trouvé chez la truite ce que nous cherchions. Pourquoi ne pas transposer dans l'air son mode de propulsion?»

Rapide et maniable

Pour sa propulsion, le Blimp a recours à des polymères électroactifs qui sont capables de transformer directement l'énergie électrique en travail mécanique, autrement dit en mouvement. Ses deux faces latérales comportent des feuilles de PEA qui sont recouvertes de graphite. Une tension électrique alternée est appliquée à ces minces couches électroconductrices grâce auxquelles le Blimp peut effectuer ses mouvements caractéristiques de nageoire caudale. Ainsi ce dirigeable parvient à se déplacer à une vitesse d'un mètre par seconde. Dans l'avenir l'énergie électrique nécessaire devrait pouvoir être fournie de manière écologique par des piles solaires.

Des études à long terme en cours

«Cette technologie n'est toutefois pas encore mûre pour le marché», concède Silvain Michel. La durée de vie des PEA doit être encore nettement améliorée. Les études à long terme sont déjà en cours. Ce chercheur de l'Empa se réjouit de l'intérêt qu'ont déjà manifesté des partenaires industriels potentiels. Que ce soit dans le domaine de la robotique, des actionneurs de freinage, de la commande des vannes ou encore même en médecine comme muscles artificiels, les applications possibles de la technologie des PEA sont innombrables. Le groupe de recherche réuni autour de Silvain Michel travaille au perfectionnement des PEA pour divers domaines d'utilisation et au développement de nouvelles applications.

Il n'est toutefois pas sûr que l'on voie encore le Blimp s'envoler dans les airs. Les essais en vol sont complexes et coûteux. De plus l'efficacité énergétique des PEA n'est pas encore optimale. Actuellement le Blimp reste dans le «hangar» de ce groupe de chercheurs de l'Empa. «Pour parvenir à la maturité commerciale, il nous faut de meilleurs matériaux», explique Michel. Et leur développement demande beaucoup de temps et de fonds. //





Les voies du succès vers l'industrie

Les résultats des travaux issus des laboratoires de l'Empa doivent aussi profiter aux entreprises. Le chef du laboratoire «Mécanique des matériaux et nanomécanique» de l'Empa, Johann Michler, répond à sa manière particulière à la demande de modèles de coopération simples que manifeste l'industrie – en favorisant à des jeunes collaborateurs un passage par étape de la recherche à l'industrie.

TEXTE: Martina Peter / PHOTOS: Ruedi Keller

1
Alors qu'il était encore postdoc à l'Empa, Vinzenz Friedli travaillait déjà pour son employeur actuel, l'entreprise SPECS. Cette entreprise était le partenaire de l'Empa dans un projet CTI qui a développé un système de contrôle hybride pour un microscope à force atomique.

2
Johann Michler encourage la promotion de ses jeunes collaborateurs en les poussant «en douceur» vers l'indépendance. «Une situation win-win pour tous» comme en est convaincu Michler.

3
Stephan Fahlbusch sur l'installation à faisceau d'ions focalisé (FIB). Sa start-up Alemnis GmbH produit des instruments sur mesure qui permettent de manipuler et de tester des échantillons dans des microscopes de ce type.



La promotion de la relève tient vraiment à cœur à Johann Michler: sur les 36 collaborateurs du laboratoire «Mécanique des matériaux et nanomécanique» de l'Empa à Thoune, 24 travaillent actuellement à leur thèse de master ou de doctorat ou sont engagés comme postdocs. «Souvent ces jeunes scientifiques se posent des questions sur leur avenir professionnel, et se demandent ce qu'il adviendra de leurs projets et de leurs idées lorsqu'ils ne seront plus à l'Empa», explique Michler. Il a trouvé sa propre recette pour promouvoir ces jeunes collaborateurs et les «pousser en douceur» vers l'indépendance – et pour poser en même temps les bases pour le succès de futures collaborations avec l'industrie. C'est ainsi qu'actuellement une demi douzaine de collaborateurs réduisent par étapes leur degré d'occupation à l'Empa. Parallèlement à cela ils développent d'autres activités: certains travaillent à la création de leur propre start-up, alors que d'autres s'intègrent dans des entreprises industrielles pour y occuper des postes à responsabilité

Vers l'indépendance

«Par rapport à d'autres branches de la recherche, nous avons l'avantage de connaître souvent très précisément les désirs de nos partenaires industriels» explique Stephan Fahlbusch qui, avec Rodolfo Rabe, a fondé en 2008 la start-up de l'Empa Alemnis GmbH. Si, comme ce fut le cas ici, un projet CTI aboutit au développement d'appareils spéciaux innovateurs, les chercheurs de l'Empa peuvent en règle générale compter sur le succès de leur introduction sur le marché. Alemnis pro-

duit des instruments sur mesure destinés à l'industrie des semi-conducteurs et aux instituts de recherche qui permettent de manipuler et de tester des échantillons de matériaux sous les microscopes optiques et dans les microscopes électroniques. Par exemple un nanoindenteur dont la minuscule pointe de diamant appliquée sur un échantillon de matériaux permet de déterminer le module d'élasticité de celui-ci par la mesure continue de la force appliquée et de la profondeur de pénétration de cette pointe. Ou encore un système d'injection de gaz et des nanopositionneurs permettant de réaliser des nanostructures.

A côté de son activité dans sa propre entreprise, Fahlbusch travaille à l'Empa au développement d'un instrument de nanoanalyse, de nanostructuration et de nanomanipulation. En 2008 il a commencé à consacrer toujours plus de temps au développement et à la diffusion des produits Alemnis. «Je suis heureux d'avoir suffisamment de temps pour présenter nos prototypes à nos clients potentiels lors d'expositions.» Des présentations qui ont entretemps débouché sur des demandes concrètes en provenance d'Europe et d'Asie, émanant principalement d'anciens partenaires de recherche.

Un lien entre la recherche et l'industrie

Fred Oestlund lui aussi prend congé de l'Empa «par acompte». Au contraire de Fahlbusch et Rabe, ce physicien suédois, qui occupe un poste partiel à l'Empa où il se consacre à l'analyse et au traitement des surfaces sur une installation à faisceau d'ions focalisé FIB («Focused Ion Beam»), n'a pas choisi la voie de la création d'entreprise mais celle de l'intégration dans une firme déjà établie. L'entreprise Tofwerk AG fondée en 2002 développe et produit des spectromètres compacts et ultrasensibles capables d'analyser en quelques millisecondes la composition de particules, d'air ou de matériaux. Un tel spectromètre de masse a par exemple été utilisé durant les jeux

olympiques de Pékin pour mesurer la pollution locale par les poussières fines. Dans le projet UE «FIBLYS» consacré au développement d'un FIB pour des applications nanotechnologiques, Oestlund représente à la fois Tofwerk et l'Empa. Alors qu'il poursuit chez Tofwerk le développement des spectromètres de masse, à l'Empa il les intègre dans des installations FIB et les utilise dans la recherche en science des matériaux.

«Nous sommes en principe toujours à la recherche de collaborateurs qui possèdent un bagage scientifique adéquat» déclare le CEO de Tofwerk, Marc Gonin. Oestlund correspond parfaitement à cela. «En fait chez nous il développe des logiciels. Toutefois du fait de sa formation reçue à l'Empa, il n'est pas seulement capable de se servir d'un spectromètre de masse, il est aussi capable d'en modifier le montage et il comprend encore aussi les problèmes qui se posent sur le plan de l'analyse chimique.» De plus, ce chercheur de l'Empa offre un lien précieux avec la recherche actuelle: «Il est vital pour notre développement de maintenir à jour notre savoir. Et ce lien avec l'Empa nous aide énormément dans cela», déclare Gonin.

