

Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #71 II AVRIL 2021



FOCUS

RÉNOVER LE BILAN ÉNERGÉTIQUE

COLLE POUR LES PLAIES INTÉRIURES
L'ÉNERGIE SOLAIRE DE L'ESPACE
MOLÉCULES COLORÉES EN EXTASE

[CONTENT]

[FOCUS: RÉNOVER LE BILAN ÉNERGÉTIQUE]



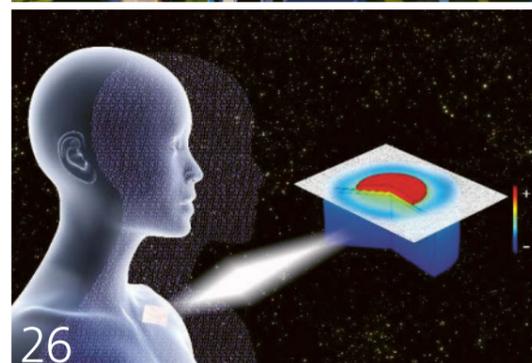
14



22



08



26



30

[FOCUS]

14 ANCIENS
BÂTIMENTS

D'abord trier, puis rénover

20 PROPRIÉTÉ

Vivre dans la boule
de cristal

22 SIMULATION

Composer de nouveaux
systèmes énergétiques

24 STOCKAGE DE
L'ÉNERGIE

L'énergie solaire à
partir du stockage
profond

[THÈMES]

08 RECYCLAGE

Quelle est l'utilité
des vieux pneus dans
l'asphalte?

12 TECHNOLOGIE
MÉDICALE

Pansement pour
blessures internes

26 MÉDECINE
PERSONNALISÉE

Le patient simulé

28 OPTIQUE

Molécules en extase
collective

30 VIEUX DÉCHETS

Les détoxifiants de la
décharge

[RUBITS]

04 LA PHOTO

06 BRIÈVEMENT

34 EN ROUTE

[COUVERCLE]



Le chauffage et la climatisation des bâtiments sont l'une des principales sources de CO₂ en Suisse. Il y a 1,8 million de bâtiments résidentiels. Si l'on veut réussir le tournant énergétique, la plupart d'entre eux devront être rénovés. Cette brochure montre ce qui peut être fait et comment les priorités peuvent être déterminées.
Photo: iStockphoto

[IMPRESSUM]

ÉDITEUR: Empa

Überlandstrasse 129

8600 Dübendorf, Schweiz

www.empa.ch

RÉDACTION: Empa Kommunikation

DIRECTION ARTISTIQUE:

PAUL AND CAT.

www.paul-and-cat.com

CONTACT: Tel. +41 58 765 47 33

empaquarterly@empa.ch

www.empaquarterly.ch

PUBLICATION:

publié quatre fois par an

ISSN 2673-1746

Empa Quarterly (édition française)

myclimate
neutral
Imprimé
myclimate.org/01-21-197924

Empa Social Media

PENSER
PAR CYCLES

Cher lectrice,
cher lecteur,



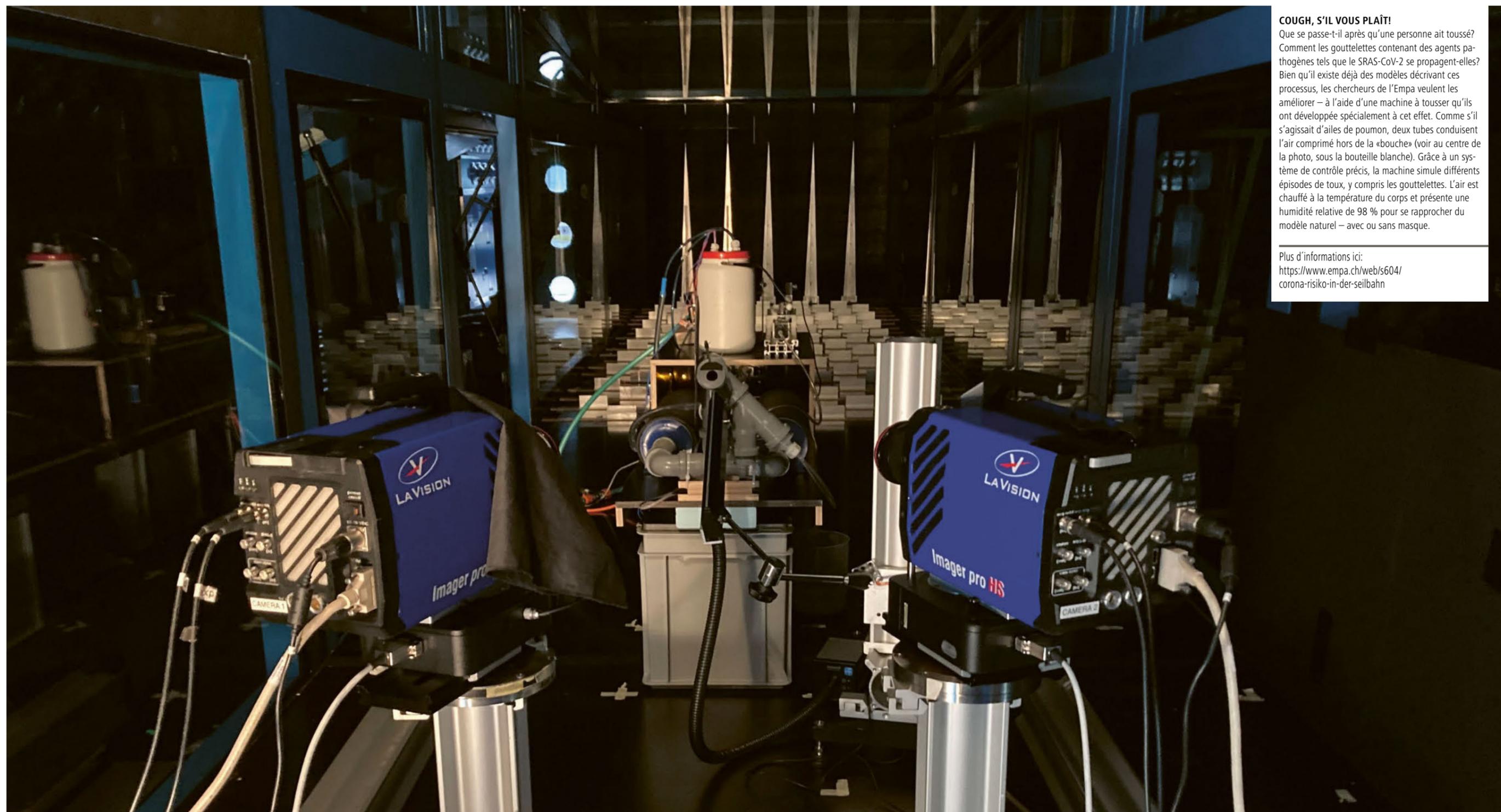
Presque tout a un début et une fin: la vie, la crise du Coronavirus (si tout va bien), la présidence de Donald Trump – et notre approche des produits de consommation. Fabriquez-les, utilisez-les, jetez-les, éliminez-les. Il est évident que tant de déchets sont produits et que des matériaux précieux sont perdus. Il est également évident que nos ressources naturelles sont limitées.

Conséquence logique: nous devons enfin passer du mode «jeter» au mode «recycler». Cela signifie: (Presque) rien n'est un déchet, (presque) tout est une matière première. Cela ne fonctionnera probablement pas toujours, mais nous devrions au moins essayer. Par exemple, en transformant le gaz climatique CO₂ de l'atmosphère en méthane neutre pour le climat. Ce cycle fermé du carbone, que nous étudions dans le démonstrateur de mobilité «move», fait l'objet d'une nouvelle exposition au Musée suisse des transports (voir p. 34). La même chimie est également maîtrisée par les microbes dans les profondeurs de la croûte terrestre. Un projet de recherche européen vise à l'exploiter pour produire du méthane neutre en CO₂ (voir p. 24).

Même les vieux pneus de voiture ne doivent pas simplement finir dans les usines d'incinération des déchets ou dans les décharges; les chercheurs de l'Empa les utilisent pour produire un nouveau type d'asphalte (voir p. 8). La découverte de diverses souches de bactéries dans des décharges de déchets chimiques montre. Ceux-ci décomposent même les toxines environnementales les plus tenaces – de manière entièrement biologique (voir p. 32).

Bonne lecture!

Votre MICHAEL HAGMANN



COUGH, S'IL VOUS PLAÎT!

Que se passe-t-il après qu'une personne ait toussé? Comment les gouttelettes contenant des agents pathogènes tels que le SRAS-CoV-2 se propagent-elles? Bien qu'il existe déjà des modèles décrivant ces processus, les chercheurs de l'Empa veulent les améliorer – à l'aide d'une machine à tousser qu'ils ont développée spécialement à cet effet. Comme s'il s'agissait d'ailes de poumon, deux tubes conduisent l'air comprimé hors de la «bouche» (voir au centre de la photo, sous la bouteille blanche). Grâce à un système de contrôle précis, la machine simule différents épisodes de toux, y compris les gouttelettes. L'air est chauffé à la température du corps et présente une humidité relative de 98 % pour se rapprocher du modèle naturel – avec ou sans masque.

Plus d'informations ici:
<https://www.empa.ch/web/s604/corona-risiko-in-der-seilbahn>



LA SERRURE DE PORTE INVISIBLE



SÉCURITÉ CACHÉE
Des capteurs invisibles imprimés avec de l'encre conductrice sont dissimulés dans ce film transparent apparemment simple.

À première vue, l'idée de la chercheuse de l'Empa Evgeniia Gilshtein semble discrète – ou plus précisément: invisible. Ce qui ressemble au premier abord à un simple film transparent dissimule un tout nouveau système de sécurité. En effet, les boutons invisibles sont imprimés avec de l'encre conductrice sur le matériau porteur transparent, dont la position n'est connue que de l'initié. Ces circuits peuvent être connectés à une serrure de porte en tant que code d'accès, par exemple. Si les boutons du film polymère sont pressés dans un ordre précis, la serrure de la porte peut être déverrouillée.

<https://www.empa.ch/web/s604/transparent-security>



LE MAGASIN DU FUTUR

Lidl Suisse souhaite à l'avenir exploiter ses magasins de manière encore plus durable et efficace. Dans un projet commun avec l'Empa, ce plan est maintenant mis en pratique. Tout d'abord, la consommation d'énergie et l'interaction des systèmes dans les magasins existants seront analysées. A partir de là, les chercheurs de l'Empa développent un concept optimisé pour les magasins du futur.

<https://www.empa.ch/web/s604/partnerschaft-lidl>

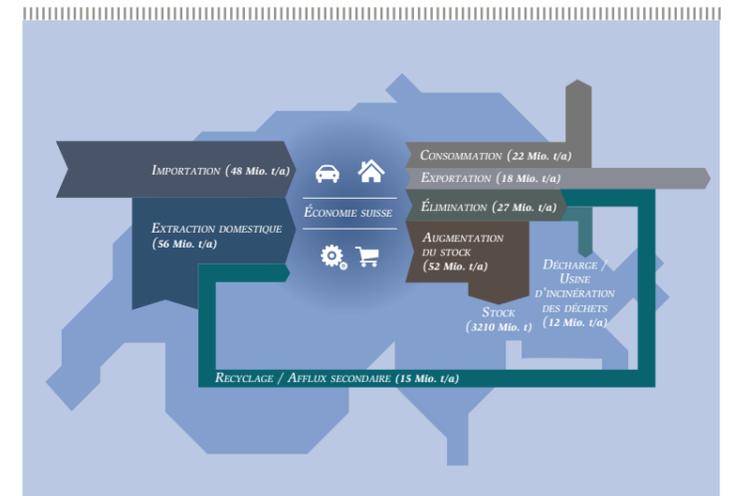
Photo: Empa, Lidl Schweiz AG

LA SUISSE S'ALOURDIT

Des chercheurs de l'Empa ont été chargés par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) de recenser l'ensemble des flux de matières et d'énergie de l'économie suisse. Leur rapport de synthèse, MatCH (Material flows Switzerland), fournit désormais des données et des comparaisons importantes.