Un passage réussi dans l'industrie

Vinzenz Friedli a même franchi un pas supplémentaire: il a quitté l'Empa le 1er janvier 2010. Son nouvel employeur est la Firme SPECS, une PME qui possède un siège à Zurich et à Berlin et qui développe des systèmes à ultravide pour l'analyse des surfaces. «Une fois mon doctorat achevé, une chose était sûre: je voulais passer dans l'industrie», explique Friedli. Comme postdoc à l'Empa il avait déjà collaboré avec son employeur actuel dans un projet CTI consacré au développement d'un système de contrôle hybride pour un microscope à force atomique incorporé dans un microscope électronique à balayage. Il avait alors occupé chez SPECS un poste à temps partiel dans le cadre de ce projet. Avec un résultat convaincant – pour le partenaire industriel aussi. «Pour notre entreprise cette période intermédiaire de 18 mois au sein du projet CTI fut idéale», commente Tobias Vančura, Chief Operating Officer de SPECS. «Aucune procédure d'évaluation au monde nous aurait permis d'apprendre à connaître aussi bien un collaborateur et de savoir qu'il était le bon.» Lorsqu'il est entré en fonction comme product manager chez SPECS, Friedli en avait pratiquement déjà assimilé la culture d'entreprise et déjà suivi sa «formation interne». «Ceci représente pour nous une économie de ressources énorme», avoue Vančura. Et la prochaine tâche attend déjà Friedli. Il doit amener à maturité commerciale et lancer sur le marché les prototypes qu'il a développés à l'Empa avec SPECS.

Une situation win-win pour tous

Avec une telle «saignée» de scientifiques on peut se demander en quoi cela profite finalement à l'Empa. En premier lieu avec un «parc d'appareils» étonnant. Car Johann Michler a fixé par contrat que les prototypes issus des projets de recherche et de développement avec l'industrie demeurent à l'Empa. Ce qui convient aussi aux trois entreprises Alemnis, Tofwerk et SPECS car avec cet équipement unique l'Empa peut continuer à faire de la recherche de haut niveau et à former la relève scientifique. Il en résulte finalement aussi des publications scientifiques de premier plan qui servent d'arguments de vente aux entreprises. «Une situation win-win pour tous» comme en est convaincu Michler.

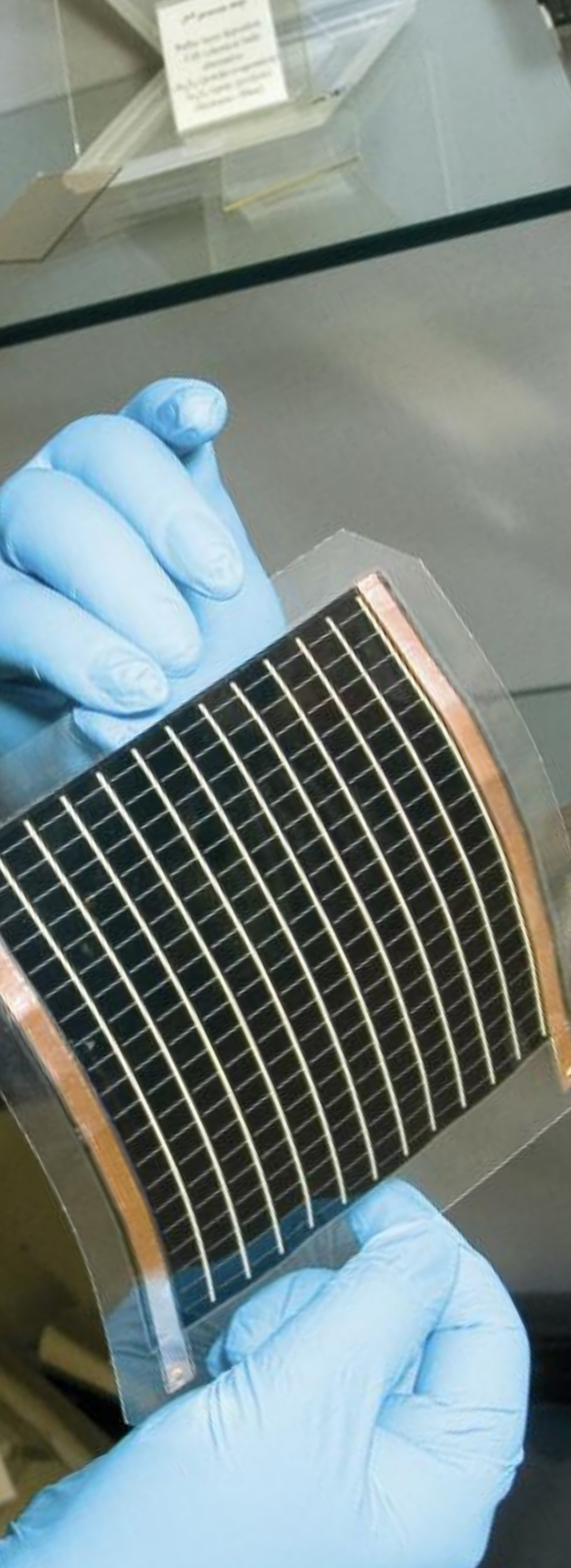
Grâce à sa stratégie, ce chercheur de l'Empa profite d'un réseau largement ramifié d'anciens postdocs et doctorants. «Comme on se connaît bien, qu'on parle la même langue et que les voies de communication sont simples et courtes, les prochains projets communs sont vite ficelés», estime-t-il avec satisfaction. La proximité de l'industrie de l'Empa est ainsi pratiquement garantie. //

A close-up portrait of a man with grey hair and a mustache, wearing a grey sweater over a light blue collared shirt. He is looking slightly to the right of the camera. In the background, a glass shelf holds several small, rectangular solar cell samples, some with labels. The lighting is bright, highlighting the man's features and the metallic surfaces of the samples.

Flexibles, minces et bon marché: les piles solaires de demain

L'énergie fournie par le soleil est suffisante pour assurer un approvisionnement en énergie durable et écologique. Des chercheurs de l'Empa travaillent au développement des piles photovoltaïques et de leurs procédés de fabrication afin d'améliorer leur efficacité et faire ainsi baisser les coûts de l'électricité solaire. Un but qui se rapproche.

TEXTE: Beatrice Huber



Les piles solaires flexibles à couche minces «made by Empa»: développement de piles à taux de conversion élevé au moyen de procédé de production peu coûteux. (Photo: Ruedi Keller)

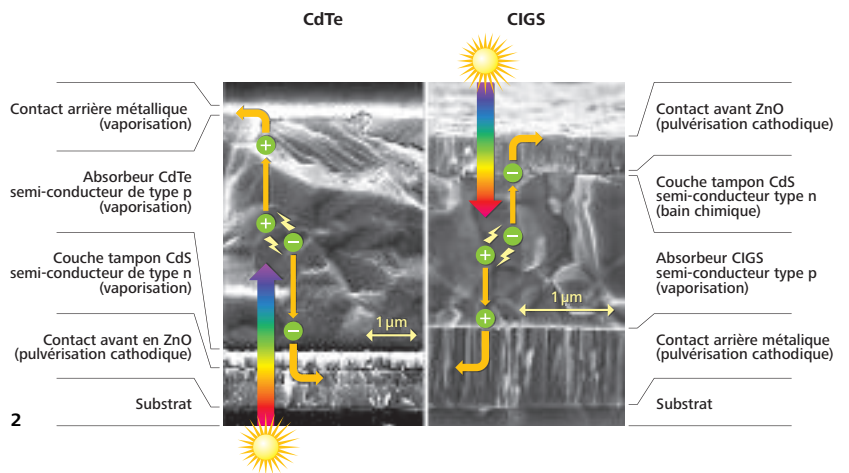
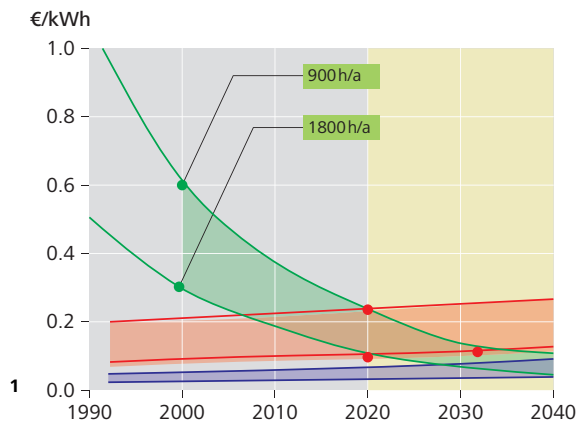
Pourquoi au fait des piles solaires?» telle est la question, rhétorique, que pose Ayodhya Tiwari qui dirige le laboratoire de l'Empa „Films minces et photovoltaïque», et qui fournit aussi immédiatement la réponse: «La photovoltaïque pourrait être la réponse simple à un gros problème global: assurer un approvisionnement en électricité sûr et durable, et cela pour l'éternité.» Une chose est sûre, les supports énergétiques fossiles ne sont pas la solution pour répondre à la demande d'énergie sans cesse croissante. Les nations industrialisées ne sont pas les seules à consommer toujours davantage d'énergie, cette consommation augmente aussi sans cesse dans les pays émergents et en voie de développement. Comme l'explique Tiwari, la photovoltaïque est la seule technologie qui transforme directement la lumière en électricité et elle possède un excellent potentiel pour fournir une énergie bon marché.

Assez pour couvrir 60 fois la consommation mondiale d'électricité

Le soleil est une source d'énergie quasiment inépuisable. En une heure seulement, la Terre reçoit du Soleil suffisamment d'énergie de rayonnement pour couvrir la consommation d'énergie annuelle mondiale. Le calcul montre que, techniquement parlant, les piles solaires pourraient produire environ un million de térawatts par heure (TWh), soit environ 60 fois plus que la consommation mondiale d'électricité (2008: 16800 TWh). «La photovoltaïque a fait des progrès considérables ces dernières années. Des coûts de production nettement à la baisse l'indiquent: l'électricité solaire va au devant d'un avenir rayonnant», déclare avec enthousiasme Tiwari.

La première présentation officielle d'une pile solaire – une pile solaire au silicium de Bell Labs – eut lieu en 1954 – et la première utilisation pratique, sur le satellite américain Vanguard, en 1958. Longtemps les développements dans ce domaine sont restés limités aux utilisations spatiales. Ce n'est qu'avec la crise pétrolière de 1973 qu'un virage s'est opéré et que les piles solaires sont alors apparues comme une alternative possible pour la production terrestre d'électricité. Mais ce n'est toutefois que lorsque le grand public a commencé à manifester un intérêt pour les thèmes tels que l'effet de serre, le réchauffement climatique et l'énergie durable que les énergies renouvelables, et en particulier la photovoltaïque, ont véritablement pris leur essor. C'est ce dont témoigne aussi la croissance du marché des piles solaires, avec en moyenne 30 pour-cent par an sur ces dix dernières années et même 40 à 60 pour-cent ces dernières années. Selon le huitième rapport annuel sur la photovoltaïque publié par le «Joint Research Centre» de la Commission européenne, la production mondiale d'électricité par photovoltaïque s'est montée à 7.3 gigawatt (GW) environ en 2008, avec une puissance installée totale de 15 GW.

>>



Record mondial pour les piles solaires flexibles

Tiwari et son équipe travaillent sur les piles solaires à couches minces en matériaux semi-conducteurs anorganique; d'autres groupes de recherche de l'Empa s'occupent aussi des piles solaires organiques (voir page 16) et ensemble ils développent ce que l'on nomme des piles tandem qui associent différentes approches pour accroître ainsi le rendement des piles solaires. Les semi-conducteurs utilisés sont le tellurure de cadmium (CdTe) et diséléniure de cuivre-indium-gallium (copper indium gallium diselenid, CIGS, $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$). Grâce à l'absorption lumineuse élevée que présentent ces matériaux, l'épaisseur de ces piles solaires n'est que de dix micromètres contre 200 à 400 pour les piles solaires au silicium standards. Cette faible consommation de matériau diminue les coûts de production. Et c'est précisément ce à quoi il faut parvenir car pour devenir concurrentielle sur le marché mondial, la photovoltaïque doit voir son prix descendre à moins de 0,5 USD par watt installé. Ce prix est actuellement de 0,85 USD pour les piles solaires le meilleur marché.

Tiwari, qui est venu il y a une année avec son équipe à l'Empa depuis l'ETH de Zurich, ne veut pas se limiter à une seule technologie. Ses scientifiques travaillent «large» et recherchent partout ce qu'il y a de meilleur, que ce soit pour ce qui est des matériaux ou de leurs procédés de transformation. Les succès et records enregistrés leur donnent raison. Son équipe détient ainsi par exemple le record mondial d'efficacité pour les piles solaires flexibles à base de tellurure de cadmium, avec un taux de conversion de 12,4 pour cent. Pour les cellules solaires flexibles CIGS leur record est même de 16,0 pour-cent, soit nettement plus élevé que le record précédent Empa-ETH de 14,1 pour cent considéré comme la valeur la plus élevée confirmée par une instance indépendante pour un substrat polymère. Mais ce n'est pas encore tout: «Nos technologies se prêtent aussi parfaitement à un passage à la production industrielle de modules bon marché», comme Tiwari en est convaincu.

Des revêtements «basse température» pour les feuilles polymères

Des travaux de développement sont encore nécessaires avant d'y parvenir. Le but est d'arriver à produire des piles solaires encore plus minces qui possèdent simultanément une puissance élevée tout en étant produites avec des méthodes de revêtement encore plus rapides, plus simples et meilleur marché. Une spécialité de Tiwari sont les revêtements «basse température» pour les feuilles polymères avec lesquelles les revêtements sont appliqués à une température inférieure à 450° C au lieu des 600° C habituels sur le verre, ce qui permet d'éviter que les feuilles polymères fondent. Les feuilles polymères présentent l'avantage d'être flexibles et légères, et on peut ainsi les utiliser en rouleaux pour leur revêtement et diminuer alors notablement les coûts de production.

L'utilisation de piles solaires au tellurure de cadmium est controversée car le cadmium sous forme élémentaire est des plus toxiques. Plusieurs études indépendantes sont toutefois arrivées à la conclusion que le tellurure de cadmium est un composé extrêmement stable et qu'il ne présente ainsi de risques ni pour l'environnement ni pour la santé. Une étude du Brookhaven National Laboratory a même montré que les couches minces photovoltaïques à base de CdTe est la technologie qui produit la plus faible charge environnementale par watt de puissance (dans des conditions de laboratoire), même pour ce qui est du cadmium et cela sur toute leur durée de vie. En exploitation, les modules solaires – au contraire des générateurs de courant conventionnels tels que les centrales électriques à gaz ou à charbon – ne produisent absolument aucun polluant, pas de CO_2 et pas non plus de bruit. Autrement dit exactement ce qu'on attend d'une production d'électricité du futur. //

1

Comparaison des coûts entre alimentation électrique de base (bleu), courant de pointe (rouge) et photovoltaïque (vert). Suivant le rayonnement solaire – Zurich, par exemple, compte 1500 heures de soleil par année – l'électricité solaire devrait devenir concurrentielle d'ici 2020. (Source: RWE Energie AG et SCHOTT Solar GmbH)

2

Piles solaires à couche mince à base de CdTe (à gauche) et de CIGS (à droite), développées à partir de différentes méthodes de revêtement. Dans la couche active, le rayonnement incident produit des paires formées d'électrons (charge négative) et de trous (charge positive). La couche barrière p-n provoque la séparation des charges et l'énergie électrique peut-être captée directement avec les deux contacts électriques. (Photo: Empa)

Le silicium – un potentiel encore loin d’être épuisé



TEXTE: Martina Peter / PHOTO: iStock

Sur le site de l’Empa à Thoune aussi des activités sont en cours dans le domaine de la photovoltaïque. A la différence des autres équipes de l’Empa qui travaillent sur des concepts de piles d’un type nouveau, celle de Thoune se consacre principalement à la production et au traitement des matériaux classiques destinés aux piles solaires tels que le silicium. C’est ainsi que dans une projet financé par l’Office fédéral de l’énergie, les chercheurs du laboratoire «Werkstoff- und Nanomechanik» synthétisent des nanostructures d’oxyde de zinc qui permettent de réaliser des piles solaires ayant des absorbeurs extrêmement minces (Extreme Thin Absorber, ETA) qui absorbent mieux l’énergie de rayonnement et la transforment plus efficacement en électricité. C’est aussi l’accroissement de l’efficacité qui se trouve au centre d’un autre projet auquel participe aussi ce laboratoire, cela grâce à des piles solaires en nanofils de carbone. A l’aide de moyens d’analyse spéciaux utilisés dans une microscope électronique à balayage, les chercheurs étudient les propriétés mécaniques et électroniques des ces minuscules fils.