Il est intéressant de noter que chaque année, la Suisse s'alourdit de 52 millions de tonnes en raison des importations qui restent dans le pays. 12 millions de tonnes de matériaux sont éliminés, 18 millions de tonnes sont exportés.

www.empa.ch/web/s604/MatCH



PRÉCISION

Au CERN, les capteurs sont souvent positionnés à l'aide de fils ou de câbles.



UNE SUPERFIBRE EXALTANTE POUR LE CERN

Les fils tendus pour aligner les composants des accélérateurs du CERN avec une précision de l'ordre du micromètre s'affilochent avec le temps. Cela peut entraîner des inexactitudes dans les mesures. Les chercheurs de l'Empa développent maintenant pour le CERN un fil métallisé recouvert d'un polymère spécial, qui peut aligner les composants sur une plus longue période sans perdre de tension.

www.empa.ch/web/s402

Photo: CERN; graphique: Empa

**TEST DE CHARGE**

Depuis octobre 2020, de l'asphalte en caoutchouc est posé à titre d'essai à une intersection très fréquentée de Zurich.

«LA VÉRITÉ EST SUR LA ROUTE»

Les automobilistes suisses usent d'innombrables pneus de voiture. Au lieu de les brûler, ils pourraient être réutilisés localement: l'asphalte d'autres pays contient depuis longtemps du caoutchouc provenant de pneus usagés. L'Empa et ses partenaires du terrain examinent cette idée pour les conditions suisses.

Texte: Norbert Raabe

Photos: Gian Yaliti, Empa

Les automobilistes qui se plaignent du stress lié à la circulation peuvent baisser les yeux de temps en temps. Parce qu'il y en a un qui a plus de difficultés: L'asphalte supporte une chaleur torride, un stress dû au froid et une forte pression du haut. Il doit également être aussi silencieux que possible – et à l'avenir, bien sûr, plus respectueux de l'environnement.

Formé à partir d'un mélange de gravats chauds et d'un liant, le bitume, à une température d'environ 160 degrés, l'asphalte est à l'origine d'importantes émissions de CO₂ – du fait de sa production, d'un long transport et la pose du revêtement. Afin d'améliorer son bilan environnemental, le vieil asphalte, qui peut déjà être recyclé aujourd'hui, sera à l'avenir utilisé à grande échelle sur les nouvelles chaussées. En outre, le béton recyclé ou d'autres matériaux résiduels peuvent y être «éliminés», comme les pneus de voiture usagés, qui sont nombreux en Suisse.

Un projet d'Innosuisse dirigé par le département «Béton et asphalte» de l'Empa a étudié les avantages potentiels de cette idée dans ce pays. Plus précisément, les particules de caoutchouc peuvent-elles remplacer les polymères dans le bitume modifié par des polymères pour l'asphalte à usage intensif? Après tout, les composés tels que le styrène-butadiène-styrène, largement utilisé, confèrent à la chaussée une plus grande plasticité, un meilleur recouvrement et une plus longue durée de vie.

Le projet s'est concentré sur la pratique: après quelques essais préliminaires, les mélanges d'asphalte pour les expériences ont été produits par les fabricants FBB et Weibel AG. Les types suivants étaient adaptés à la réalité: «SDA 4-12», une couche de roulement

«silencieuse» dans laquelle de nombreux vides d'air réduisent les émissions sonores. Et «AC B22 H», qui convient à ce que l'on appelle une couche de liaison inférieure – dans ce cas, actuellement avec 30% d'asphalte recyclé. Les granulés de caoutchouc sélectionnés proviennent également de Suisse, du fabricant Tyre Recycling Solutions (TRS) à Préverenges dans le canton de Vaud.

HUMIDE OU SEC?

L'asphalte caoutchouteux peut être produit selon deux méthodes. Dans la méthode «humide», le granulés de caoutchouc est ajouté au bitume chaud; le mélange est ensuite mélangé avec le granulés défini – sable et pierres de différentes tailles, en fonction de la chaussée. Le problème est que le mélange bitume-caoutchouc devient moins visqueux avec le temps et que le caoutchouc commence à se décomposer; il ne peut être travaillé que pendant environ 48 heures. Dans le procédé «à sec», en revanche, les particules de caoutchouc s'infiltrent d'abord dans le mélange de granulés chauffé. Le bitume est ajouté plus tard. Les fabricants suisses étant préparés à cette éventualité, ont choisi cette dernière méthode.

L'expérience de la production a été positive chez le fabricant de matériaux de construction FBB à Bauma. «Pas de problème», dit Christian Gubler, président de la direction, «c'était facile». Les particules ont été jetées par une trappe dans le mélange de roches – dans des sacs qui se dissolvent à la haute température. «Tout comme nous le faisons lorsque nous ajoutons des colorants, par exemple pour l'asphalte rouge», explique Christian Gubler. Il n'y a pas eu de difficultés non plus chez Berner Weibel AG. «La manutention s'est déroulée sans problème», déclare Samuel Probst, responsable des matériaux de construction bitumineux et des usines de chaussée.

TESTS DE RÉSISTANCE À L'EAU, AU FROID ET À LA PRESSION

Une équipe de l'Empa dirigée par la spécialiste des asphaltes Lily Poulrikos a examiné les produits finis de la petite à la grande échelle. En plus des tests standard pour la teneur en bitume et les vides d'air, des images au microscope électronique ont montré si et comment les particules de caoutchouc se dissolvent et se distribuent dans la matrice bitumineuse.

Dans l'essai de traction fractionnée, les échantillons sont éclatés sous pression par le haut – une humide et une sèche – pour déterminer leur sensibilité à l'eau. Des tests de déchirure à moins 12 degrés ont montré comment le matériau se comporte dans des conditions hivernales froides. Enfin, le facteur trafic: dans le cadre de l'essai «Hamburg Wheel Tracking», les échantillons ont subi 10'000 passages d'une roue en acier pesant un bon 70 kilogrammes dans de l'eau chauffée à 50 degrés – un test difficile pour éviter les ornières. Le simulateur de l'Empa allait dans le même sens: il soumettait des plaquettes de 1,20 m de long à 60'000 passages lents de pneus à forte charge pendant huit heures.

Les analyses ont montré que les subtilités sont décisives. Par exemple, le délai optimal entre le mélange et la pose sur la route dépend fortement du type et de la quantité de granulés de caoutchouc choisis. Par rapport à l'enrobé bitumineux polymère bien connu, les enrobés pour couche de roulement contenant 0,7 ou 1 % de caoutchouc ont satisfait aux exigences dans la majorité des cas. La résistance à la fissuration due au froid était significativement plus importante avec 1 % de caoutchouc qu'avec l'asphalte de bitume polymère. En termes de sensibilité à l'eau, les matériaux de construction ont satisfait ►

aux exigences suisses, à une exception près. Et dans le simulateur de charge des pneus de l'Empa, les enrobés en caoutchouc ont produit des traces plus petites mais plus profondes que le revêtement en bitume polymère.

Conclusion: malgré certains inconvénients, l'asphalte en caoutchouc a finalement satisfait aux exigences en toute sécurité. «Il est tout à fait approprié pour des essais supplémentaires en vue d'une utilisation dans la construction de routes», résume le chercheur de l'Empa Lily Poulikakos. Le fabricant TRS est également satisfait des résultats: «Nous avons reçu une confirmation professionnelle», déclare Sonia Megert, directrice de l'exploitation. «C'était une très bonne collaboration. L'Empa a également trouvé rapidement une solution lorsque des problèmes sont apparus.»

Bien entendu, tous les partenaires sont conscients qu'il ne s'agit que d'une première étape. Malgré tous les efforts, le laboratoire ne correspond pas aux conditions réelles, explique Poulikakos. Les expériences donnent une impression détaillée, mais ce que seront les effets d'années d'exposition dans la réalité «est une autre question», dit le spécialiste. «La vérité se trouve finalement sur la route.»

TROIS PISTES D'ESSAI

C'est précisément dans ce domaine que de nouvelles mesures ont déjà été prises. Dans les cantons du Jura et de Vaud, Weibel AG a construit deux sections d'essai sur des routes cantonales en utilisant de l'asphalte granulé en caoutchouc. «Un asphalte rugueux sur une route à charge moyenne», explique Samuel Probst, «et un asphalte de surface sur une route à charge relativement élevée». Après tout, ils étaient censés être de vrais tests d'endurance.» Contrairement aux expériences précédentes avec la méthode de production

«humide», la pose s'est déroulée «sans aucun problème», selon le responsable. Les employés sur place n'ont pas eu à supporter les odeurs causées par le caoutchouc chauffé. La consistance et la maniabilité de l'asphalte étaient comparables à celles d'un asphalte modifié par des polymères. Certes, il ne montrera son véritable caractère qu'après des années. La pose du revêtement n'a eu lieu que l'été dernier, donc la chaussée n'en est encore qu'à ses débuts.

Tout comme un autre essai d'asphalte, qui a été posé comme couche supérieure à un carrefour très fréquenté de Zurich. Ses valeurs de laboratoire n'étaient pas irréprochables: Lorsque le bitume a été soumis à un test de dureté à l'aide d'une aiguille pénétrante, les résultats ont fluctué de façon importante et étaient parfois bien supérieurs aux valeurs cibles. «Cela suggère qu'il est peut-être trop mou», déclare le spécialiste des chaussées Martin Horat, du bureau d'ingénierie civile de Zurich. «Voyons s'il y a une déformation quand il fait chaud en été.»

Hans-Peter Beyeler, directeur de l'association «Eurobitume» en Suisse, n'est pas particulièrement inquiet. «J'en ai déjà entendu parler. Je ne m'en préoccuperais pas pour l'instant», déclare l'expert, qui a travaillé pendant près de 13 ans comme spécialiste des chaussées à l'Office fédéral des routes (Astra). Lorsque le caoutchouc et le bitume sont mélangés, un nouveau matériau est créé, et son comportement ne correspond plus aux ingrédients d'origine. Son évaluation: «Le test de l'aiguille ne peut simplement pas fournir une déclaration utile.»

Bien sûr, Hans-Peter Beyeler comprend, de par sa propre expérience, qu'il existe également une résistance dans l'industrie à l'égard de l'asphalte en tant que «vide-ordures» pour les matériaux recyclés et un certain scepticisme à

l'égard du caoutchouc dans les routes. Il y a une quinzaine d'années, il a été témoin de la façon dont un essai sur l'A1 en Argovie avec du bitume modifié par du caoutchouc, ajouté sous forme de granulés, a mal tourné: Le matériau n'a pas été suffisamment dissous dans le mélange; des grumeaux se sont formés dans l'asphalte. Ils se sont répandus sur la surface de la chaussée; il a fallu les percer et les remplir d'asphalte coulé.

LA VÉRITÉ SE TROUVE SUR LA ROUTE

Beaucoup de choses se sont passées depuis, alors pourquoi ne pas réessayer, pense Hans-Peter Beyeler. Après tout, dit-il, il y a aussi une bonne expérience – non seulement aux États-Unis, où la technologie est utilisée depuis longtemps, mais aussi en Bavière. Là-bas, les enrobés modifiés par du caoutchouc font déjà partie des règles de construction – en d'autres termes, c'est l'état de l'art. Les avantages, notamment pour les couches de surface poreuses: une meilleure résistance à l'abrasion, une oxydation plus lente du bitume dans les nombreux vides d'air et donc une fragilisation retardée. En bref: une durée de vie plus longue.

Dans tous les cas, il y aurait assez de matière première. Environ 70'000 tonnes de pneus usagés sont produites chaque année en Suisse. Une petite partie est recyclée, mais la majorité est utilisée thermiquement – dans les usines d'incinération des déchets et, en grande partie, dans les cimenteries, où les pneus remplacent le charbon comme combustible et améliorent ainsi le bilan de CO₂.

UN AVANTAGE POUR LE CLIMAT?