Dans un projet de l’UE, plus proche de l’application, des scientifiques des matériaux utilisent le laser pour produire des couches minces de silicium possédant des grains relativement grossiers. En effet, dans les couches cristallines minces à grains grossiers, les porteurs de charge générés par le rayonnement lumineux «disparaissent» moins facilement que dans les couches à grains fins. Avec le nouveau procédé de fusion par laser développé à cet effet, il se pro-

duit toutefois des tensions mécaniques dans le matériau. Tensions qui, dans le cas le plus défavorable, peuvent conduire au décollement de la couche photoactive de sa couche support en verre. Les chercheurs de l’Empa travaillent sur des solutions qui devraient permettre d’éviter de phénomène.

Procédé de sciage des couches de silicium minces

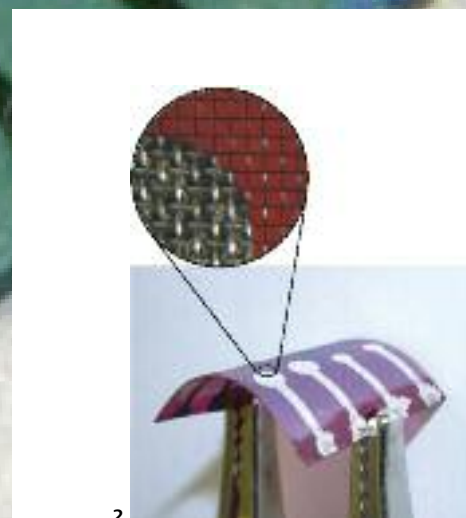
Enfinement, un projet CTI auquel participe aussi le laboratoire de «Advanced Materials Processing» de l’Empa, tente lui d’apporter une réponse à des questions concrètes de l’industrie. Pour produire avec une économie de matériau suffisante les piles solaires à base de silicium cristallin qui dominent actuellement le marché, l’épaisseur des tranches de silicium ne doit pas dépasser un quart de millimètre (soit 250 micromètres). En collaboration avec un fabricant de piles solaires suisse, des chercheurs de l’Empa ont optimisé le processus de sciage et développé une installation pilote qui permet de réaliser des tranches d’une épaisseur de 100 micromètres seulement, ce qui permet des économies notables des blocs de silicium cristallin fort coûteux.

La récupération de la «boue de silicium» produite par le sciage, jusqu’ici perdue, est aussi un des objectifs que poursuit le laboratoire «Advanced Materials Processing». Le procédé développé utilise la flottation - un procédé mécanique pour la séparation des particules solides en suspension dans une solution aqueuse au moyen de bulles d’air. Une spin-off va sous peu être créée pour valoriser le brevet dont fait l’objet ce procédé. //

Sur la voie de la pile solaire transparente



1



2

Des piles solaires qui captent le rayonnement solaire à l'aide de substances organiques et le transforment en électricité auraient le gros avantage d'être bien moins chères que les piles solaires au silicium conventionnelles. Un long chemin reste toutefois à parcourir jusqu'à leur maturité commerciale; un défi pour la recherche fondamentale. Par exemple pour rendre ces piles solaires plus durables, ce que tentent de faire les chercheurs de l'Empa.

TEXTE: Beatrice Huber / PHOTOS: Empa

1

Une pile solaire organique issue des laboratoires de l'Empa.

2

Un tissu flexible et transparent qui pourrait remplacer l'ITO coûteux comme électrode sur les piles solaires. Ce tissu peut être produit en grande quantité et à bon marché. La photo montre un substrat de tissu revêtu de polymère (au total quatre cellules de laboratoire); la vue de détail montre le fin tissu ainsi que la contre-électrode supérieure en aluminium.

3

Le schéma d'une pile solaire organique idéalisée: les deux matériaux organiques actifs sont «engrenés» l'un dans l'autre afin de créer une interface aussi grande que possible, ce qui favorise une production efficace des charges.

4

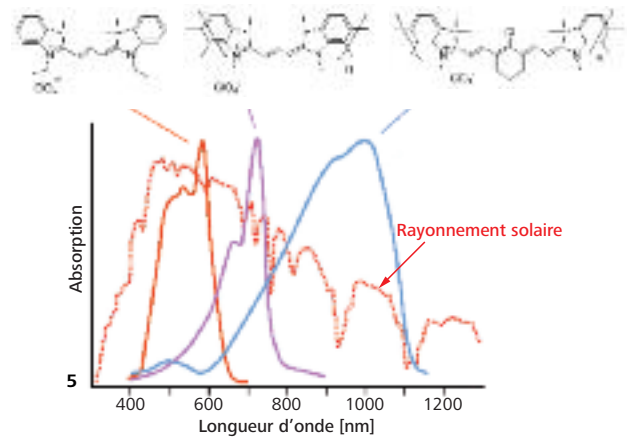
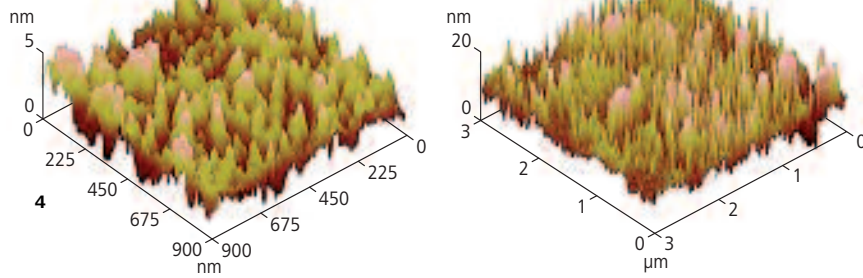
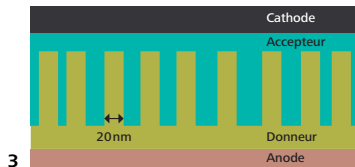
Une micrographie électronique montrant les minuscules sommets et vallées qui augmentent de plusieurs fois la surface.

5

Les colorants utilisés en photographie présentent une forte absorption lumineuse qui les rend intéressants pour la photovoltaïque. Lorsqu'on couple chimiquement entre eux ces colorants, l'absorption se déplace dans le domaine infrarouge (longueur d'onde supérieure à 780 nm). La combinaison de plusieurs colorants permet de couvrir la totalité du spectre du rayonnement solaire.

La photovoltaïque possède un potentiel énorme ainsi que le montre la part sans cesse croissante de cette technologie dans la production d'énergie renouvelable. Cependant on ne sait pas encore quelle sera la pile solaire «idéale» qui parviendra à s'imposer. A côté de la technologie classique des semi-conducteurs (voir articles pages 12 et 15), les piles solaires organiques et à colorant se développent comme une alternative possible. L'Empa participe à la recherche et au développement des matériaux organiques et des procédés nécessaires à cela.

La fabrication industrielle à grande échelle des piles solaires au silicium a certes réduit leurs coûts de production mais le prix du silicium ultra pur demeure fort élevé. C'est ce qui rend intéressantes les technologies sans silicium à base de substances organiques qui, grâce à des matières premières pratiquement inépuisables et à des procédés de fabrication plus simples, présentent des coûts de production encore plus bas. Comme l'épaisseur de leur couche productrice d'électricité n'est que de quelques nanomètres, quelques grammes seulement de ces



substances suffisent pour revêtir une grande surface. Et finalement encore, les piles solaires organiques peuvent être appliquées sur de supports flexibles ce qui en élargit le domaine d'application.

Le développement très rapide dans le domaine des piles solaires organiques a permis d'atteindre en laboratoire des taux de rendement supérieurs à sept pour-cent, soit l'équivalent de celui des piles solaires à silicium amorphe. Des questions fondamentales restent encore à éclaircir pour que les piles solaires organiques puissent effectuer leur percée. Frank Nüesch, qui dirige le laboratoire «Polymères fonctionnels» de l'Empa explique: «Par rapport aux piles solaires inorganiques, la photovoltaïque organique se trouve encore à un stade de développement très précoce.» Avec ses collaborateurs Roland Hany et Thomas Geiger, Frank Nüesch dirige des travaux de recherche portant sur de nouveaux matériaux et concepts de piles.

Le principe des interfaces

La couche active d'une pile solaire organique se compose en général de deux matériaux dont l'un fonctionne comme donneur d'électrons et l'autre comme accepteur d'électrons. Le rayonnement solaire est absorbé dans cette couche active où il produit des états excités, appelés excitons. Si ces excitons migrent vers l'interface entre le donneur et l'accepteur, il se produit un transfert d'électrons et il se crée alors des charges libres qui sont acheminées vers les électrodes. Les excitons ont toutefois une durée de vie extrêmement courte et la survie d'un exciton et la production de charge qu'il entraîne n'est assurée que si le chemin vers l'interface est très court. La couche active devrait être très mince mais elle n'absorberait alors qu'insuffisamment de rayonnement. Les couches mixtes avec une large interface offrent une solution à ce dilemme. Dans sa recherche de la structure de couche idéale, l'équipe réunie autour de

Roland Hany a développé un procédé en deux étapes qui permet de mieux contrôler la structure superficielle. La première étape utilise un mélange du matériau actif et d'un «polymère hôte» pour réaliser une couche bicomposante possédant une surface extrêmement «crevassée». Après quoi le polymère hôte est éliminé sélectivement et remplacé par le deuxième composant actif.

Des colorants pour les piles solaires

Comme alternative aux polymères établis, les chercheurs de l'Empa utilisent aussi des colorants, tels que ceux que connaît la photographie. «L'absorption phénoménale de ces colorants est exactement ce que nous cherchons pour la photovoltaïque organique à couches minces», explique Nüesch. Son équipe a découvert que l'on peut utiliser des couches de colorant d'une minceur telle que l'on peut renoncer à la structuration de leur interface. Des rendements de trois pour-cent ont déjà été obtenus par Nüesch et son équipe. «Cela semble peu, mais c'est là un record pour les matériaux de ce type», commente cet expert en photovoltaïque.

Par ailleurs, des chimistes de l'Empa sous la direction de Thomas Geiger ont aussi synthétisé des substances qui n'absorbent le rayonnement solaire que dans l'infrarouge proche (IRP). Comme l'infrarouge proche est invisible pour l'œil humain, ces substances et les piles solaires qui les utilisent sont transparentes. «On peut donc aussi les appliquer sur des vitrages» relève Geiger. Entre temps certaines variantes de ces colorants IRP ont démontré en laboratoire leurs possibilités avec des rendements atteignant une valeur record de cinq pour cent.

Electrodes tissées transparentes

Pour que le courant puisse aussi circuler – et devenir ainsi utilisable – il faut munir la couche active d'électrodes. En plus d'une bonne conductibilité électrique, l'électrode

faisant face au rayonnement solaire doit présenter encore une autre propriété importante qu'est sa transparence. Actuellement on utilise le plus souvent des électrodes en oxyde d'indium-étain (Indium Tin Oxide, ITO). Le prix élevé de l'ITO – l'indium est un métal rare – rend ce matériau peu approprié pour des piles solaires bon marché. Comme alternative, l'équipe de Frank Nüesch étudie un tissu flexible transparent, productible en grandes quantités et à faible coût, auquel sont incorporés des fils métalliques qui assurent la conductibilité électrique. Ce tissu s'est révélé convaincant lors des essais et il présente même des propriétés électriques et optiques meilleures que l'ITO. //

Piles solaires en couche mince: la Suisse en pointe

Même si la Suisse n'est pas détentrice des records mondiaux d'ensoleillement, elle fait partie des pays de pointe pour ce qui est de la recherche et du développement dans le domaine de la photovoltaïque des couches minces. Et avec elle, aussi des laboratoires de l'Empa. Depuis 2006, ces laboratoires sont de plus réunis avec des groupes de recherche de l'EPFL à Neuchâtel et à Lausanne au sein de «ThinPV», un groupe national pour la photovoltaïque en couche mince. Le coordinateur du groupe, le chercheur de l'Empa Frank Nüesch, en décrit ainsi les buts: «Nous désirons créer à l'échelon suisse une plateforme pour la recherche en photovoltaïque, encourager les étudiants et assurer la relève scientifique dans ce domaine.»

Informations: <http://thinpv.empa.ch>

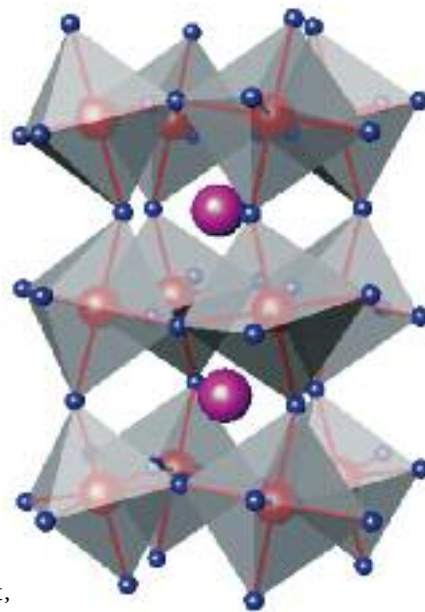
La métamorphose de l'énergie dans un cristal

Les scientifiques de l'Empa réunis autour de Anke Weidenkaff veulent produire du courant écologique à partir de chaleur perdue à l'aide de ce que l'on nomme les pérovskites. Ces oxydes métalliques possèdent une structure cristalline spéciale qui leur permet de transformer la chaleur directement en électricité

TEXTE: Laura Meier / ILLUSTRATIONS: Empa

On les dénomme thermoélectriques: des matériaux qui produisent de l'électricité dès qu'il sont soumis à une différence de température. Sans bruit, sans usure ni émissions et sans influencer grandement le climat. La scientifique de l'Empa Anke Weidenkaff, qui dirige le laboratoire «Chimie du solide et catalyse», et son équipe sont à la recherche de matériaux qui permettent d'utiliser ce phénomène à des fins pratiques

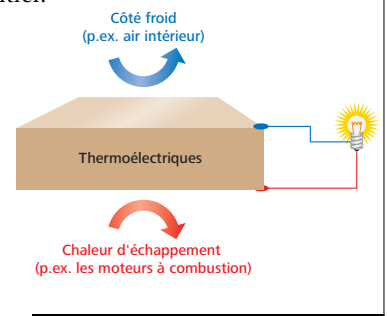
Les thermoélectriques ne sont pas nouveaux; les substances jusqu'ici «courantes» contiennent toutefois du tellure, un métal rare et donc cher – et qui de plus est toxique. Par ailleurs ils ne sont stables que jusqu'à une température de 300 degrés et présentent encore un rendement plutôt modeste. Raison pour laquelle les chercheurs de l'Empa désirent développer des thermoélectriques non toxiques, stables et plus efficaces. Lors du deuxième «Thermopower Symposium» international qui s'est tenu à l'Empa, ils ont présenté les résultats les plus récents de leurs travaux sur des thermoélectriques céramiques à structure de type pérovskite.