Dans le cadre de sa thèse, le chercheur de l'Empa Zhengyin Piao étudie l'impact environnemental de l'utilisation de vieux pneus dans les revêtements routiers, en collaboration avec l'Institut d'ingénierie environnementale de l'EPFZ. Zhengyin

Piao a analysé l'ensemble du cycle de vie de deux revêtements routiers silencieux avec de l'asphalte en caoutchouc. Son calcul sur un modèle de tronçon de route d'un kilomètre montre que ces revêtements ont des performances similaires à celles de l'asphalte à bitume polymère en termes de consommation d'énergie. Mais ils produisent des émissions de CO₂ nettement inférieures – principalement en raison des polymères contenus dans le produit de comparaison.

Les granulés de caoutchouc dans les routes contribueraient-ils donc à la protection du climat? Réponse de Zhengyin Piao: Cela dépend de la situation. En Suisse, les cimenteries économisent tellement d'émissions de CO₂ en brûlant de vieux pneus que, tout compte fait, l'asphalte avec le caoutchouc est pas plus avantageux que l'asphalte avec les polymères. Mais si les cimenteries parviennent, comme prévu, à réduire encore plus leurs émissions de CO₂ dans les années à venir, voire à les neutraliser partiellement grâce aux technologies de «capture du carbone», y compris le stockage souterrain: Les cartes seraient redistribuées – éventuellement en faveur de l'équilibre climatique de l'asphalte caoutchouteux ...

Le succès de l'idée en Suisse dépend, bien sûr, du marché. Selon l'expert Samuel Probst, du fabricant Weibel AG, ils ont un avantage: ils sont, du moins pour l'instant, moins chers que les bitumes polymères. Sa conclusion est toutefois prudente: «Je pourrais imaginer qu'un marché émerge un jour, dit-il, si les pistes d'essai évoluent positivement à long terme.» ■



BITUME EN VUE
Lily Poulikakos dirige la série d'essais à l'Empa et contribue à évaluer de manière réaliste les propriétés de l'asphalte de caoutchouc.

Photos: Gian Vaitt, Empa

Plus d'informations ici:
www.empa.ch/web/s308

PANSEMENT POUR BLESSURES INTERNES

Fermer des plaies dans le tube digestif est un défi. Les chercheurs de l'Empa ont donc développé un patch en polymère pour l'intestin, qui peut être utilisé pour lier et sceller de manière stable les blessures.

Texte: Andrea Six

BREVETÉ

L'équipe dirigée par Inge Herrmann et Alexandre Anthis a mis au point un patch d'hydrogel qui assure une étanchéité stable des plaies chirurgicales.



Une rupture d'appendice ou un enchevêtrement intestinal mettant la vie en danger sont des urgences qui doivent être traitées de toute urgence par les chirurgiens. Cependant, une opération de sauvetage au cours de laquelle il faut recoudre des tissus du tube digestif comporte un certain nombre de risques. Car tout ce qui est constamment transporté dans le tube digestif vers le monde extérieur y a en fait sa place – et ne doit en aucun cas se retrouver à l'intérieur de la cavité abdominale. Les sucs digestifs corrosifs et les résidus alimentaires chargés de germes pourraient déclencher une péritonite ou même une intoxication sanguine mor-

de ce type se sont révélés mal tolérés, voire toxiques, ces pansements sont maintenant faits de protéines biodégradables. Le problème est que le succès clinique n'est pas toujours optimal et varie en fonction des tissus qui sont collés ensemble. En effet, les patchs protéiques sont avant tout destinés à soutenir le processus de guérison, mais ils se dissolvent trop rapidement au contact des sucs digestifs et ne tiennent pas toujours bien en place. «Les fuites après une opération abdominale sont encore aujourd'hui l'une des complications les plus redoutées», explique Inge Herrmann, chercheuse à l'Empa, qui est aussi professeur titulaire de la chaire de systèmes nanoparticulaires à l'EPF de Zurich.

STABLE

Le matériau composite tient même sous une charge maximale.



telle (septicémie). Cependant, l'aiguille et le fil ne sont pas nécessairement les outils chirurgicaux idéaux pour assembler deux morceaux d'intestin – après tout, vous ne voudriez pas recoudre une brique de lait qui fuit. Les chercheurs de l'Empa ont donc mis au point un pansement qui permet de sceller de manière stable deux morceaux d'intestins ensemble, empêchant ainsi les fuites potentiellement dangereuses.

LES COMPLICATIONS REDOUTÉES

L'idée de sceller les tissus suturés dans la cavité abdominale avec un pansement est déjà arrivée en salle d'opération. Cependant, après que les premiers produits

L'équipe dirigée par Inge Herrmann et Alexandre Anthis du Laboratoire des interactions entre particules et biologie de l'Empa à St-Gall s'est donc associée à Andrea Schlegel, chirurgien au Queen Elizabeth University Hospital de Birmingham, pour rechercher un matériau qui pourrait sceller de manière fiable les blessures intestinales et les plaies chirurgicales. Ils ont trouvé un matériau composite synthétique composé de quatre substances acryliques qui forment un hydrogel chimiquement stable. En outre, le pansement se réticule activement avec le tissu intestinal jusqu'à ce qu'il ne puisse plus y avoir de liquide. Les chercheurs ont déjà réussi à faire breveter cette nou-

«Vous ne voudriez pas recoudre un carton de lait qui fuit avec une aiguille.»

velle technologie. Le quadrige composée d'acide acrylique, de méthyle acrylate, de l'acrylamide et du N,N'-méthylènebisacrylamide fonctionne en parfaite synergie, car chaque composant contribue au travail global avec une propriété spécifique: une liaison stable à la muqueuse, la formation de réseaux, la stabilité contre les sucs digestifs et l'étanchéité.

PANSEMENTS SUR MESURE

Lors d'expériences en laboratoire, les chercheurs ont montré que le système de polymères répondait aux attentes. «L'adhérence est jusqu'à dix fois supérieure à celle des matériaux adhésifs classiques», explique le chercheur de l'Empa Alexandre Anthis. «Une analyse plus poussée a également montré que notre hydrogel peut supporter cinq fois la charge de pression maximale dans l'intestin.» Et c'est dans la conception du matériau que réside son effet sur mesure: le composite semblable au caoutchouc réagit de manière sélective avec les sucs digestifs qui pourraient s'échapper des blessures intestinales, se gonfle et se referme d'autant plus hermétiquement. La super-colle biocompatible et peu coûteuse, qui est en grande partie composée d'eau, pourrait ainsi raccourcir les séjours à l'hôpital et réduire les coûts de la santé. Alexandre Anthis planifie donc déjà les prochaines étapes vers l'application clinique du nouveau pansement: «Nous sommes en train de fonder une start-up pour mettre ce matériau innovant sur le marché». ■

Plus d'informations ici:
www.empa.ch/web/s403/particles-4d

D'ABORD TRIER, PUIS RÉNOVER

La Suisse se construit. Le pays compte environ 1,8 million de bâtiments, et seul un pour cent de ce parc immobilier est rénové chaque année. En d'autres termes, il faudra 100 ans pour que l'ensemble du parc immobilier du pays soit rénové – ce qui serait trop lent pour réaliser la transition énergétique. Mais avant que les politiciens ne décident de stimuler les programmes de subventions, il faut d'abord structurer cette énorme tâche: Quelles mesures sont utiles à quel endroit? Par où commencer?

Texte: Rainer Klose

Le chauffage et la climatisation des bâtiments contribuent largement aux émissions de CO₂ dans tous les pays industrialisés. Pour atteindre les objectifs climatiques du Conseil fédéral – zéro émission d'ici 2050 – le parc immobilier suisse doit donc aussi apporter sa contribution. Mais les planificateurs et les décideurs ont besoin d'un manuel pour introduire les mesures appropriées dans le bon ordre. En 2019, Kristina Orehounig et son équipe de chercheurs ont entrepris un tel exercice de tri.

ARCHÉTYPES DE TOUTES LES MAISONS

La Suisse compte environ 1,8 million de bâtiments résidentiels. Modéliser les besoins de rénovation de chaque maison individuellement nécessiterait une quantité énorme de calculs. Les chercheurs de l'Empa ont donc eu recours à l'exploration de données. Ils ont effectué des recherches dans les bases de données nationales et ont classé les bâtiments en 50 archétypes différents, classés par

année de construction, type de chauffage et nombre d'occupants. Résultat: la majorité des bâtiments ont été construits entre 1949 et 1994, et 77 % de ces bâtiments sont chauffés à l'électricité, au mazout ou au gaz. Cela montre que le potentiel de rénovation est considérable. Les chercheurs ont effectué le même typage pour les bâtiments commerciaux en Suisse, les classant en 45 archétypes différents à l'aide de bases de données: restaurants, écoles, hôpitaux, bureaux et magasins, chacun étant subdivisé en fonction de sa taille et de son année de construction.

L'énergie solaire représentant une base essentielle pour l'approvisionnement énergétique du futur, tous les archétypes ont été évalués quant à leur adéquation avec le photovoltaïque. Pour ce faire, nous avons utilisé les données climatiques de la région dans laquelle se trouve le bâtiment, ainsi que les données sur la géométrie du toit de l'Office fédéral de topographie (Swisstopo), qui



LA VUE D'ENSEMBLE

Kristina Orehounig dirige depuis 2018 le laboratoire Urban Energy Systems de l'Empa. Son équipe effectue des recherches sur les systèmes énergétiques en réseau dans le but de réduire massivement la demande énergétique et les émissions de CO₂ des bâtiments et des quartiers. À cette fin, une trentaine de chercheurs de diverses disciplines travaillent ensemble: Le génie civil, le génie mécanique, le génie électrique, l'architecture et la technologie environnementale sont représentés.

Photo: Daniel Kellenberger

ont permis de tirer des conclusions sur la taille et l'inclinaison de la surface du toit.

VILLE ET PAYS

Le choix de la méthode de rénovation énergétique appropriée dépend également de la densité du bâtiment: Les maisons en ville peuvent être raccordées efficacement à un réseau de chauffage. Dans le cas de bâtiments très espacés à la campagne, un réseau de chauffage

«Les émissions de gaz à effet de serre pourraient être réduites de 60 à 80 %.»

n'a souvent pas de sens. Par conséquent, le parc immobilier suisse doit également être trié en zones urbaines et rurales.

Les chercheurs ont divisé l'ensemble du territoire suisse en carrés d'un kilomètre carré; les carrés sans maison

ont été ignorés. Le reste a été trié à nouveau à l'aide de bases de données publiques – en fonction de la quantité de surface habitable située sur chaque carreau, ainsi que d'autres caractéristiques. Il en résulte douze archétypes de quartiers suisses: quatre archétypes urbains, quatre archétypes suburbains et quatre archétypes ruraux qui décrivent la répartition des bâtiments en Suisse.

COMMENT RÉNOVER EFFICACEMENT

Après tout ce travail de tri, des mesures de rénovation ont pu être calculées pour les archétypes individuels. Conclusion: il vaut la peine de s'attaquer particulièrement rapidement à la rénovation des toits et au remplacement des fenêtres dans les maisons anciennes. Ce seul fait peut réduire la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement de 20 à 30 %.

L'étape suivante devrait consister à rénover les systèmes de chauffage de

presque tous les types de maisons. Les immeubles résidentiels, les écoles et les immeubles de bureaux peuvent souvent être rénovés de manière plus rentable que les maisons individuelles. Pourquoi? Dans les grands bâtiments, la rénovation du système de chauffage concerne de nombreux mètres carrés d'espace occupé en même temps. Toute intervention technique est donc plus efficace et plus rentable.

LA RÉDUCTION DES GAZ À EFFET DE SERRE

Il est important de remplacer les combustibles fossiles le plus rapidement possible – par des panneaux photovoltaïques sur le toit et les façades. La chaleur peut alors être produite, par exemple, par des pompes à chaleur à air alimentées par l'électricité solaire du bâtiment ou d'autres sources d'énergie renouvelables. Les systèmes de chauffage à la biomasse – biogaz ou granulés de bois – permettent également de réduire efficacement les émissions de CO₂.