Structure cristalline de type pérovskite

L'effet Seebeck

Une différence de température au sein d'un conducteur électrique entraîne une différence de potentiel électrique et ainsi l'apparition d'une tension. Ce phénomène thermoélectrique est dénommé effet Seebeck, du nom de Thomas Johann Seebeck qui a décrit pour la première fois ce phénomène en 1821. Sur le côté chaud du conducteur, les électrons libres possèdent une énergie de mouvement plus grande et se distribuent davantage du côté froid où la densité électronique est alors plus forte, ce qui produit une différence de potentiel.



Des artistes transformateurs qui produisent du courant écologique

Les pérovskites naturelles sont formées d'ions métalliques chargés positivement, le plus souvent du calcium et du titane, et d'oxygène. Leurs cristaux fréquemment noirs ou rouge brun ont la forme d'un cube déformé. Elles présentent une stabilité très élevée à l'air, ce qui les rend aussi intéressantes pour des applications à des températures de quelques milliers de degrés.

La particularité des pérovskites réside dans leur structure cristalline flexible qui permet des modifications de leur composition chimique. Leurs propriétés varient suivant leur formule globale et elles peuvent alors être soit électroconductrices, soit thermoconductrices ou encore même s'utiliser comme supraconductrices. Dans les laboratoires de l'Empa, les chercheurs tentent d'optimiser ces thermoélectriques par élimination, substitution ou adjonction d'éléments dans leur grille cristalline. Ils synthétisent ainsi de nouveaux matériaux à structure de pérovskite qui, grâce à ce «principe de Lego» élémentaire, peuvent être modifiés de manière ciblée.

La chaleur de l'été pour les froides journées d'hiver

A court terme – pour des heures ou même des jours – il est tout à fait possible de stocker la chaleur, par exemple dans un gros réservoir d'eau. Pour un stockage notablement plus long, le volume de ce réservoir devrait toutefois atteindre le quart de celui de la maison à chauffer.

La solution: le stockage thermochimique

Une approche nouvelle consiste non pas à stocker l'énergie sous forme de chaleur mais sous forme thermochimique en utilisant les propriétés de sorption de certains matériaux. «Notre principe repose sur l'absorption d'eau par un matériaux fortement hygroscopique», explique Robert Weber du laboratoire « Technologies du bâtiment » qui dirige à l'Empa un projet financé par l'Office fédéral de l'énergie. Avec un tel système, des pertes ne se produisent que lors de la «charge» et de la «décharge» de l'accumulateur de chaleur – l'idéal pour un stockage intersaisonnier.

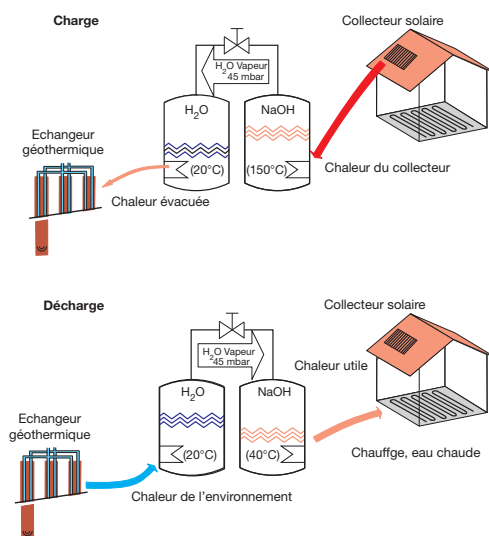
Comme matériau de stockage, l'accumulateur de l'Empa utilise de la soude caustique – une substance peu coûteuse. Autre avantage: au contraire des autres accumulateurs à sorption, ce système fonctionne déjà avec des températures de 120°C, soit des températures que fournissent déjà les collecteurs solaires courants. Avec ce projet, l'Empa se situe à la pointe de la recherche et Weber reçoit de nombreuses demandes d'entreprises intéressées.

Pas encore suffisant pour l'eau chaude sanitaire

Une solution pour le chauffage «seulement» ne satisfait pas ce chercheur de l'Empa – car elle ne serait pas non plus suffisamment rentable. C'est pourquoi il travaille déjà sur un système multiplicatif permettant de produire aussi de l'eau chaude sanitaire. Au lieu de 40 degrés, suffisants pour le chauffage, la température à atteindre est là de 60 degrés. Pour ce développement l'Empa s'est alliée à des partenaires tels que l'Institut de technique solaire de la Haute école technique de Rapperswil. //

A la différence de ce qui se passe dans les thermoélectriques classiques, dans les pérovskites les porteurs de charge se déplacent par «sautillements» qui dépendent fortement des porteurs de charge voisins et qu'il est ainsi possible d'influencer par un design approprié du matériau. Les chercheurs de l'Empa sont maintenant parvenus à augmenter notablement l'énergie par porteur de charge (entropie de spin) et par là le pouvoir thermoélectrique de leurs nouveaux matériaux; un manganate de calcium passe pour être actuellement le meilleur thermoélectrique à conductivité de type n au monde.

Les bons thermoélectriques doivent posséder une conductibilité électrique élevée et une conductibilité thermique aussi faible que possible. Pour parvenir à cela, les chercheurs de l'Empa ont recours à la nanostructuration des matériaux. «Dans les nanocristallites, le transport de chaleur est à ce point entravé que la conductibilité thermique qui en résulte est trois fois moins élevée – ce qui se traduit aussi par un pouvoir thermoélectrique plus élevé», explique Weidenkaff. Le prochain objectif est de prouver que ces transformateurs d'énergie sont utilisables pour la récupération de la chaleur perdue dans les moteurs à combustion. //



Représentation schématique du mode de fonctionnement de l'installation de sorption pour le stockage de la chaleur: l'énergie est stockée sous forme chimique et elle est libérée à nouveau sous forme de chaleur. Lors de la charge de l'accumulateur, la soude caustique est concentrée à l'aide de la chaleur solaire. Lors de la décharge, la soude caustique est à nouveau diluée, ce qui dégage de la chaleur.

Jatropha curcas
Photo: Immersia, Wikipedia

Diagnostic: durable?

Les biocarburants sont en règle générale respectueux du climat mais pas pour autant forcément durables. Pour que les petits producteurs des pays en voie de développement eux aussi puissent vérifier la durabilité de leurs biocarburants, il faut mettre à leur disposition des outils simples et bon marché – tels que le «Sustainability Quick Check for Biofuels» de l’Empa.

TEXTE: Beatrice Huber

Au mois de décembre, le sommet mondial du climat de Copenhague aurait dû aboutir à la conclusion d’un accord mondial pour succéder au Protocole de Kyoto. Un tel accord est d’une nécessité urgente car les émissions de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane doivent diminuer drastiquement si l’on veut au moins limiter les conséquences du changement climatique.

Pour réduire les émissions de CO₂, on peut par exemple remplacer les carburants fossiles par des carburants biogènes issus de matières premières renouvelables. Considérés sur la totalité de leur cycle de vie, les biocarburants ne sont toutefois pas tous véritablement durables. L’équipe réunie autour du chercheur de l’Empa Rainer Zah avait démontré en 2007 déjà dans une étude que quelques-uns de ces biocarburants présentaient un écobilan nettement négatif. «Si l’on déboise la forêt tropicale pour produire des biocarburants, cela ne porte pas seulement atteinte à la biodiversité mais constitue aussi la perte d’un puits de carbone important», explique Zah. Les plantes à teneur élevée en énergie, telles que le jatropha, qui ne demandent que peu d’engrais et de pesticides, présentent une meilleure durabilité si elles sont cultivées sur des terres sinon laissées en jachère.