Au terme de l'analyse, Kristina Orehounig est pleine d'espoir: «Si les mesures proposées sont prises, les émissions de gaz à effet de serre du parc immobilier existant en Suisse peuvent être réduites de 60 à 80 %.»

Plus d'informations ici:
www.empa.ch/web/empa/urban-energy-systems

MISE EN RÉSEAU ET PLANIFICATION DU STOCKAGE

À mesure que le système énergétique se transforme, la planification et l'exploitation des bâtiments et des quartiers deviennent de plus en plus complexes. L'énergie solaire est produite principalement en été, à midi, mais il est prévu qu'elle soit consommée tout au long de la journée, peut-être même en automne et en hiver. De nouveaux systèmes de stockage de l'énergie sont donc nécessaires pour des heures ou des jours, ainsi qu'un stockage à long terme pour des mois, afin de répondre à la demande d'énergie à tout moment. Pour relever ce défi, l'Empa mène des recherches sur le stockage de l'électricité par batteries et sur diverses technologies de stockage de la chaleur, ainsi que sur la

transformation de l'électricité solaire en carburants. Le stockage de l'énergie produite de manière durable ne doit pas seulement avoir lieu au niveau national, mais aussi au niveau des bâtiments ou des quartiers. Dans le même temps, les systèmes de chauffage fossiles, tels que les chaudières à gaz, doivent être remplacés le plus rapidement possible par des systèmes récents et durables – tels que les piles à hydrogène, un raccordement au chauffage urbain ou des pompes à chaleur alimentées par de l'électricité renouvelable. L'ensemble de la transformation doit également être équilibré en fonction de critères économiques et sociaux. Toutes ces décisions doivent reposer sur une base scientifique solide. Les chercheurs qui calculent les modèles énergétiques ne manqueront pas de travail de sitôt.

Restructurer le système énergétique – recherche sur trois échelles

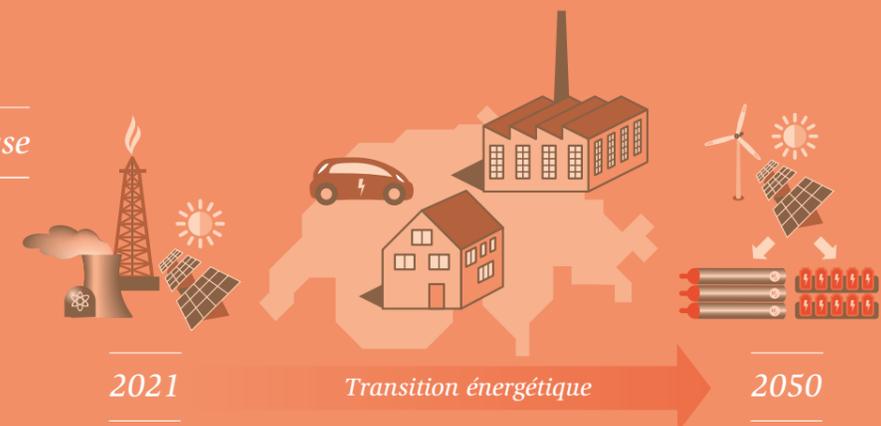
Bâtiment



Ville



Suisse



VIVRE DANS LA BOULE DE CRISTAL

Alain Aerni pose un regard sur l'avenir: le système de contrôle de l'énergie «Crystalball» qu'il a conçu combine photovoltaïque, pompes à chaleur et stations de recharge et utilise les bulletins météorologiques pour estimer à l'avance les besoins en énergie. Il a présenté son système à l'Académie Empa en automne 2020.

Interview: Rainer Klose

Monsieur Aerni, vous êtes ingénieur et vous avez optimisé l'efficacité énergétique de votre propre maison, qui a 20 ans. Vous proposez ce service à d'autres propriétaires avec votre société Soleco. Par quelle idée commencer si vous voulez lancer un tel projet?

Cela commence toujours par les besoins du client. La première étape consiste à déterminer les besoins en chauffage de la maison. De quoi ai-je besoin pour obtenir une température ambiante de 22 degrés Celsius tout au long de l'année? Quelle est ma consommation d'eau chaude? Vais-je bientôt charger une ou deux voitures électriques dans le garage, et combien de kilomètres vais-je parcourir chaque jour?

Ai-je besoin d'une batterie de stockage si je veux connecter une voiture électrique?

Si vous souhaitez utiliser l'énergie solaire dans votre maison de manière particulièrement économique, vous devez actuellement encore vous passer d'une batterie de stockage. Ainsi, si vous avez des jours de travail à domicile, vous pouvez charger la voiture électrique ces jours-là et la conduire le lendemain. Seuls ceux qui sont toujours sur la route pendant la journée et qui veulent en même temps se recharger avec

leur propre énergie solaire ne pourront pas éviter l'achat d'une batterie de stockage.

Quels autres éléments le client doit-il prendre en compte?

La question importante est de savoir combien de temps vous avez l'intention de rester dans votre maison. L'horizon temporel influence le choix des composants. Il y a des composants durables, comme une sonde géothermique – un système très efficace pour chauffer une maison. Ceux-ci sont conçus pour 50 ans d'utilisation, mais il faut aussi des décennies pour les amortir. Pour les clients qui ne veulent se projeter que sur 10 ou 15 ans, je recommanderais plutôt une pompe à chaleur air/eau.

Et si je connais mes besoins en chauffage et mon horizon temporel, alors je suis prêt à partir?

(sourires) Non, pas encore tout à fait. C'est maintenant que le facteur bruit entre en jeu. Si vous utilisez une pompe à chaleur air-eau et qu'elle fonctionne avec l'énergie solaire de votre propre toit, elle est très efficace. Mais un tel système fait du bruit et peut déranger les voisins. Si vous avez une maison unifamiliale avec beaucoup d'espace au-

tour, ce n'est pas un problème. Pour un grand immeuble d'habitation, vous avez besoin de plus grosses machines: de plus gros ventilateurs, de plus gros compresseurs. Dans un quartier à forte densité de population, cela devient difficile.

Les autorités chargées de la construction pourraient ne pas l'approuver?

C'est vrai. Vous devez respecter les valeurs limites. Heureusement, il existe aussi des unités dites «split»: ici, seuls l'évaporateur et le ventilateur sont montés à l'extérieur, le compresseur est installé dans la maison. Ces unités sont plus silencieuses.

ALAIN AERNI

NÉ: 3 mai 1960 à Moudon / VD.

FORMATION: Diplôme d'ingénieur de l'EPFL et Master en sciences du management du MIT.

VOCATION: Fondateur et PDG de Soleco AG, Maur / ZH.

PRIX: Prix du parcours numérique 2018 du Centre d'électronique et de microtechnique (CSEM). Récompensé pour le développement d'une plateforme pour la gestion des énergies renouvelables dans les bâtiments.

Vous devez donc avoir un conseiller qui vous guide à travers ce qui est disponible sur le marché.

Oui, mais il ne faut pas penser uniquement à la pompe à chaleur, il faut envisager dès le départ l'ensemble du système: la pompe à chaleur, la taille de l'installation photovoltaïque, le réservoir d'eau chaude, la station de recharge de la voiture électrique, les stores pour l'ombrage et, si nécessaire, la batterie de stockage. Après tout, vous voulez tout contrôler ensemble pour que tout fonctionne de manière optimale. Les composants que vous achetez doivent donc être capables de communiquer avec le système de contrôle central.

N'y a-t-il pas de «plug and play», de norme commune?

Nous ne sommes pas assez avancés. Il existe, par exemple, une norme commune pour le contrôle des pompes à chaleur, le «Label SG Ready». Mais cela ne couvre pas toutes les fonctionnalités dont vous devez disposer pour un bon système. Le label SG Ready doit être développé davantage. Nous travaillons avec des partenaires pour proposer une norme commune. Mais dans le même temps, de plus en plus de fabricants isolent leurs systèmes de l'extérieur afin d'accroître leur part de marché.

Dans quelle mesure la mise en réseau est-elle judicieuse? Est-il possible d'exagérer?

Si vous voulez être efficace, vous devez garder un œil sur les principaux consommateurs: Chauffage, besoins en eau chaude, électromobilité et batterie de stockage. Ce n'est pas important quand la machine à laver et le sèche-linge fonctionnent. Ils peuvent être mis en marche manuellement. Ce qui est important, en revanche, c'est de tenir compte du rayonnement solaire. Notre système de contrôle «Crystalball» (voir encadré) peut utiliser les prévisions météorologiques pour prévoir le chauffage lors des ▶



ALAIN AERNI
L'ingénieur a rénové sa maison, vieille de 20 ans, pour la rendre plus économe en énergie.

Photos: Privé

**BIEN DISTRIBUÉ**

La maison d'Alain Aerni tire le meilleur parti de l'énergie solaire.

journées ensoleillées et les pertes de chaleur lorsque le vent est froid, et ainsi utiliser la pompe à chaleur de manière plus économique et plus ciblée.

Depuis la rénovation, ils refroidissent également leur maison grâce à leur propre énergie solaire. Vous avez converti votre chauffage par le sol, vieux de 20 ans, en un système de refroidissement par le sol. C'est aussi simple que ça?

Vous n'avez même pas besoin de convertir quoi que ce soit. Il est juste important que l'eau qui coule dans le sol ne soit pas trop froide. Vous avez donc besoin d'une pompe à chaleur réglable dont la puissance correspond à la zone que vous souhaitez refroidir.

Quel doit être le dimensionnement de l'installation photovoltaïque sur le toit? Est-il possible d'exagérer?

Il existe certainement un optimum qui correspond au système énergétique de la maison. Si vous recouvrez toute la surface de votre toit de panneaux photovoltaïques, vous êtes certainement au-dessus de cela. Mais il n'y a rien de mal à cela.

Pourquoi?

Pensez aux voisins. Ils peuvent fournir de l'électricité dans le quartier à d'autres personnes qui n'ont pas encore de système photovoltaïque. Et pensez à l'approvisionnement de tout le pays. En hiver, lorsque le soleil est plat, nous sommes heureux de pouvoir alimen-

ter le réseau avec la moindre quantité d'énergie solaire. À l'avenir, nous serons également en mesure de produire de l'hydrogène à partir d'un surplus d'électricité. Bien entendu, cela ne vaut pas la peine dans une maison individuelle. Mais à un moment donné, il y aura des fournisseurs qui achèteront l'électricité que nous, les propriétaires, produisons en été et la transformeront en hydrogène.

Alors, tout est bien parti pour le tournant énergétique!

Eh bien, un conflit subsiste: certains fournisseurs d'électricité aimeraient utiliser les périodes de blocage pour commander des appareils ayant une forte demande d'énergie – par exemple des pompes à chaleur et des stations de recharge – de manière à soulager le réseau. Cela signifie qu'ils ne pourront peut-être pas mettre en marche votre pompe à chaleur au moment où vous produisez le plus d'électricité avec vos panneaux photovoltaïques. Vous devrez alors vendre l'électricité au fournisseur d'électricité à un taux très bas. Dans ce cas, la compagnie optimise sa zone de profit au détriment du propriétaire.

Mais le contrôle central est nécessaire pour des raisons de stabilité du réseau, n'est-ce pas?

Je ne veux clairement pas de ça en tant que propriétaire. Et ce n'est pas nécessaire.

Comment résoudre-vous le problème?
Avec mon système de contrôle, je peux

**«CRYSTALBALL»
PLANS POUR L'AVENIR**

En collaboration avec deux autres entreprises partenaires et le CSEM, Alain Aerni a développé le système de contrôle intelligent des bâtiments «Crystalball». Le logiciel régule l'interaction entre le système photovoltaïque, la pompe à chaleur, la batterie de stockage et la station de recharge de la voiture électrique. À l'aide du bulletin météorologique, il planifie les flux d'énergie trois jours à l'avance, charge l'autonomie requise dans la voiture électrique, refroidit ou chauffe la maison et sélectionne les tarifs d'électricité les moins chers pour charger ou tirer de l'électricité du réseau public. En anticipant, les plafonds et les murs massifs de la maison peuvent être utilisés pour stocker la chaleur gratuitement. <https://crystalball.solar/>

contribuer à la stabilité du réseau électrique sans que personne n'y ait accès de l'extérieur. Mon système est réglé pour optimiser les coûts. Il suffit que le fournisseur d'électricité m'indique les tarifs variables – de préférence huit ou même 24 heures à l'avance – pour que «Crystalball» utilise automatiquement la pompe à chaleur et les autres consommateurs d'électricité de la bonne manière. Le bâtiment dans lequel nous sommes assis est une réserve d'énergie considérable: chaque degré de température dans les murs représente 74 kilowattheures d'énergie. Si le tarif de l'électricité est élevé ce soir, et qu'il est bas maintenant, je chaufferai quelques heures à l'avance et ne chaufferai plus ce soir – et j'aurai effectivement soulagé la charge du réseau électrique. Pourtant, il fait bon et chaud dans la maison. Il suffit donc de communiquer les tarifs et de laisser le marché jouer son rôle, puis chaque propriétaire peut également conserver la souveraineté sur ses installations domestiques. Et le redressement énergétique réussira quand même. ■

Photos: Empa

Photo: Stockfoto

COMPOSER DE NOUVEAUX SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Les systèmes énergétiques modernes et décentralisés sont très complexes. Les planifier de manière optimale et rentable est un défi majeur pour les planificateurs énergétiques. La spin-off de l'Empa «Symphony» propose un logiciel qui aide les planificateurs à trouver le bon concept énergétique pour un bâtiment, un quartier ou même une ville entière, et ainsi à atteindre leurs objectifs en termes de durabilité et d'efficacité énergétique.

Texte: Loris Pandiani

**PROJET COIRE**

Symphony travaille avec IBC, une entreprise de services publics de Coire, pour trouver de nouvelles solutions énergétiques pour les quartiers urbains.

Un système énergétique durable est comparable à une symphonie. Pour que les différents composants s'harmonisent entre eux, il ne suffit pas d'écrire quelques notes sur un bout de papier. Elle requiert plutôt des compositeurs expérimentés qui trouvent la composition idéale et les instruments qui lui conviennent, ainsi qu'un chef d'orchestre qui veille à ce que les musiciens s'harmonisent parfaitement entre eux. Ce n'est que lorsque tout s'accorde parfaitement qu'une symphonie mélodieuse voit le jour. Dans le système énergétique, le rôle du compositeur est joué par les planificateurs d'énergie. Leur tâche devient toutefois de plus en plus complexe, car de nouvelles technologies arrivent constamment sur le marché et les exigences – par exemple en matière de durabilité et de fiabilité – évoluent également constamment.

REPENSER LES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

La complexité croissante est principalement due au passage de systèmes énergétiques centralisés à des systèmes décentralisés. Ce changement est motivé par l'évolution vers une société respectueuse du climat. Dans les systèmes énergétiques décentralisés, plusieurs bâtiments sont reliés dans un district ou une zone, qui utilisent ensemble des énergies renouvelables et diverses technologies de conversion et de stockage. Les bâtiments ne sont pas seulement des consommateurs d'énergie, mais aussi des producteurs d'énergie, à la fois en stockant l'énergie excédentaire, par exemple à partir de leur système photovoltaïque, et en la réinjectant dans le réseau. De cette façon, ils deviennent eux-mêmes un élément important du système. L'un des principaux avantages des systèmes énergétiques décentralisés par rapport aux systèmes énergétiques traditionnels, organisés de manière centralisée, est que l'énergie peut être

fournie là où elle est consommée. Les trajets de transport sont ainsi réduits au minimum, ce qui permet une interaction plus efficace entre les différentes technologies d'énergie et de stockage.

Pour les planificateurs, cela signifie qu'ils doivent considérer les systèmes énergétiques dans leur ensemble et trouver les solutions optimales parmi un grand nombre de technologies et leurs combinaisons possibles. En outre, l'éventail des solutions disponibles s'élargit constamment grâce à l'innovation. Dans le même temps, les planificateurs d'énergie doivent assurer la stabilité du réseau et toujours garder un œil sur l'aspect économique. La création d'une symphonie mélodieuse, plutôt que de s'appuyer simplement sur des pièces standard communes que des dizaines d'orchestres ont déjà jouées, devient donc une tâche extrêmement complexe. Une entreprise qui a reconnu ce problème et trouvé un remède est la spin-off de l'Empa «Sympheny». Le nom n'a pas été choisi au hasard. L'objectif de la start-up est de mettre en harmonie les différents flux d'énergie d'un site – et d'atteindre ainsi une efficacité énergétique et une durabilité maximales.

SIMPLIFIER LA PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE

Sympheny offre aux planificateurs un outil basé sur le cloud qui les aide à planifier facilement et de manière rentable le système énergétique optimal pour un bâtiment, un quartier ou même une ville. «Notre plateforme tient compte d'un large éventail de facteurs tels que les énergies renouvelables et les fournisseurs disponibles à un endroit donné, les différents besoins énergétiques ou les technologies pertinentes. En même temps, elle tient compte des différents objectifs des planificateurs, tels que la réduction des émissions de CO₂, le développement des énergies renouvelables ou la réduction des coûts», explique Andrew Bollin-

ger, PDG de Sympheny. Sur la base de ce large éventail d'informations, l'outil en ligne aide les planificateurs à trouver le système énergétique optimal pour le site.

Il répond à des questions essentielles, telles que l'opportunité et la nature des systèmes photovoltaïques à installer sur le toit ou la façade, les systèmes de stockage saisonniers à mettre en place ou la structure des réseaux thermiques. Mais surtout, la plateforme peut aider les planificateurs d'énergie à considérer ces différentes questions dans le contexte global et à fournir des réponses qui tiennent compte des nombreuses interdépendances et interactions entre les technologies et les flux énergétiques à un endroit donné.

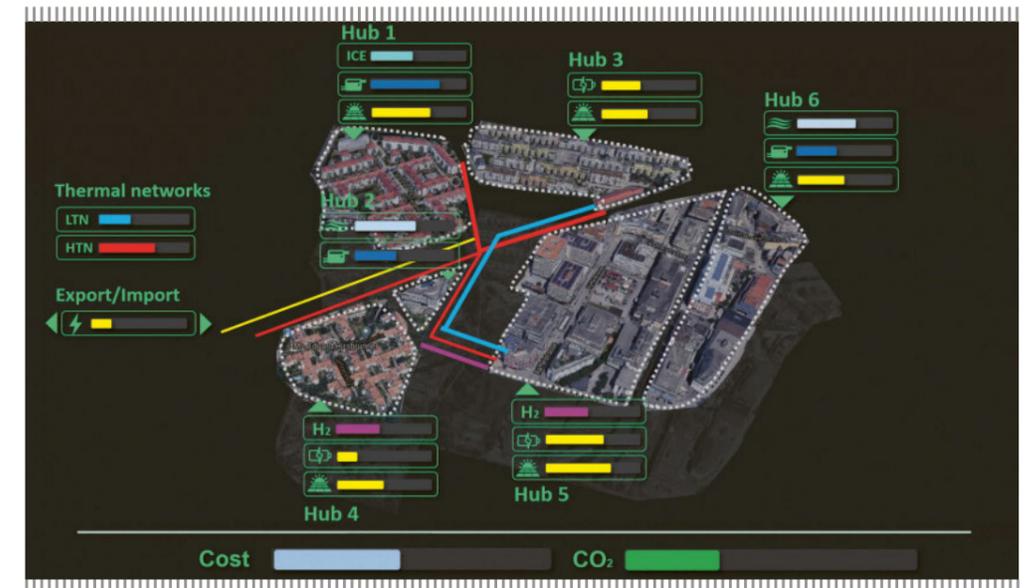
EXPERTISE DE LA RECHERCHE

La base du logiciel est constituée par de nombreuses années de recherche. Depuis plusieurs années, le Laboratoire des systèmes énergétiques urbains de l'Empa étudie de nouvelles méthodes pour optimiser les systèmes énergétiques décentralisés. La recherche a finalement abouti à l'outil, qui a été continuellement développé en collaboration avec des partenaires industriels. L'année dernière, l'équipe a finalement décidé de faire le grand saut sur le marché. Ainsi, la spin-off «Urban Sympheny AG» a été fondée en avril 2020.

«Nous voyons un grand potentiel de marché pour notre solution, car la planification énergétique devient de plus en plus complexe. Pour les planificateurs d'énergie, le facteur temps joue également un rôle essentiel. Il est donc important de les aider à trouver la solution optimale le plus rapidement possible. Nos puissants algorithmes et notre application conviviale basée sur le cloud réduisent considérablement la complexité pour les planificateurs. Ils sont ainsi en mesure de prendre

SUR L'ÉCRAN

Sympheny aide les planificateurs à développer des concepts énergétiques durables et à harmoniser les flux énergétiques d'un site.



des décisions de planification plus rapides et de meilleure qualité», explique Andrew Bollinger. Dans le même temps, le logiciel favorise l'intégration de sources d'énergie durables et renouvelables. L'équipe de Sympheny souhaite ainsi apporter une contribution précieuse à la transition énergétique.

UN MORCEAU DE LA PRATIQUE

Des projets communs avec des partenaires industriels montrent que l'outil de Sympheny a un énorme potentiel. Un exemple: avec l'Empa, Sympheny a aidé l'entreprise de services publics IBC Energie Wasser Chur à trouver de nouveaux concepts énergétiques pour les quartiers de la capitale des Grisons, afin de réduire les émissions de CO₂ à un niveau net zéro d'ici 2040. L'équipe a d'abord créé un modèle numérique de la ville à l'aide du logiciel Sympheny. Pour trouver les solutions optimales, l'étape suivante a consisté à utiliser les algorithmes de Sympheny pour évaluer les différents concepts énergétiques possibles et calculer leurs coûts et leur empreinte CO₂. Avec cette sélection de concepts possibles, la compagnie d'électricité peut désormais trouver plus facilement

la solution qui l'aidera à atteindre son objectif «net zéro» à un coût minimal.

Dans l'analyse détaillée, l'équipe du projet a également défini pour chaque solution les mesures nécessaires à la conversion du système énergétique existant. L'IBC Energie Wasser Chur est particulièrement intéressée par le fait qu'il est possible de convertir son système énergétique actuel en un système sans CO₂ sans augmenter les coûts du cycle de vie – même si des investissements élevés sont nécessaires pour la conversion. Au cours du processus de transformation, l'entreprise a également la possibilité de recalculer les étapes de conversion à venir sur la base des dernières données, par exemple les nouvelles technologies, et de procéder aux ajustements nécessaires. Cela permet de réduire considérablement le risque lié à la conversion du système énergétique. ■

Plus d'informations ici:
<https://www.sympheny.com/>

URBAN SYMPHENY AG

Sympheny propose un logiciel (outil web) pour aider les planificateurs énergétiques locaux à identifier les solutions optimales d'approvisionnement en énergie pour les sites, les quartiers, les districts et les communautés. Le service de Sympheny est basé sur des méthodes de calcul et des algorithmes novateurs développés à l'Empa et à l'ETH Zurich. L'outil permet d'évaluer rapidement un large éventail de solutions d'approvisionnement en énergie classiques et nouvelles – en tenant compte de l'interaction entre les différentes ressources, les flux d'énergie et les technologies – et d'identifier des solutions optimales et spécifiques à chaque site. www.sympheny.com

PROJET PILOTE
L'usine RAG Austria pompe l'hydrogène dans la terre.



L'ÉNERGIE DU SOLEIL DU DÉPÔT PROFOND

Pendant les mois d'hiver, les énergies renouvelables sont rares dans toute l'Europe. Un projet international envisage maintenant une solution non conventionnelle: L'hydrogène et le dioxyde de carbone renouvelables sont pompés ensemble dans le sol, où des micro-organismes naturels transforment les deux substances en méthane, le principal composant du gaz naturel.

Texte: Stephan Kälin

Underground Sun Conversion: la technologie au nom passionnant, brevetée par la société énergétique autrichienne RAG Austria AG, offre un moyen de stocker l'énergie renouvelable de manière saisonnière et à grande échelle pour la rendre disponible toute l'année. En été, l'énergie renouvelable excédentaire – l'énergie solaire, par exemple – est transformée en hydrogène (H₂). Il est ensuite stocké avec le dioxyde de carbone (CO₂) dans des installations de stockage sou-

raines naturelles – par exemple d'anciens gisements de gaz naturel – à une profondeur de plus de 1000 mètres.

C'est là qu'interviennent les petits auxiliaires: des micro-organismes de la pré-histoire, appelés archées, transforment par leur métabolisme l'hydrogène et le CO₂ en méthane (CH₄) renouvelable. Les archées sont présentes dans le monde entier, principalement dans des environnements anaérobies, c'est-à-dire à faible teneur en oxygène, et il y a des millions d'années, elles étaient déjà responsables de la transformation de la biomasse en gaz naturel. En introduisant de l'hydrogène et du CO₂ dans des dépôts de grès poreux appropriés, ce processus est pratiquement relancé. Le méthane «produit» dans ces réservoirs peut ensuite être extrait en hiver et utilisé de diverses manières comme gaz naturel neutre en CO₂.

LA RECHERCHE DE SITES APPROPRIÉS

Des entreprises énergétiques et des instituts de recherche autrichiens et suisses ont maintenant uni leurs forces pour poursuivre le développement de cette technologie. Dans le cadre d'un projet financé par le programme-cadre de recherche européen ERA-Net et, en Suisse, par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), le potentiel technique et économique en Suisse et en Autriche sera exploré au cours des deux prochaines années. En Suisse, l'entreprise énergétique Energie 360°, l'Empa, l'Université de Berne et l'Université des sciences appliquées OST de Suisse orientale sont impliquées. L'Empa développe une perspective sur l'ensemble du système énergétique: «Nous examinons quand et où se produisent les surplus d'électricité, où se trouvent les sources de CO₂ appropriées et, finalement, où se trouve la demande de gaz naturel renouvelable», explique Martin Rüdüsüli du département Systèmes énergétiques urbains de l'Empa. Avec les conditions géologiques,

qui sont étudiées par l'Université de Berne, et les conditions économiques limites, qui sont élaborées par l'OST, une carte des sites possibles pour l'application de la technologie «Underground Sun Conversion» doit être créée.

Martin Rüdüsüli estime que cette technologie est prometteuse. En particulier parce que, outre la méthanisation biologique, elle apporte également une réponse au problème du stockage saisonnier: «Même avec une forte augmentation de la production de méthane, il ne serait pas nécessaire d'étendre l'infrastructure de stockage en surface grâce aux installations de stockage naturel à l'intérieur de la terre», explique-t-il.

SUR LA VOIE DE LA DÉCARBONISATION

La volatilité des sources d'énergie renouvelables est l'un des grands défis de la transition énergétique. En hiver, nous avons trop peu d'électricité renouvelable, en été trop. Dans une analyse du potentiel de la technologie «power-to-gas» – c'est-à-dire la trans-

formation de l'électricité renouvelable en vecteurs énergétiques chimiques tels que l'hydrogène ou le méthane.

En Suisse, le chercheur de l'Empa Martin Rüdüsüli a prédit un excédent d'une bonne dizaine de TWh d'électricité solaire en Suisse au cours des prochaines décennies – en supposant qu'environ la moitié des surfaces de toit appropriées soient développées avec le photovoltaïque, ce qui est à son tour nécessaire si l'on veut remplacer l'électricité nucléaire. Si l'électricité excédentaire est transformée en méthane en été, cela permettrait de faire fonctionner toute l'année environ un million de véhicules à gaz sur une base d'énergie renouvelable. «La conversion de l'électricité renouvelable en sources d'énergie stockables en fonction des saisons est un pilier important d'un système énergétique décarboné», explique Martin Rüdüsüli. ■

Plus d'informations ici:
<https://www.underground-sun-conversion.at/>

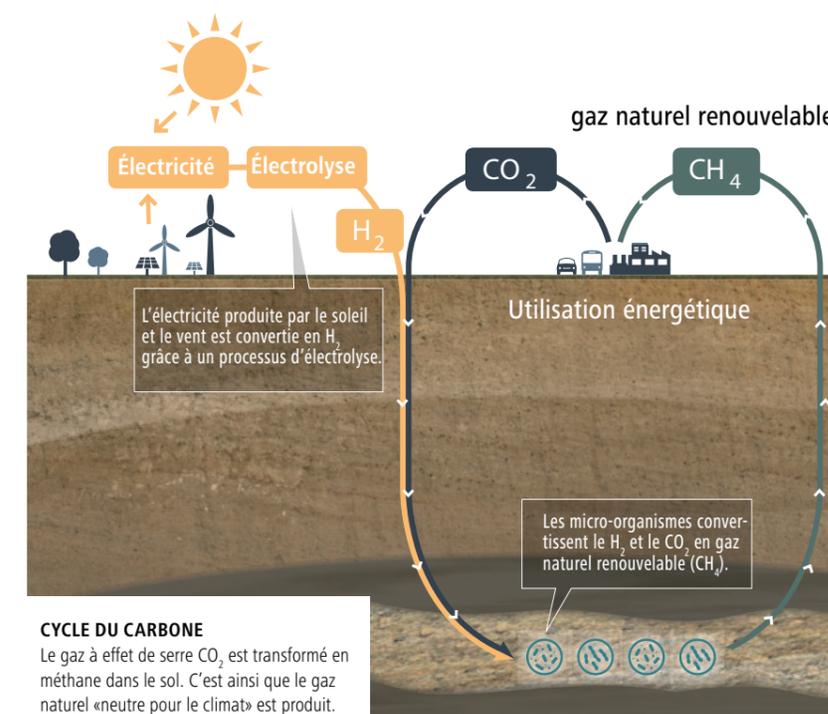


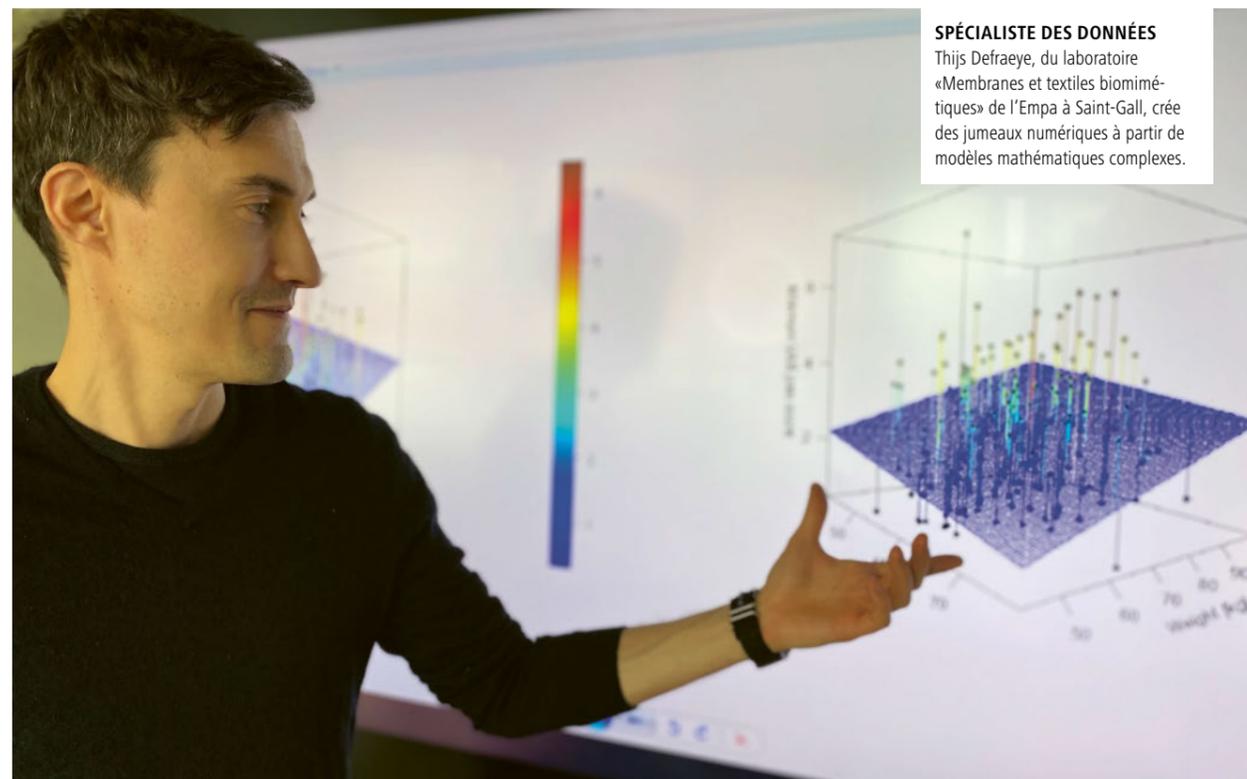
Photo: RAG

Graphique: RAG

LE PATIENT SIMULÉ

Les jumeaux numériques permettent des thérapies médicales sur mesure. Les chercheurs de l'Empa ont maintenant modélisé plusieurs centaines de ces avatars sur la base de personnes réelles et les ont traités expérimentalement. Pour la première fois, les jumeaux numériques ont reçu des commentaires de vrais patients.

Texte: Andrea Six



SPÉCIALISTE DES DONNÉES
Thijs Defraeye, du laboratoire «Membranes et textiles biomimétiques» de l'Empa à Saint-Gall, crée des jumeaux numériques à partir de modèles mathématiques complexes.

Les énormes progrès de la médecine moderne nous permettent d'offrir aux patients une meilleure qualité de vie, même en cas de maladie grave. Les opiacés synthétiques, par exemple, peuvent être utilisés pour contrôler la douleur, même sévère, lors d'un cancer. Cependant, le

dosage exact reste un défi. Les analgésiques, tels que le fentanyl, doivent être administrés précisément pour être efficaces sans nuire aux personnes qui en souffrent, avec des effets secondaires parfois mortels. Actuellement, l'un des moyens d'administration de ces analgésiques est un patch cutané contenant le

médicament – une méthode douce qui permet aux patients de reprendre leur vie quotidienne. Cependant, le dosage approprié ne peut être qu'éprouvé. Les réactions à un sous-dosage ou à un surdosage ne peuvent être déterminées qu'a posteriori, lorsque le médicament a quitté le patch depuis longtemps.

Il faut maintenant que cela change: Afin de pouvoir déterminer le dosage des analgésiques et le maintenir constant pour chaque patient dans le sens d'une médecine personnalisée, les chercheurs de l'Empa, en collaboration avec une équipe de l'Université de Berne, utilisent le domaine de recherche novateur des sciences informatiques et des données. L'équipe dirigée par Thijs Defraeye du laboratoire «Membranes et textiles biomimétiques» de l'Empa à St-Gall utilise la modélisation multiphysique pour développer un jumeau numérique du corps humain, qui permet de contrôler et de prévoir le déroulement de la thérapie.

DÉJÀ 100 AVATARS TRAITÉS

Dans les modèles mathématiques sur lesquels repose le jumeau numérique complexe, les chercheurs ont pris en compte un grand nombre de variables provenant de personnes réelles, telles que l'âge et le mode de vie. En effet, l'effet d'une drogue est influencé par une multitude de paramètres physiques qui peuvent varier considérablement d'un individu à l'autre. «Lorsque nous créons un avatar, nous prenons en compte, par exemple, la manière dont le médicament est métabolisé dans le corps vivant pendant le traitement et la quantité qui arrive finalement au centre de la douleur dans le cerveau de la personne», explique le chercheur de l'Empa, Thijs Defraeye.

Pour garantir que le dosage est non seulement sûr, mais qu'il permet également d'obtenir l'effet souhaité, le jumeau in silico peut également recevoir un retour d'information physiologique et psychologique de la part de vrais patients. Par exemple, les humains fournissent des informations sur le fait de savoir s'ils continuent à percevoir la douleur et à quelle intensité. La durée de la période sans douleur est particulièrement intéressante à cet égard. Tous les jours ne sont pas bons et la vie est pleine d'imprévus,

la perception effective de la douleur par la personne concernée varie donc également beaucoup, ce qu'une visite chez le médecin toutes les deux semaines ne peut pas régler. «Grâce à ce retour de l'humain, l'avatar peut ajuster dynamiquement la thérapie et même en prédire le déroulement», explique Flora Bahrami, chercheuse à l'Empa. À l'avenir, les capteurs mesureront également d'autres paramètres physiologiques tels que le rythme cardiaque ou respiratoire en temps réel et en feront rapport à l'avatar.

Plusieurs centaines d'avatars personnalisés de ce type ont été créés jusqu'à présent et des procédures de thérapie individuelle ont été testées virtuellement en collaboration avec l'hôpital cantonal de Saint-Gall. «Nous avons déjà pu montrer que les programmes de traitement optimal pour les femmes et les hommes, ainsi que pour les jeunes et les personnes âgées, diffèrent de manière significative», explique Flora Bahrami.

Ici, la thérapie de la douleur par patches transdermiques n'est que le début du traitement assisté par l'avatar: En collaboration avec des cliniques et des hôpitaux, les chercheurs de l'Empa veulent maintenant optimiser d'autres thérapies comme l'administration d'insuline pour le diabète en utilisant des jumeaux numériques. ■

Plus d'informations ici:
<https://www.empa.ch/web/multiphysics>

LA NUMÉRISATION CONTRE LE GASPILLAGE ALIMENTAIRE

La numérisation peut permettre des avancées majeures non seulement en médecine, mais aussi dans d'autres domaines – comme la technologie alimentaire. Tout récemment, l'équipe de l'Empa dirigée par Thijs Defraeye a reçu un prix dans le cadre du défi «Inclusive Growth and Recovery Challenge» de data.org. Ce prix prestigieux est parrainé par la Fondation Rockefeller et le Mastercard Center for Inclusive Growth. L'objectif du projet conjoint avec la Fondation BASE (Agence de Bâle pour l'énergie durable) est d'utiliser des modèles informatiques et des applications mobiles pour promouvoir l'agriculture durable et améliorer la situation écologique et économique des petites exploitations agricoles dans les pays en développement. Le facteur décisif est ici le traitement des données et la modélisation des paramètres de l'agriculture, de la technologie et des conditions économiques actuelles afin de permettre aux petites exploitations agricoles de gérer leurs produits avec prévoyance et en temps réel. En effet, dans les pays en développement, jusqu'à 60 % des récoltes de ces exploitations doivent être éliminées car les fruits et légumes pourrissent avant d'arriver sur le marché. Les chercheurs veulent contrer cet immense gaspillage alimentaire. «A la fin de ce développement technologique, il devrait y avoir une application pour les téléphones portables qui soutient l'utilisation durable des ressources pendant le stockage, la réfrigération et la vente des marchandises», déclare la chercheuse de l'Empa Seraina Schudel. Ce projet de grande envergure fournit aussi aux chercheurs de l'Empa une excellente base pour développer le domaine des sciences informatiques et des données, et en particulier les jumeaux numériques, pour diverses applications.

MOLÉCULES EN EXTASE COLLECTIVE

Lorsque des molécules de colorant fluorescent s'imbriquent parfaitement les unes dans les autres, quelque chose de totalement nouveau est créé: un état excité réparti sur de nombreuses molécules. Ces «excitations collectives» peuvent être utilisées de nombreuses façons, par exemple pour les panneaux solaires organiques, les capteurs, la transmission ultra-rapide de données ou la microscopie. Les chercheurs de l'Empa, en collaboration avec des collègues de l'ETH Zurich, de l'EPFL, de l'Institut Paul Scherrer (PSI) et d'IBM Research Zurich, ont réussi à fabriquer de tels amplificateurs de lumière chimiques dix fois plus efficaces qu'auparavant.

Texte: Rainer Klose



LA RÉVOLUTION PAR LES COLORANTS:

Ce que l'artiste Katharina Grosse a montré au Hamburger Bahnhof de Berlin réussit parfois à faire de la chimie.

Ce que nous voyons ici, c'est un transfert d'énergie beaucoup plus rapide que dans n'importe quel semi-conducteur», s'enthousiasme Jakob Heier. Le physicien travaille au département des polymères fonctionnels de l'Empa. La découverte qu'il a faite avec son équipe pourrait faire évoluer de nombreux domaines – comme la technologie des capteurs, la transmission optique des données ou la fabrication de cellules solaires organiques. Nous parlons d'îlots de molécules de colorant avec une structure interne parfaite. Chez les experts, ces

structures sont appelées «agrégats J». Bien qu'ils soient connus depuis plus de 80 ans, ils ont récemment attiré une attention particulière dans la recherche. Cela est dû à la vie intérieure électronique particulière de ces îles à colorants.

Pour comprendre ce que Jakob Heier et ses collègues ont découvert, une petite excursion dans le monde des colorants est utile: Pour qu'un colorant brille, la molécule doit d'abord être activée, également par la lumière. Les azurants optiques contenus dans les détergents, par exemple, absorbent la lumière UV et émettent une lumière bleutée (visible).

C'est pourquoi les vêtements blancs brillent d'un bleu si vif sous la lumière UV d'une discothèque. La lumière émise a moins d'énergie que la lumière rayonnée, car une partie de l'énergie est convertie en vibrations, c'est-à-dire en chaleur, dans la molécule de colorant.

ANTENNES POUR L'ÉNERGIE

Les agrégats J étudiés par Jakob Heier et Surendra Anantharaman, doctorant à l'Empa, se comportent différemment des molécules de colorant individuelles. Dans ces îles moléculaires, les molécules de colorant sont bien triées, proches les unes des autres, comme des allumettes

dans une boîte. Dans cette constellation, la molécule de colorant ne «doit» pas briller, mais «peut» transmettre son énergie à une molécule voisine. Mais par rapport aux semi-conducteurs «classiques» en silicium, il existe une différence cruciale: dans un semi-conducteur en silicium, comme une cellule solaire, l'énergie d'excitation est transportée par des porteurs de charge, par exemple des électrons, qui «sautent» dans le matériau dans une certaine mesure. Dans les agrégats J, en revanche, les électrons n'oscillent que dans la molécule de colorant et ne la quittent jamais. Au lieu d'électrons entiers, ce ne sont donc

que des oscillations qui sont transmises – comme les antennes d'émission et de réception du monde macroscopique. En fait, les agrégats J peuvent «transmettre» l'énergie à la plus petite échelle – extrêmement rapidement et à travers plusieurs centaines de molécules.

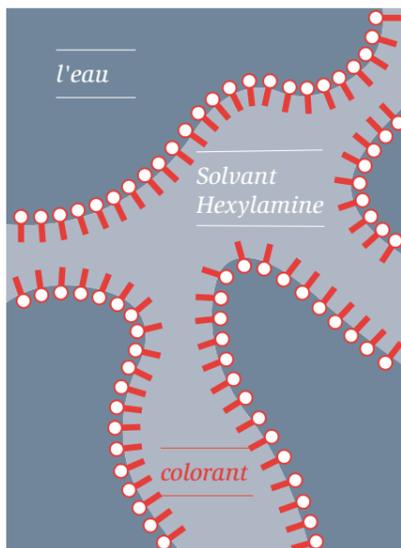
DES PERTES ÉLEVÉES PENDANT 80 ANS

Le phénomène des agrégats J et leur transmission particulière d'énergie a été découvert dès 1936 par Edwin E. Jelley aux États-Unis et Günter Scheibe en Allemagne. Mais jusqu'à présent, environ 95 % de l'énergie rayonnée était perdue et ne pouvait être transmise. Des «er-

reurs de construction» dans le système étaient à blâmer. En réalité, les molécules n'étaient pas si parfaitement alignées. Et chaque fois que l'impulsion énergétique rencontrait l'un de ces défauts au cours de son parcours dans l'agrégat J, le processus de transport était interrompu. Une vibration moléculaire ordinaire mettait fin au transfert, un peu de chaleur était alors générée, et le processus de transport d'énergie était terminé.

LA PARFAITE FORÊT D'ANTENNES

L'équipe de l'Empa, soutenue par des chercheurs de l'ETH Zurich, de l'EPF Lausanne, du PSI et d'IBM Research



VIBRATION ÉNERGÉTIQUE

En haut: Jakob Heier avec des échantillons de son «colorant d'antenne».

En dessous: Comme des allumettes dans une boîte, les molécules de colorant s'alignent aux frontières de phase d'une émulsion bicontinue. C'est la seule façon pour que la transmission du signal réussisse.

Zurich, a maintenant réussi à développer un système de colorants dans lequel jusqu'à 60% de la lumière émise est également réémise sous forme de lumière. Cela signifie également que jusqu'à 60 % de l'énergie peut être transmise sans perte – par rapport aux 5 % possibles auparavant, c'est une sensation. La clé du succès était des îlots de

colorant parfaitement construits, créés dans une fine émulsion d'eau et d'hexylamine. Une émulsion est un mélange de gouttelettes de liquide dans un autre liquide – le lait ou la mayonnaise sont des émulsions que tout le monde connaît.

Les chercheurs de l'Empa ont observé que pas toutes les émulsion ne fonctionnaient: il devait s'agir d'une émulsion dite bicontinue, c'est-à-dire que les gouttes en suspension dans le liquide extérieur ne devaient pas être éloignées les unes des autres, mais devaient s'être combinées pour former des formations striées. Ce n'est qu'alors que le colorant examiné forme les agrégats J sans défaut souhaités et peut «envoyer» l'énergie absorbée sur de longues distances sans perte.

LES ÉCHECS FONT PARTIE DU JEU

L'étude qui vient d'être publiée mentionne également – dans la bonne tradition scientifique – les tentatives ratées et l'histoire de l'expérience réussie. En effet, les chimistes et les physiciens du monde entier doivent pouvoir profiter de l'expérience des chercheurs de l'Empa. Par exemple, il n'a pas été possible de cristalliser le colorant sous forme de films minces sur une surface solide. Trop de défauts dans les cristaux ont ruiné le transfert. Les solutions aqueuses, dans lesquelles le colorant est concentré en minuscules gouttelettes, ne fonctionnent pas non plus.

Seules les émulsions bicontinues permettent la transmission du signal – et seulement s'il reste des molécules de colorant individuelles en phase liquide qui peuvent remplir les trous et combler les lacunes des agrégats J – c'est-à-dire «réparer» les défauts.

APPLICATIONS ENVISAGEABLES

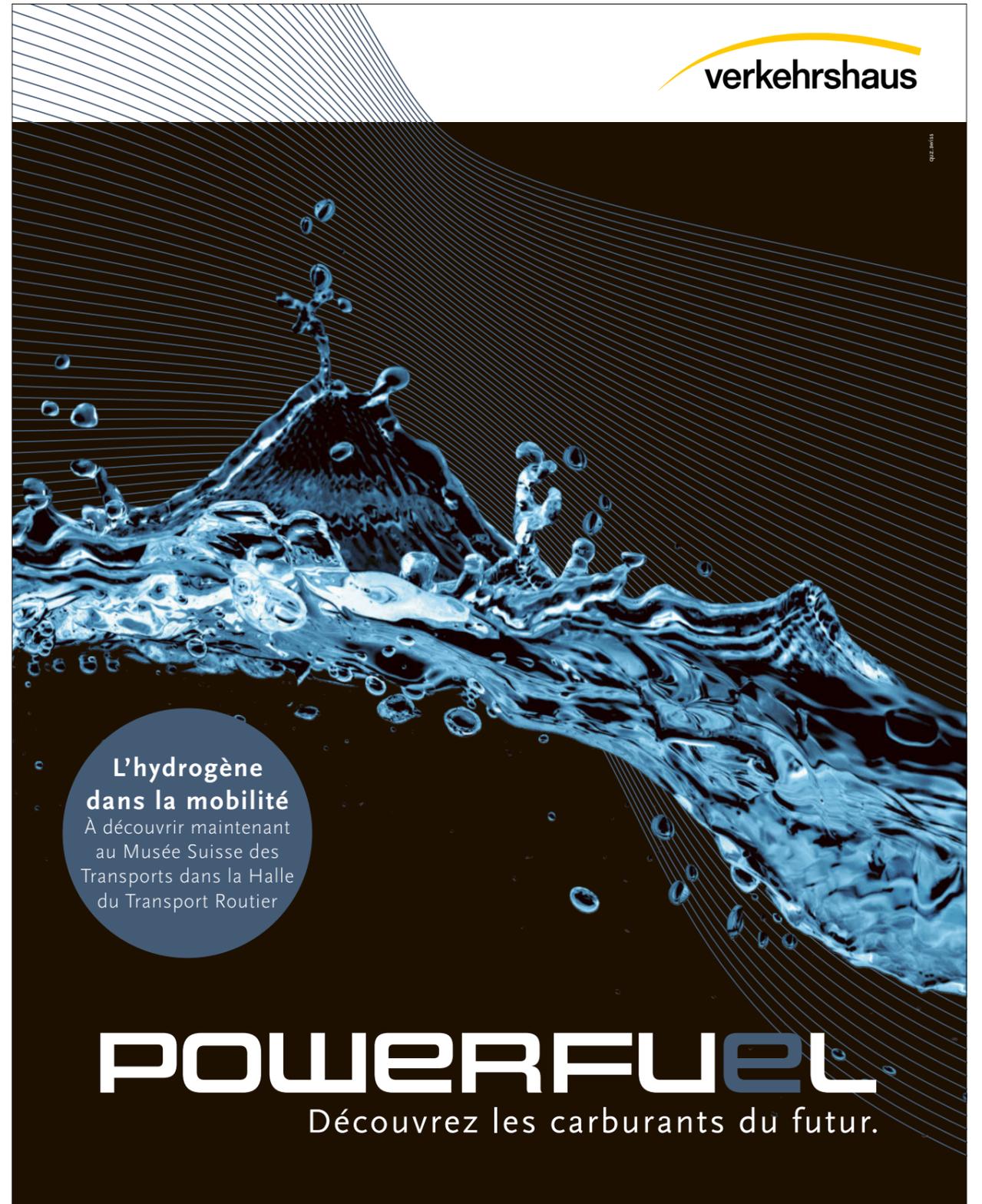
Les chercheurs ont certainement encore un long chemin à parcourir avant que ce qu'ils ont réalisé dans une émulsion

puisse être rendu techniquement utile. Mais la transmission de signaux par des colorants pourrait alors pénétrer dans de nombreux domaines de la vie quotidienne. Par exemple, il est possible de capter une faible lumière infrarouge à l'aide de ces colorants et de la convertir en signaux numériques à l'aide de points quantiques – un avantage pour la technologie des capteurs ou pour les cellules solaires qui sont censées fournir de l'électricité même en cas de très faible lumière. En raison de leurs propriétés uniques, les agrégats J se prêtent également à des applications dans les ordinateurs quantiques et la transmission optique de données.

Enfin, les agrégats de colorants conducteurs de signaux pourraient être utiles pour le diagnostic dans les tissus vivants: La lumière infrarouge, ou rayonnement thermique, pénètre profondément dans les tissus humains sans endommager les cellules. Les agrégats J pourraient rendre ce rayonnement visible et le numériser. Cela pourrait grandement faciliter et améliorer l'imagerie microscopique à haute résolution dans les tissus vivants. ■

Plus d'informations ici:
<https://www.empa.ch/web/s209>

Photo é graphique: Empa



L'hydrogène dans la mobilité
 À découvrir maintenant au Musée Suisse des Transports dans la Halle du Transport Routier

POWERFUEL
 Découvrez les carburants du futur.



DES DÉTOXIFIANTS DE LA DÉCHARGE

Des bactéries provenant d'une décharge indienne pourraient contribuer à éliminer la contamination chimique. L'accent est mis sur les pesticides tels que le lindane ou les agents ignifuges bromés, qui s'accumulent dans la nature et dans les chaînes alimentaires. Les chercheurs de l'Empa et de l'Eawag ont utilisé des bactéries pour produire des enzymes capables de décomposer ces produits chimiques.

Texte: Rainer Klose



DÉCHARGE EN INDE
Une bactérie extrêmement utile est née ici.

Photo: Empa

La production de produits chimiques est une activité laborieuse. Souvent, seule une petite partie de ce qui est réellement souhaité est produite dans l'usine. La grande partie restante est inutilisable – ou pire encore. Des exemples? Le défoliant «Agent Orange», que les États-Unis ont utilisé pendant la guerre du Viêt Nam, a été produit dans l'urgence. Il contenait de la dioxine comme contaminant. En conséquence, non seulement les arbres de la zone de combat ont perdu leur feuillage, mais les soldats américains et les civils vietnamiens sont également tombés malades du cancer des années plus tard.

Il existe également des exemples dans le domaine de l'agriculture: La production de l'insecticide lindane, un hexachlorocyclohexane (HCH), ne produit qu'un maximum de 15 % de la substance souhaitée, tandis que 85 % du bouillon de réaction sont des déchets dangereux. Dans les années 1950, ce mélange toxique était encore pulvérisé dans son intégralité sur les champs et les vergers, après quoi le lindane efficace était séparé et vendu pur, le reste étant déversé dans des décharges. Les produits chimiques y reposent souvent encore aujourd'hui. Le lindane est interdit dans l'UE depuis 2007, et n'est plus utilisé en Suisse depuis un certain temps.

L'agent ignifuge hexabromocyclodécane (HBCD) est également un mélange de plusieurs substances. Inventé dans les années 1970, il est produit à une échelle de plusieurs 10 000 tonnes par an et utilisé dans les panneaux d'isolation en polystyrène pour les façades des maisons, dans les textiles et dans les plastiques pour les appareils électriques. Il est interdit dans le monde entier depuis 2014. En Suisse, le plastique contenant du HBCD n'est pas recyclé, mais doit être détruit dans les installations d'incinération déchets.

INTERNATIONALEMENT INTERDIT

Depuis 2004, la «Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants» régleme le traitement de ces toxines environnementales à longue durée de vie (<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2004/347/de>). La Suisse a ratifié l'accord en 2003, mais toutes ces substances sont déjà présentes dans l'environnement – et finement réparties. L'HBCD est présent dans les boues d'épuration, dans les poissons, dans l'air, l'eau et le sol. En 2004, le WWF a prélevé des échantillons de sang de onze ministres européens de l'environnement et de trois ministres de la santé et a pu détecter du HBCD et du lindane dans le sang de chaque fonctionnaire.

LES BACTÉRIES, LES SAUVEURS DU SOL

La question qui se pose est la suivante: pouvons-nous récupérer ou rendre inoffensifs les déchets chimiques des générations passées? Heureusement, les scientifiques n'hésitent pas à s'attaquer aux endroits les plus dangereux dans leur recherche de solutions: en 1991, ils ont découvert trois souches de bactéries capables de consommer le lindane et ses frères chimiques inutiles, *Sphingobium francense*, *Sphingobium japonicum* et *Sphingobium indicum*, dans des décharges chimiques en France, au Japon et en Inde presque simultanément. Ces bio-nettoyeurs pourraient-ils aussi digérer l'agent ignifuge HBCD et d'autres toxines?

Le chimiste de l'Empa Norbert Heeb et le microbiologiste de l'Eawag Hans-Peter Kohler, ainsi que des chercheurs de l'Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW) et de deux instituts indiens, ont mis la question à l'épreuve. Ensemble, ils ont modifié les gènes de la bactérie indienne et produit des enzymes dégradant le HCH sous forme pure. Une enzyme est une molécule de protéine, un biocatalyseur en quelque sorte, avec

laquelle les bactéries, mais aussi d'autres cellules vivantes, peuvent construire ou décomposer des substances chimiques. La molécule polluante HCH s'insère dans l'enzyme comme une clé dans une serrure. Puis une partie de la molécule est séparée. Les fragments sont à nouveau libérés, et l'enzyme est alors prête à absorber la molécule polluante suivante.

LES MUTATIONS OUVERT DES POSSIBILITÉS

Avec Jasmin Hubeli, étudiant de Bachelor, Norbert Heeb a étudié non seulement les variantes d'enzymes présentes dans les décharges, mais aussi une enzyme obtenue à partir d'une souche bactérienne génétiquement modifiée. Ici, les chercheurs ont délibérément élargi le «trou de serrure» pour que les grosses molécules d'HBCD puissent être décomposées plus facilement. Résultat: la modification génétique de la bactérie a effectivement influencé la vitesse à laquelle le polluant était décomposé.

Le chercheur de l'Empa Norbert Heeb est optimiste quant à ces résultats: «Cela signifie que nous avons maintenant une chance d'utiliser des méthodes biologiques pour rendre inoffensives ces toxines à longue durée de vie, qui sont produites par l'homme et distribuées sur de grandes surfaces.» Mais il reste encore un long chemin à parcourir. Le principe de verrouillage des enzymes utiles doit encore être approfondi avant que l'on puisse disposer à l'avenir d'enzymes sur mesure pour les toxines chimiques. ■

Plus d'informations ici:
<https://www.empa.ch/web/s502>

LA SOURIS DANS LE NID

Le dimanche 7 mars, la «Sendung mit der Maus» a fêté son 50e anniversaire. À l'occasion de l'édition anniversaire de l'émission pour enfants la plus populaire de la télévision allemande, Armin Maiwald, présentateur depuis le tout début, a visité NEST à l'Empa à Dübendorf. Le sujet: Comment construire de manière plus écologique à l'avenir?

<https://www.wdrmaus.de/>



AU CENTRE
Armin Maiwald devant la cloison de séparation à accumulation de chaleur de l'Unité «Urban Mining and Recycling».

À LA DÉCOUVERTE DES CARBURANTS DE L'AVENIR



INTERACTIF
La nouvelle exposition permanente de l'Empa et d'Avenergy Suisse fournit des informations sur les carburants neutres pour le climat.

Avec ses partenaires Avenergy Suisse et Hyundai, l'Empa présentera dès mars 2021 au Musée suisse des transports une nouvelle exposition permanente sur les carburants durables du futur. L'accent sera mis sur des questions telles que: comment l'électricité verte arrive-t-elle dans le réservoir? Et: Quel carburant est judicieux pour quel usage? Dans un jeu interactif, les visiteurs peuvent même produire virtuellement de l'hydrogène eux-mêmes.

www.empa.ch/web/s604/powerfuel

Photos: Empa, Verkehrshaus der Schweiz

DES IDÉES SUISSES POUR L'ACCORD VERT



ALLUMÉ
Peter Richner dans la discussion en ligne.

La construction durable exige des innovations radicales – telles que celles qui sont étudiées et mises en œuvre dans le cadre du NEST à l'Empa. Inspirée par l'exemple suisse, la plateforme internationale de recherche ReConstruct a invité les participants à une discussion en ligne sur les solutions pour une construction climatiquement neutre le 22 mars. Peter Richner, directeur adjoint de l'Empa, a rejoint la ministre autrichienne du climat Leonore Gewessler à la table virtuelle.

<https://www.rethinkconstruction.net/>

Photo: Empa

SÉMINAIRES DE L'ACADÉMIE DE L'EMPA

(en allemand et en anglais)

28. MAI 2021

Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
<http://www.empa-akademie.ch/korrosion>
Empa, Dübendorf

13. – 15. JULI 2021

Kurs: Aerogel Industry – Academia Forum

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
<http://www.empa-akademie.ch/aerogel>
Empa, Dübendorf und online

09. – 10. SEPTEMBER 2021

Kurs: 3D Drucken in der Medizintechnik
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
<http://www.empa-akademie.ch/medizintech>
Swiss m4m Center, Bettlach

09. SEPTEMBER 2021

Kurs: Alkali-Silica Reaction – a Multidisciplinary Approach / Webinar via Zoom
Zielpublikum: Forschung und Industrie
<https://www.ch/asr>

15. SEPTEMBER 2021

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

08. OKTOBER 2021

Kurs: Energy Harvesting (in Englisch)
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/harvesting
Empa, Dübendorf

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

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Materials Science and Technology