Accès au marché pour les petits producteurs aussi

En Suisse, une initiative parlementaire demande que seuls les biocarburants produits de manière durable soient autorisés. D’autres pays prévoient aussi des mesures similaires. L’évaluation de la charge environnementale provoquée par la production et la consommation d’un biocarburant est cependant une tâche complexe qui n’est pas précisément à la portée des petits producteurs des pays émergents et en voie de développement. «C’est aussi pour

quoi les systèmes de certification recèlent le risque d’une discrimination de ces producteurs et d’une domination du marché mondial des biocarburants durables par les investisseurs internationaux et les exploitants des grandes plantations», déclare Zah. Cela alors que les biocarburants offrent justement aux petits agriculteurs de ces pays la possibilité de se libérer de l’importation des carburants et de développer une production socio-compatible de carburants pour l’exportation.

Une évaluation globale en quelques clics

L’Empa a maintenant développé, avec la «Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin» et la station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, un outil basé sur Internet qui permet de réaliser un test rapide de la durabilité des biocarburants («Sustainability Quick Check for Biofuels», SQCB), un développement qui a été financé par le Secrétariat d’Etat à l’économie SECO. Il suffit à l’utilisateur d’entrer les principaux paramètres de la chaîne de production de son biocarburant et le SQCB les relie avec des informations de base pour calculer bilan de gaz à effet de serre du biocarburant et établir une évaluation globale des charges environnementales. Les résultats sont alors comparés aux critères de durabilité donnés.

Extension aux normes internationales

Actuellement le développement de cet outil se poursuit en collaboration avec l’initiative internationale «Roundtable on Sustainable Biofuels» pour permettre une évaluation en fonction de toutes les normes environnementales européennes et américaines actuelles. «Les petits agriculteurs peuvent ainsi certifier leurs produits directement avec cet outil et ont ainsi la certitude que leurs produits sont autorisés sur tous les marchés d’exportation» explique Zah. //

Une téléconférence réduit massivement les émissions de CO₂

Est-ce que la liaison par vidéo de plusieurs sites de conférence entre eux ménage davantage l'environnement que le déplacement par avion tous les participants vers un seul lieu ? C'est ce qu'ont étudié des chercheurs de l'Empa sur l'exemple de la conférence internationale R'09 et du WRF.

TEXTE: Michael Hagmann

Un congrès international sur le thème de l'épuisement des ressources naturelles ne devrait pas exercer une charge trop importante sur l'environnement. Et se sont particulièrement les vols internationaux qui pèsent ici dans la balance. C'est pour cette raison que le congrès R'09 et le WRF, coorganisés cette année par l'Empa, se sont déroulés pour la première fois simultanément à Davos et à Nagoya au Japon, avec une liaison «live» entre les deux sites assurée par la technologie vidéo la plus moderne. Ces deux manifestations sont ainsi aussi devenues une expérience: ses participants devaient indiquer dans un questionnaire d'où ils venaient et s'ils se seraient déplacés vers l'autre lieu si le congrès n'avait eu lieu qu'à cet endroit.

A partir de ces indications, les chercheurs de l'Empa Vlad Coroama et Martin Birtel du laboratoire «Technologie et société» ont calculé les impacts sur l'environnement de différents scénarios: les 531 participants à la conférence parallèle – 372 à Davos et 159 à Nagoya – avaient provoqué par leur déplacement sur les deux sites de

conférence des émissions de CO₂ atteignant 121 tonnes. 79 «Davosiens» se seraient aussi déplacés à Nagoya et 76 «Japonais» à Davos. Si le congrès n'avait eu lieu qu'à Nagoya, «seules» 238 personnes y auraient participé – et provoqué ainsi 191 tonnes d'émissions de CO₂; 448 participants se seraient tout de même déplacés à Davos – «au prix» de 235 tonnes de CO₂. L'impact sur l'environnement de la conférence parallèle était ainsi d'une fois et demi à deux fois plus faible.

«Si nous calculons la charge exercée sur l'environnement par participant, la conférence parallèle obtient une note encore meilleure», explique Coroama. Ce calcul ne prend toutefois pas encore en compte l'énergie consommée par l'infrastructure vidéo et la transmission par Internet. Mais cette consommation n'exerce pas une influence très importante car, comme le commente Coroama, «la consommation d'énergie de la totalité de l'équipement IT d'une telle conférence provoque moins d'émissions de CO₂ qu'un vol intercontinental d'une seule personne. //

«La Suisse pourrait jouer un rôle de précurseur»



World Resources Forum 2009
September 16, 2009 • Davos Switzerland

Monsieur Edelmann, un bref bilan du «World Resources Forum» ?

Nous sommes parvenu à réunir à Davos la presque totalité des spécialistes de renom international, cela entre autres aussi grâce aux nombreux intervenants de haut rang.

Le WRF a publié une déclaration qui demande une limitation de la consommation de certains biens et matières premières. Est-ce que le libre marché a échoué ici ?

Le plus souvent le libre marché ne tient pas compte de la totalité des effets externes, par exemples des effets sur les écosystèmes tels que la diminution de la biodiversité et la disparition de biotopes ou encore le ré-

chauffement climatique dû à la combustion des supports énergétiques fossiles. Ces effets devraient être exprimés en unités monétaires et reportés sur le prix des matières premières. Tant que cela ne sera pas le cas, le marché aura échoué ici.

Que désirez-vous atteindre avec cette déclaration ?

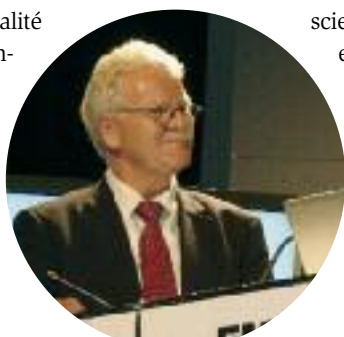
Dans le débat sur l'utilisation – et la surexploitation – des ressources, on est actuellement là où en était il y a 15 ou 20 ans la discussion sur le climat. La communauté scientifique n'est par exemple par encore parvenue à se mettre d'accord sur les indicateurs avec lesquels mesurer la consommation des ressources. De plus, il n'existe encore aucun consensus

sur les objectifs pour ce qui est de la consommation des ressources par habitant ou par nation. Notre déclaration aide à faire progresser la discussion dans cette direction.

Qu'est-il prévu pour la suite ?

Notre but pour ces prochains mois est de conférer un contenu concret à cette déclaration. La Suisse pourrait jouer là un rôle de précurseur en dépassant la seule discussion sur le climat et en inscrivant aussi à l'agenda global le thème des ressources. Il nous faudra aussi penser à la préparation du prochain World Resources Forum qui aura lieu en septembre 2011, probablement à nouveau à Davos, et où le dialogue entre les scientifiques et les économistes jouera un rôle important, car rien ne va sans l'économie. //

Xaver Edelmann est président du «World Resources Forum» et de R'09 et membre de la direction de l'Empa.



Un provisoire fête ses quarante ans

Qu'est ce que le pont Kurt-Schumacher de Mannheim et le célèbre toit du stade olympique de Munich ont en commun ? Tous deux sont suspendus à des câbles massifs dont la résistance a été testée à l'Empa. Et cela il y a quarante ans. La machine d'essai dynamique développée alors spécialement à cet effet, un défi d'ingénierie pour l'époque, est aujourd'hui encore pratiquement en service permanent.

TEXTE: Rémy Nideröst

A mois de février 1969, l'ingénieur en génie civil allemand Fritz Leonhardt avait adressé une demande peu ordinaire au directeur d'alors de l'Empa, Eduard Amstutz. Cet ingénieur, chargé du projet d'un nouveau pont sur le Rhin, désirait savoir si l'Empa était en mesure de réaliser dans de brefs délais des essais de fatigue sur des câbles de tension. Bien certainement, répondit Amstutz, l'Empa étant finalement réputée loin à la ronde pour ce genre d'essais. Toutefois Leonhardt ne désirait pas faire tester des câbles «normaux» mais des câbles vraiment gros, pour des domaines de charge de 425 à 650 tonnes.

Ces câbles, destinés au pont Kurt-Schumacher, un pont à haubans unique pour l'époque, d'une longueur de 1,5 kilomètres, enjambant le Rhin entre Mannheim et Ludwigshafen, devaient être soumis à des essais de fatigue avant leur mise en place. Des essais pour lesquels il n'existait alors aucune installation au monde pour des câbles de telles dimensions. Même l'Empa ne réalisait à cette époque que des essais dynamiques dans un domaine de charge atteignant au maximum 280 tonnes. Amstutz ne voulait toutefois en aucun cas laisser échapper cette commande; il fallait donc construire une nouvelle machine d'essai notablement plus puissante.

Dans les essais de fatigue, les «épreuves» subissent deux millions de cycles de charge et de décharge pour simuler les sollicitations réelles. Les câbles des ponts, par exemple, sont sollicités même en position de repos par la masse propre du pont, qui équivaut à la charge inférieure dans les essais. Les sollicitations supplémentaires par le trafic, le vent, la pluie et la neige constituent la charge dite supérieure, soit la charge maximale que les câbles doivent être en mesure de supporter. Les câbles destinés au pont Karl-Schumacher devaient ainsi être soumis à des cycles de charge entre 450 et 650 tonnes. Une affaire pas vrai-

ment simple – comme s'en rendirent très vite compte les ingénieurs de l'Empa – et guère maîtrisable avec les installations de traction hydrauliques disponibles à l'époque.

C'est Alfred Rösli, qui dirigeait alors la section «Béton armé et ouvrages en béton», qui eut alors une idée lumineuse pour parvenir à de telles forces: l'utilisation de ressort de force correspondante pour établir la charge inférieure ce qui permettait alors de disposer de la totalité de la force hydraulique pour la différence à la charge supérieure.

Impossible, un mot banni du vocabulaire de l'ingénieur

Jusqu'ici tout était parfait – du moins sur le papier. Le 23 septembre 1969, les travaux de construction de cette «installation pour les essais de fatigue des câbles de gros diamètre», tel est le nom provisoire donné à cette installation, débutèrent dans la halle de génie civil de l'Empa. La pièce centrale de l'installation qu'est son ressort d'un poids de 44 tonnes – un article inconnu dans les catalogues de fourniture – fut fabriqué dans les ateliers de l'entreprise de construction métallique Geilinger à Winterthur sur les spécifications précises de l'ingénieur Rösli.

Comme si les dimensions de ce projet n'étaient pas déjà un défi suffisant, l'Empa se trouvait encore confrontée aux délais exigés par la ville de Mannheim. Fritz Leonhardt n'avait en effet pas exagéré en men-



1
40 ans de service et pas un signe de fatigue: l'installation pour les essais de fatigue des câbles de gros diamètre. Son ressort de 44 tonnes, en vert, constituait en 1969 une innovation révolutionnaire dans le domaine de la construction mécanique. (Photo: Empa)

2
Les câbles qui supportent le toit du stade olympique de Munich construit pour les jeux olympiques de 1972 ont été testés à l'Empa. (Photo: Wikipedia)

3
Le pont Kurt-Schumacher, d'une portée de 1,5 kilomètres, enjambe le Rhin entre Mannheim et Ludwigshafen. C'est son constructeur, Kurt Leonhardt, un des ingénieurs en génie civil allemands les plus marquants du 20^e siècle, qui en 1969 avait engagé l'Empa à construire une machine d'essai toujours en exploitation 40 ans plus tard. (Photo: Immanuel Giel)



2



3



tionnant des délais «à court terme» dans sa demande. Suivant la devise «le jour a 24 heures, il nous reste donc encore en plus toute la nuit», l'équipe de l'Empa travailla pratiquement jour et nuit. Pourtant même si l'on pouvait tenir les délais, personne n'était en mesure de dire si les quatre pulsateurs – les agrégats de pompes électriques servant à établir la pression hydraulique qui devaient être couplés entre eux pour les essais – seraient effectivement en mesure de remplir leur tâche énorme.

Les premiers tests ayant été concluants, trois jours après seulement les essais débutèrent et les premiers résultats furent livrés le 14 novembre. Environ six mois plus tard, 14 câbles, totalisant 30 millions de cycles de charge, avaient subi leurs essais, cela à l'entière satisfaction de la ville de Mannheim. Le pont Kurt-Schumacher fut ouvert à la circulation en 1972 après trois ans de construction.

Un provisoire au succès très durable

Le pont à haubans révolutionnaire de Mannheim n'est pas resté la seule «célébrité» à avoir subi ses épreuves à Dübendorf: en 1969 des essais ont été réalisés sur les câbles et les poulies de renvoi destinés au toit du stade olympique de Munich où se déroulèrent les jeux olympiques d'été en 1972, la finale des championnats du monde de football en 1974 et les championnats d'Eu-

rope de football en 1988. Ces commandes élargirent encore la réputation de l'Empa dans le domaine des ponts à haubans et de nombreux autres mandats d'essai suivirent. Cette machine d'essai, conçue à l'origine comme installation provisoire, a depuis réalisé un demi-milliard de cycles de charge sans la moindre défaillance. Les essais de fatigue sur les câbles de grand diamètre pour ponts à haubans sont aujourd'hui devenus un travail de routine qui pose toutefois toujours des exigences élevées.

Nouvelle première mondiale en 1996: Sur le pont à haubans Storchenbrücke à Winterthur, au lieu de câbles en acier, les ingénieurs utilisèrent pour la première fois des câbles en fibres de carbone développés par l'Empa. Mais ces poids plumes étaient-ils suffisamment stables pour être utilisés sans risque dans la construction? Afin d'éliminer les doutes émis sur ce matériau innovateur, il fallut soumettre ces câbles en fibres de carbone à plus de 10 millions de cycles de charge. Avec un résultat convainquant: dans ce test, les câbles en fibres de carbone firent preuve d'une résistance à la fatigue supérieure de plus de trois fois à celle des câbles en acier usuels.

Après quarante ans de dur travail, cette installation d'essai n'est pas encore près d'être mise à la retraite. Comme on construit actuellement plus que jamais des ponts à haubans, cela du fait de leur élégance et de critères économiques, il existe une demande importante pour ces essais. L'ancien directeur de l'Empa Dübendorf, Urs Meier, qui en 1969, alors ingénieur en génie civil frais émoulu de l'ETH de Zurich, avait été chargé de l'établissement des plans de détail et de la construction de cette installation, estime que cette installation est encore suffisamment «en forme» pour supporter encore bien des millions de cycles de charge et de fêter ainsi le jubilé de ses cinquante ans. //

Leur opinion

Doris Leuthard, Conseillère fédérale



Doris Leuthard,
Conseillère fédérale
Cheffe du Département
fédéral de l'économie

“

Selon la dernière édition
du 'European Innovation
Scoreboard', la Suisse
occupe une position
de pointe en Europe dans
le domaine de l'innovation – et cela grâce
aussi à des institutions
telles que l'Empa.”

”

Manifestations

23 février 2010

Gender in Research

How to become more competitive in FP7

Pour les chercheuses et les assistantes,
coordinatrices de projet et les participants au
programme FP7

Empa, Dübendorf

15 et 16 mars 2010

Modern Electrochemical Methods

Pour les personnes intéressées de la recherche
et de l'industrie

Empa, Thoune

12 à 16 avril 2010

Intensive course: Nanoparticles and Nanocomposites

Pour les personnes intéressées de la recherche et
de l'industrie

Empa, Dübendorf

13 avril 2010

Recycling Beton

Pour les ingénieurs, les architectes et les maîtres
d'ouvrage

Empa, Dübendorf

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

Votre accès à l'Empa:

