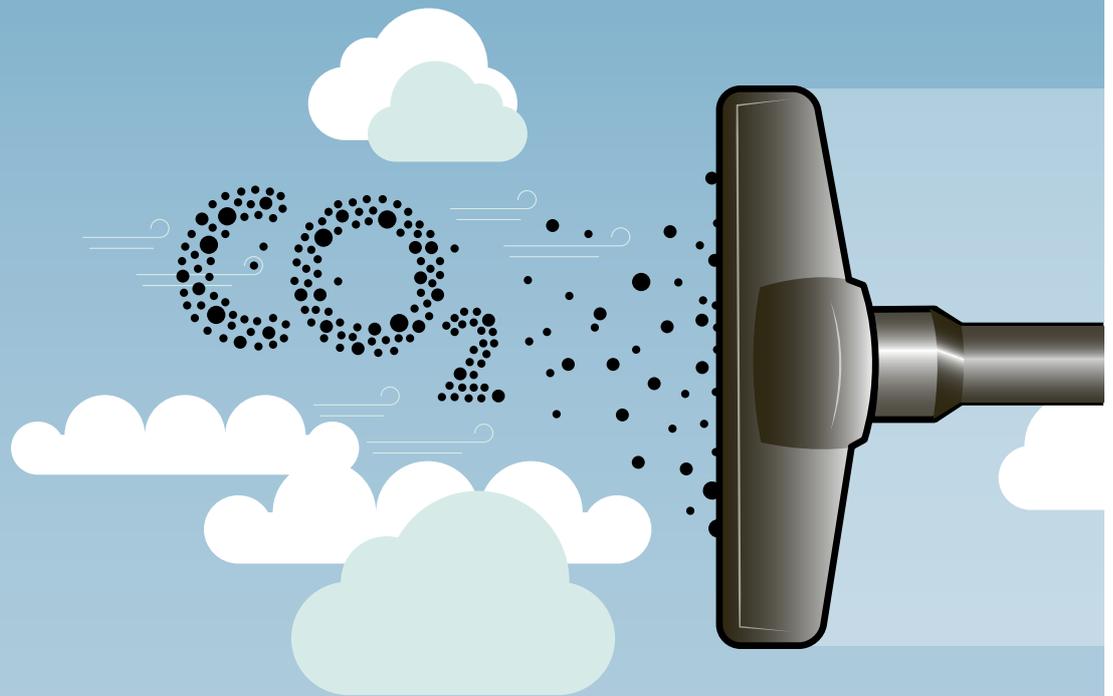


# Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #82 II DÉCEMBRE 2023

FOCUS

## MINING THE ATMOSPHERE



RENFORTS RECYCLÉS  
AÉROGEL À PARTIR DE DÉCHETS  
PROTECTION POUR LA PEAU SENSIBLE

## [ CONTENU ]

[ FOCUS : « MINING THE ATMOSPHERE » ]



## [ FOCUS ]

## 12 INITIATIVE DE RECHERCHE

Le grand nettoyage

## 15 INTERVIEW

L'objectif : la société fixatrice de CO<sub>2</sub>

## 18 CONSTRUCTION

Construire avec du CO<sub>2</sub>

## 22 PORTRAIT

Conséquent intrépide

## 25 « BEYOND ZERO »

Attrape-CO<sub>2</sub> dans le NEST

## 26 BILAN ÉCOLOGIQUE

Le compte est quand même bon

## 28 PRODUITS CHIMIQUES

Défauts recherchés

## [ THÈMES ]

## 08 TECHNOLOGIE MÉDICALE

Protéger la peau délicate

## 32 MATÉRIAUX BIODÉGRADABLES

Emballage en bière

## [ RUBRIQUES ]

## 04 LA PHOTO

## 06 BRIÈVEMENT

## 30 ZUKUNFTSFONDS

Lamelles durables

## 34 EN ROUTE

## PENSER GRAND

Chère lectrice, cher lecteur,

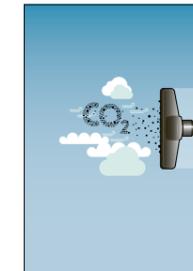


Oui, car c'est aussi une tâche énorme qui nous attend : pendant près de 200 ans, nous avons encombré l'atmosphère de CO<sub>2</sub>. Il s'agit maintenant de faire le ménage. Pour un gaz aussi dilué que le dioxyde de carbone, la tâche est loin d'être triviale ; la concentration actuelle (record) est d'à peine 420 ppm, soit un peu plus d'une particule de CO<sub>2</sub> pour 2'500 « molécules d'air ». Notre aspirateur à CO<sub>2</sub> doit donc « filtrer » pas mal d'air pour obtenir les quelque 1'500 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> que nous devons retirer de l'atmosphère au total. Et ensuite ? Que faire des déchets de CO<sub>2</sub> ? Tout simplement dans une sorte de décharge ? La matière première est en fait trop dommageable pour cela. Mieux vaut utiliser le carbone qu'il contient pour en faire des produits à valeur ajoutée. Car il faut bien financer tout cela d'une manière ou d'une autre. C'est l'idée de la nouvelle initiative de recherche de l'Empa « Mining the Atmosphere ». L'idée est simple, mais très exigeante sur le plan technique : Au lieu d'extraire du pétrole le carbone nécessaire à la fabrication de polymères, de médicaments, de fibres, de carburants et autres, nous utilisons le CO<sub>2</sub> atmosphérique, ce qui permet en outre de lutter contre le réchauffement climatique. Il s'agit donc d'une situation classique « win-win ». Mais il reste encore beaucoup à faire avant de pouvoir faire sauter le bouchon. Le focus actuel donne un premier aperçu des nombreuses approches que nous voulons mettre en œuvre à l'avenir. En effet, nous ne pourrions relever ce défi gigantesque que si les idées innovantes se transforment effectivement en solutions pratiques. Nous y travaillons tous les jours avec nos partenaires de la recherche et de l'industrie.

Bonne lecture !

Votre MICHAEL HAGMANN

## [ COUVERTURE ]



Pour limiter le changement climatique, nous devons compenser non seulement les émissions futures, mais aussi les émissions historiques. L'idée d'un « aspirateur atmosphérique » est simple, mais sa mise en œuvre est loin de l'être. L'Empa recherche des solutions concrètes pour valoriser le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Image : Empa

## [ IMPRESSUM ]

## ÉDITEUR : Empa

Überlandstrasse 129  
8600 Dübendorf, Schweiz  
www.empa.ch

## RÉDACTION : Empa Kommunikation

## DIRECTION ARTISTIQUE :

PAUL AND CAT. www.paul-and-cat.com

## CONTACT : Tél. +41 58 765 47 33

empaquarterly@empa.ch

www.empaquarterly.ch

## PUBLICATION :

publié quatre fois par an

## PRODUCTION :

anna.ettlin@empa.ch

ISSN 2673-1746

Empa Quarterly (édition française)



« QUE J'AIME TA VERDURE! »

Le sapin de Noël sur cette photo n'a pas besoin de bougies. Il s'illumine tout seul en vert – grâce à la bioluminescence. Francis Schwarze, chercheur à l'Empa, a développé un procédé de bois luminescent en traitant des cubes de bois avec des champignons. Les filaments fongiques d'un agent pathogène de la pourriture blanche pénètrent dans le bois et se nourrissent des composants du bois, produisant ainsi la luciférine, une substance naturelle qui produit de la lumière. À l'instar des lucioles, le bois fonctionnalisé émet ainsi une lumière verte grâce aux filaments vivants du champignon. Une « neige » lumineuse s'accumule en outre au pied de l'arbre. C'est là que les champignons poussent sur les fibrilles de cellulose des restes de bois. Ainsi, lorsque la lumière s'éteint le soir dans le laboratoire de mycologie, le sapin bioluminescent de Noël brille dans toute sa splendeur.

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

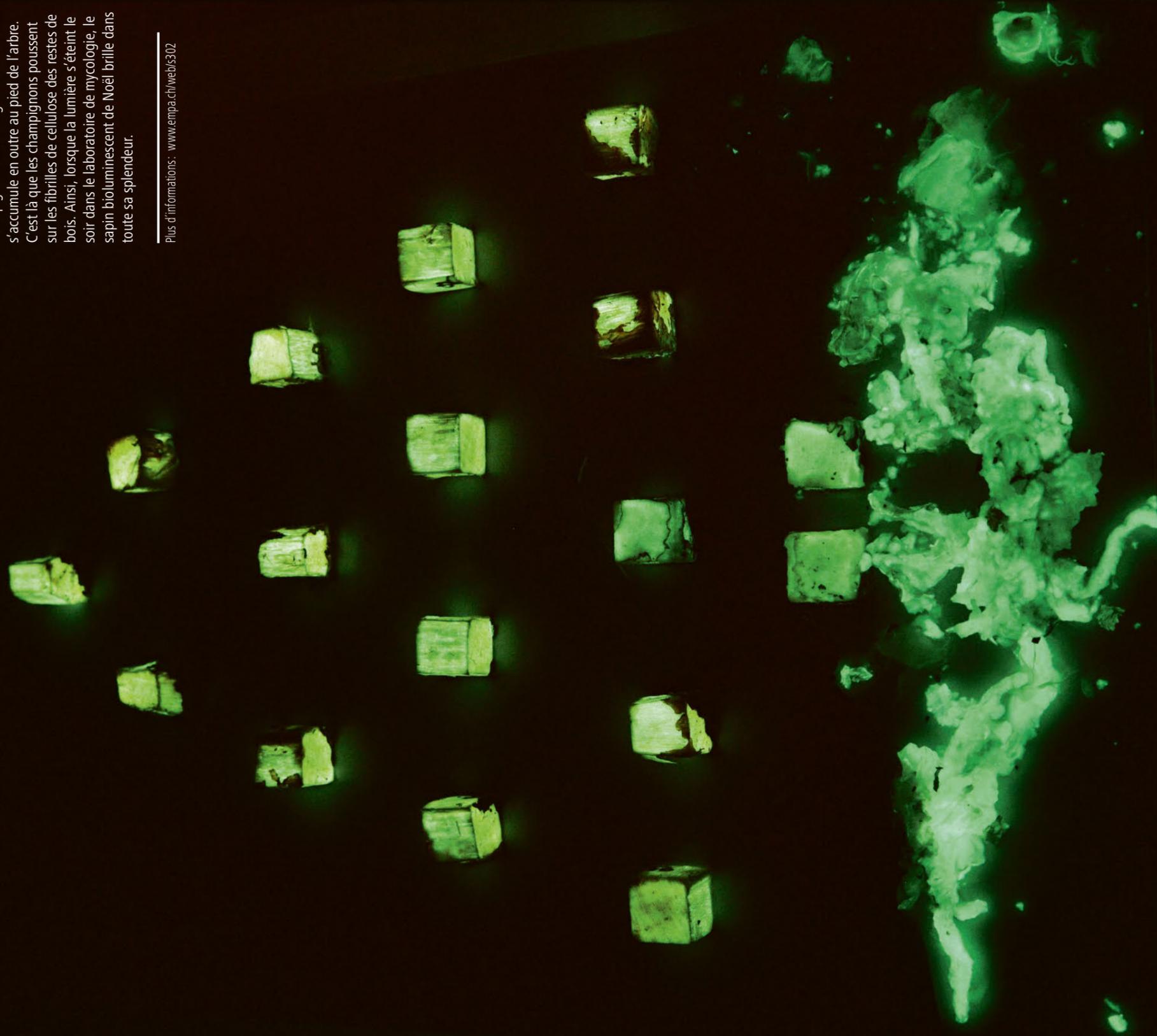


Photo : Empa

## SURVEILLER LES GAZ À EFFET DE SERRE GLOBALEMENT



**MESURER**  
Un jeu de données global sur la répartition des gaz à effet de serre dans l'atmosphère aide les chercheurs à mieux comprendre le changement climatique.

Pour mieux comprendre le changement climatique, nous devons connaître aussi précisément que possible la concentration et la répartition des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. « Global Greenhouse Gas Watch » (GGGW) est une initiative de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) pour la mise en place d'une infrastructure mondiale de mesure et de surveillance des gaz à effet de serre. Les chercheurs de l'Empa du laboratoire « Air Pollutants / Environmental Technology » y participent de manière déterminante. Le programme « Global Atmosphere Watch » de l'OMM joue un rôle central. Dans ce cadre, l'Empa gère un centre mondial d'étalonnage pour les composants gazeux. L'Empa réalise entre autres des audits et offre une formation et un soutien aux stations de mesure du monde entier. Il s'assure ainsi que tous les partenaires fournissent des données fiables et comparables et encourage l'échange international de connaissances dans le domaine de la recherche atmosphérique.

[www.empa.ch/web/s503](http://www.empa.ch/web/s503)

## DES RADIOGRAPHIES EN MOUVEMENT : OUVERTURE DU « DYNAMIC IMAGING CENTER » À BERNE



**EXPERTISE**  
L'Empa est l'un des partenaires qui ont créé ensemble le nouveau « Dynamic Imaging Center » (DIC) à Berne.

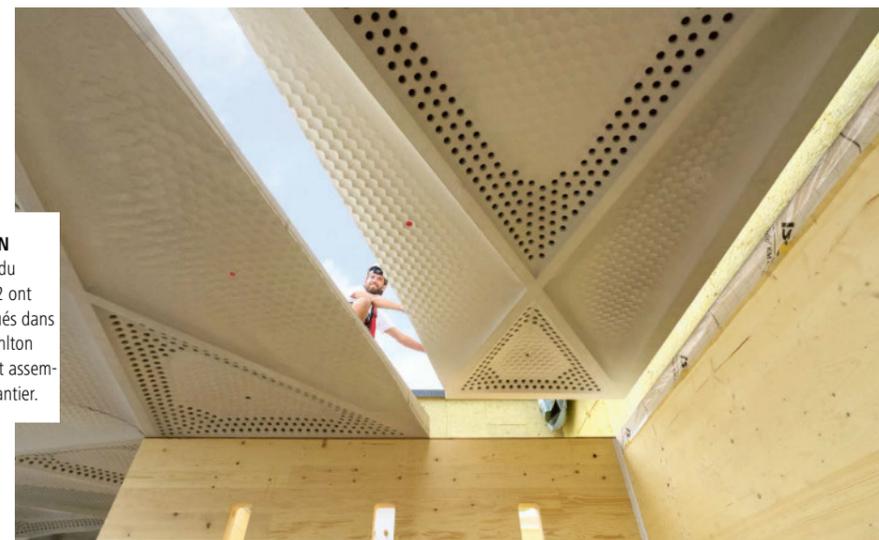
Début novembre, le « Dynamic Imaging Center » (DIC) a été inauguré au sitem-insel, centre de compétence national pour la médecine translationnelle et l'entrepreneuriat. Il est le premier laboratoire sur mesure de ce type en Europe à fonctionner dans un environnement clinique. Des radiographies d'une personne en mouvement peuvent y être réalisées simultanément dans deux directions différentes. C'est unique en Europe et constitue une étape importante dans l'étude des maladies de l'appareil locomoteur. Le centre est le fruit d'une collaboration entre sitem-insel, l'Inselspital, l'Hôpital universitaire de Berne, et l'Empa.

[sitem-insel.ch](http://sitem-insel.ch)

Photos: Adobe Stock; sitem

Photos: iROK, Empa, Marion Nitsch

## STEP2 : DÉBUT DE LA CONSTRUCTION DE LA NOUVELLE UNITÉ NEST



**INNOVATION**  
Les éléments du plafond STEP2 ont été préfabriqués dans l'usine de Stahlton Bauteile AG et assemblés sur le chantier.

Le bâtiment de recherche et d'innovation NEST est à nouveau en construction. La nouvelle unité s'appelle STEP2. Dans le cadre de ce projet, des partenaires issus de différentes disciplines ont développé pendant trois ans des innovations à fort potentiel commercial, qui sont désormais utilisées pour la première fois dans un projet de construction réel. Parmi eux, un plafond à nervures en filigrane d'un nouveau genre, un escalier en béton fabriqué numériquement ou un système de façade innovant. STEP2 devrait être achevée au printemps prochain.

[www.empa.ch/web/s604/step2-baustart](http://www.empa.ch/web/s604/step2-baustart)

## « BRIGHT MINDS » : DES ÉMISSIONS À L'INNOVATION

À l'avenir, le CO<sub>2</sub> excédentaire produit par l'homme devrait être capté dans l'atmosphère et transformé en matériaux de valeur tels que les matériaux de construction ou les polymères. Tel est l'objectif du nouveau projet de recherche de l'Empa « Mining the Atmosphere ». Une édition spéciale de « Bright Minds: Bold Ideas. Smart Materials. » est consacrée à cette vision – de la capture du CO<sub>2</sub> à la transformation du carbone en matériaux innovants. Cette édition spéciale débute avec Nathalie Casas, directrice du département Énergie, mobilité et environnement, et Peter Richner, directeur du département Sciences de l'ingénieur. Dans le premier épisode, ils nous éclairent sur le potentiel de cette vision prometteuse ainsi que sur les obstacles et les défis à relever.

[www.empa.ch/bright-minds](http://www.empa.ch/bright-minds)

**ÉDITION SPÉCIALE**  
« Mining the Atmosphere »



**Bright Minds**  
Bold Ideas – Smart Materials



**VULNÉRABLE**

Les bébés nés prématurément et qui passent leurs premiers jours de vie aux soins intensifs ont une peau sensible. Des chercheurs de l'Empa ont donc développé un matelas qui prévient les lésions cutanées.

actuels auxquels participe l'Empa font avancer les solutions correspondantes : un matelas compensateur de pression pour les nouveau-nés en soins intensifs et un système de capteurs textiles pour les personnes parapalégiques et alitées sont en cours de développement.

**UN LIT OPTIMAL AU DÉBUT DE LA VIE**

Les exigences de la peau sont totalement différentes selon l'âge : chez les adultes, le frottement de la peau sur la surface de couchage, les forces de cisaillement physiques dans les tissus et le manque de respirabilité des textiles sont les facteurs de risque les plus importants. En revanche, la peau des nouveau-nés soumis à des soins intensifs est en soi extrêmement sensible, toute perte de liquide et de chaleur par la peau peut devenir un problème. « Pendant que ces bébés particulièrement vulnérables sont soignés, la situation de couchage ne devrait pas provoquer de complications supplémentaires », explique Simon Annaheim, chercheur à l'Empa. Il ne croit pas que les matelas traditionnels puissent être la solution pour des nouveau-nés de poids et de pathologies très différents. L'équipe de Simon Annaheim, en collaboration avec des chercheurs de l'ETH Zurich, de la Haute école zurichoise des sciences appliquées (ZHAW) et de l'Hôpital pédiatrique universitaire de Zurich, cherche donc une surface de couchage optimale pour la peau délicate des enfants. Ce matelas devrait être réglable de manière aussi individuelle que possible afin d'aider les enfants à prendre un départ difficile dans la vie.

Pour ce faire, les chercheurs ont d'abord déterminé les conditions de pression au niveau des différentes parties du corps des nouveau-nés. « Nos capteurs de pression ont montré que la tête, les épaules et le bas de la colonne vertébrale sont les zones les plus exposées aux points de pression », explique Simon ▶

# PROTÉGER LA PEAU DÉLICATE

Les lésions cutanées dues à une pression prolongée sont fréquentes chez les personnes qui ne peuvent pas changer elles-mêmes de position – par exemple les nouveau-nés malades à l'hôpital ou les personnes âgées. Grâce à des partenariats fructueux avec l'industrie et la recherche, les chercheurs de l'Empa ont mis au point deux solutions intelligentes pour les escarres.

Texte : Andrea Six

Si une pression trop importante est exercée sur notre peau pendant une période prolongée, elle s'abîme. Les personnes en fauteuil roulant, les nouveau-nés en soins intensifs et les personnes âgées font partie des groupes de population exposés à un risque élevé de blessures dues à la pression. Les conséquences sont des plaies, des infections et des douleurs.

Le traitement est complexe et coûteux : chaque année, les coûts de santé s'élèvent à environ 300 millions de francs suisses. « En outre, des maladies existantes peuvent être aggravées par de telles blessures dues à la pression », explique Simon Annaheim, chercheur à l'Empa au laboratoire « Biomimetic Membranes and Textiles » de Saint-Gall. Selon Simon Annaheim, il serait plus durable de prévenir les lésions tissulaires afin d'éviter qu'elles ne se produisent. Deux projets de recherche

Photo : Universitäts-Kinderspital Zürich

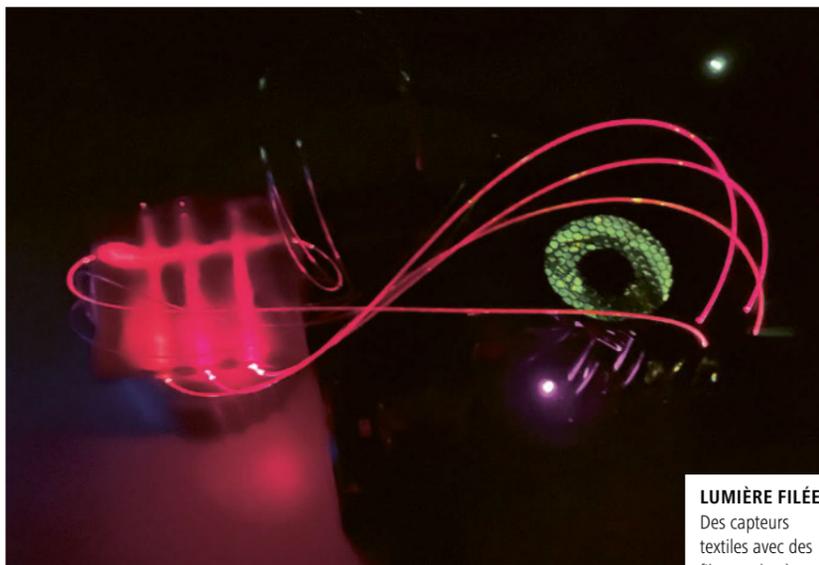
Annaheim. Ces résultats ont été pris en compte dans le développement d'un matelas rempli d'air d'un genre particulier : Ses trois chambres peuvent être remplies avec précision par une pompe électronique à l'aide de capteurs de pression et d'un microprocesseur, de manière à minimiser la pression à chaque endroit. Un procédé laser infrarouge développé à l'Empa a permis de fabriquer le matelas à partir d'une membrane polymère flexible, multicouche et douce pour la peau, sans bords gênants.

Après un processus de développement en plusieurs étapes en laboratoire, les premiers petits patients ont pu s'allonger sur le prototype du matelas. L'effet s'est immédiatement fait sentir lorsque les chercheurs ont rempli le matelas d'air à des degrés divers en fonction des besoins individuels des bébés : Par rapport à un matelas en mousse classique, le prototype a réduit jusqu'à 40 % la pression exercée sur les parties vulnérables du corps.

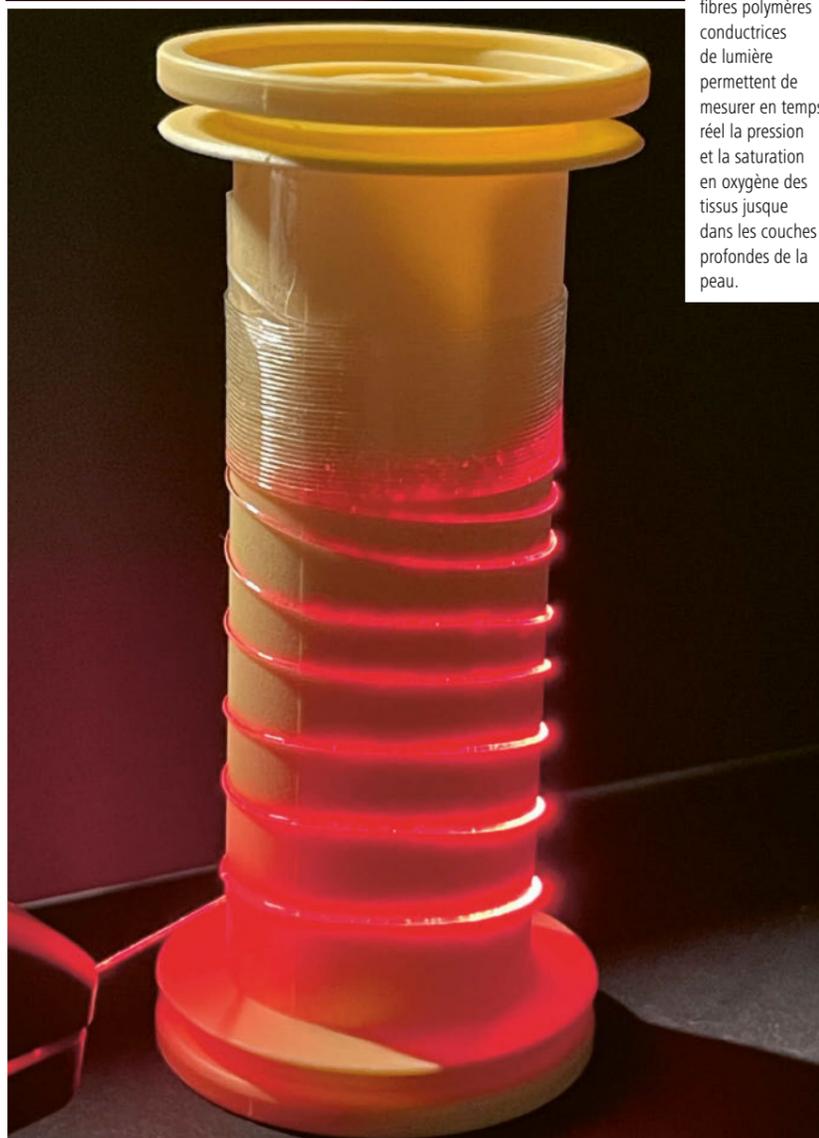
Après cette étude pilote réussie, le prototype va maintenant être optimisé dans les laboratoires de l'Empa. Prochainement, Simon Annaheim et le doctorant Tino Jucker lanceront une étude à plus grande échelle sur le nouveau matelas avec le service de médecine intensive et de néonatalogie de l'hôpital pédiatrique de Zurich.

#### DES CAPTEURS INTELLIGENTS

Dans un autre projet, des chercheurs de l'Empa travaillent à la prévention des lésions tissulaires dites de décubitus chez les adultes. Pour ce faire, les facteurs de risque que sont la pression et les troubles de la circulation sanguine sont transformés en signaux d'alarme utiles. Si l'on reste longtemps dans la même position, la pression et les troubles de la circulation sanguine entraînent un manque d'approvisionnement en oxygène des



**LUMIÈRE FILÉE**  
Des capteurs textiles avec des fibres polymères conductrices de lumière permettent de mesurer en temps réel la pression et la saturation en oxygène des tissus jusque dans les couches profondes de la peau.



#### « PROTEX » : UNE ÉQUIPE INTER-INSTITUTIONNELLE GAGNANTE

Avec l'offre d'encouragement BRIDGE, le Fonds national suisse (FNS) et l'Agence suisse pour la promotion de l'innovation Innosuisse soutiennent des projets qui convainquent par leur excellence scientifique, une stratégie de mise en œuvre claire et un potentiel économique et social. L'équipe composée de Luciano Boesel (Empa), Guido Piai (OST) et Ursula Wolf (Université de Berne) a su convaincre et « ProTex » a été soutenu dans le cadre de « BRIDGE Discovery ». « Ensemble, nous avons l'expertise nécessaire dans les domaines des matériaux, de l'optique, de l'électronique, de la médecine et de la technique », explique Luciano Boesel, chercheur à l'Empa, pour décrire la collaboration fructueuse au sein de l'équipe interdisciplinaire.

tissus. Alors que le manque d'oxygène déclenche un réflexe de mouvement chez les personnes en bonne santé, cette boucle de rétroaction neurologique peut être perturbée chez les personnes paraplégiques ou les patients dans le coma, par exemple. Dans ce cas, des capteurs intelligents peuvent aider à avertir à temps du risque de lésion tissulaire.

Dans le cadre du projet « ProTex », une équipe de chercheurs de l'Empa, de l'Université de Berne, de la Haute école spécialisée OST et de Bischoff Textil AG à Saint-Gall a mis au point un système de capteurs composé de textiles intelligents avec analyse des données correspondantes en temps réel. « Les capteurs textiles bien tolérés par la peau contiennent deux fibres polymères fonctionnelles différentes », explique Luciano Boesel, chercheur à l'Empa au laboratoire « Biomimetic Membranes and Textiles » de Saint-Gall. Outre les fibres sensibles à la pression, les chercheurs ont intégré des fibres polymères



**DÉVELOPPEMENT EN LABORATOIRE**  
Simon Annaheim, chercheur à l'Empa, travaille sur un matelas pour nouveau-nés.

conductrices de lumière (POF) qui servent à mesurer l'oxygène. « Dès que la teneur en oxygène de la peau diminue, le système de capteurs ultrasensibles signale un risque croissant de lésions tissulaires », explique Luciano Boesel. Les données sont ensuite transmises directement au patient ou au personnel soignant. Ainsi, une personne allongée peut être transférée à temps, avant que les tissus ne soient endommagés.

#### UNE TECHNOLOGIE BREVETÉE

La technologie sous-jacente comprend également un nouveau procédé de filage humide microfluidique développé à l'Empa pour la fabrication de POFs. Il permet un contrôle précis des composants polymères à l'échelle du micromètre et un traitement plus doux et plus écologique des fibres. Le procédé microfluidique est l'un des trois brevets issus à ce jour du projet « ProTex ».

Un autre produit est un capteur textile respirant qui se porte directement sur

la peau. La spin-off « Sensawear », créée à Berne en 2023 à partir du projet, fait actuellement avancer le lancement sur le marché. En outre, Luciano Boesel, chercheur à l'Empa, est convaincu que « les connaissances et les technologies issues de « ProTex » permettront à l'avenir d'autres applications dans le domaine des capteurs portables et des vêtements intelligents ».

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s401](http://www.empa.ch/web/s401)

**RANGEMENT**

« Mining the Atmosphere » consiste à éliminer l'excès de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

# LE GRAND NETTOYAGE

Si nous voulons atteindre nos objectifs climatiques, nous devons non seulement limiter les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi éliminer de l'atmosphère le CO<sub>2</sub> déjà émis. Peter Richner, directeur adjoint de l'Empa, explique comment créer un tout nouveau système économique à cet effet.

Texte : Peter Richner

Photo: Empa

croissance fulgurante a entraîné une surexploitation des ressources naturelles de notre planète. Les conséquences en sont la diminution de la biodiversité et le réchauffement climatique, deux phénomènes qui remettent en question à long terme notre base de vie actuelle.

Le réchauffement climatique – et donc une partie de la diminution de la biodiversité – est dû aux émissions de gaz à effet de serre provoquées par l'homme, principalement sous forme de CO<sub>2</sub> et de méthane. Avec l'accord de Paris de 2015, qui vise à limiter le réchauffement climatique, de nombreux Etats, dont la Suisse, se sont fixés pour objectif de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre à un niveau de zéro net d'ici 2050. Pour y parvenir, nous devons à la fois augmenter considérablement l'efficacité énergétique de nombreux processus de notre vie et remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables. Toutefois, certaines émissions seront difficiles à éviter, par exemple dans l'agriculture et dans d'autres secteurs; pour les compenser et parvenir à un bilan nul, il est indispensable de recourir à des « technologies à émissions négatives » qui permettent de réduire activement la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

**D**epuis le 19<sup>e</sup> siècle, l'énergie bon marché sous forme de charbon, de pétrole et de gaz naturel a été le catalyseur d'une poussée de développement comme jamais auparavant dans l'histoire de l'humanité en si peu de temps – et qui se poursuit encore aujourd'hui. La productivité a littéralement explosé, l'espérance de vie a augmenté de plusieurs décennies en Europe et, à l'échelle mondiale, le taux de pauvreté n'a jamais été aussi bas qu'aujourd'hui (même s'il est encore trop élevé dans de nombreuses régions du monde). Mais en même temps, cette

Une chose est sûre : Zéro net d'ici 2050 nécessite des efforts considérables, qui vont bien au-delà de ce que la Suisse ou d'autres pays ont décidé et mis en œuvre jusqu'à présent. De plus, le zéro net n'est qu'une première étape; au cours de la seconde moitié de ce siècle, nous devons atteindre un bilan CO<sub>2</sub> négatif de l'ordre de 10 à 20 milliards de tonnes par an! La raison en est la longévité du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Alors que le méthane, un gaz à effet de serre beaucoup plus puissant, se décompose entièrement en quelques décennies, le CO<sub>2</sub> émis une fois n'est

éliminé naturellement de l'atmosphère qu'au bout de plusieurs siècles. Par conséquent, le réchauffement climatique ne s'arrêtera pas ou ne diminuera pas « du jour au lendemain », même en cas de zéro net. Mais si nous laissons les températures à un niveau nettement plus élevé, des modifications irréversibles du système climatique de la Terre pourraient se produire, avec des conséquences difficilement prévisibles, comme la fonte de la calotte glaciaire du Groenland, qui entraînerait à elle seule une élévation du niveau de la mer de près de sept mètres.

Mais même si notre secteur énergétique parvient à s'affranchir du charbon, du pétrole et du gaz, un autre défi reste à relever : le pétrole et consorts servent de matières premières pour les matériaux carbonés les plus divers, du kérosène au bitume utilisé pour l'asphaltage de nos routes, en passant par les polymères et les médicaments. Fabriquer tous ces matériaux à partir de la biomasse n'est guère possible d'un point de vue technique et dépasserait de loin l'offre de biomasse disponible de manière durable. En d'autres termes : Nous avons besoin d'une nouvelle source de carbone.

La réponse à ce double défi est « Mining the Atmosphere ». L'idée est de retirer de l'atmosphère le CO<sub>2</sub> excédentaire produit par l'homme et de l'utiliser comme matière première pour des matériaux contenant du carbone. Nous utilisons ensuite ces derniers le plus longtemps possible dans des circuits fermés avant qu'ils n'atterrissent dans des puits finaux. Nous garantissons ainsi la fixation du carbone pendant plus de 1000 ans. Le développement de matériaux et de processus nécessaires à cet effet favorise ainsi en fin de compte le passage d'une société émettrice de CO<sub>2</sub> à une société fixatrice de CO<sub>2</sub>.

L'initiative de recherche de l'Empa « Mining the Atmosphere » est – conformément au thème de recherche – conçue à long terme et comprend différents « piliers » : l'extraction du CO<sub>2</sub>, sa transformation, les applications des nouveaux matériaux dans les domaines les plus divers et des considérations systémiques telles que les analyses de cycle de vie. Quelles que soient les solutions que nous développerons à l'avenir, nous ne devons jamais perdre de vue une chose : le respect des limites de la planète.

Un élément clé est l'utilisation exclusive d'énergie renouvelable dans tous les domaines ou la question de savoir si celle-ci

Air Capture » (DAC), par des procédés électrolytiques à partir des océans, qui absorbent environ un tiers du CO<sub>2</sub> anthropogène, et de la biomasse. Le CO<sub>2</sub> de l'air et des océans peut ensuite être directement stocké dans des formations géologiques appropriées (« Carbon Capture and Storage », CCS). Avec « Mining the Atmosphere », nous poursuivons toutefois une voie alternative dans laquelle le CO<sub>2</sub> est transformé en hydrocarbures à chaîne courte ou longue au moyen d'hydrogène et peut ainsi remplacer les matières premières fossiles utilisées jusqu'à présent. Parallèlement, les chaînes logistiques existantes peuvent être réutilisées, car il s'agit des mêmes composés du point de vue chimique. Les éléments

à base de CO<sub>2</sub> : des produits de masse ayant le potentiel de fixer des milliards de tonnes de carbone et des produits à forte valeur ajoutée qui contribuent ainsi de manière déterminante au financement du projet. Les matériaux de construction représentent de loin la plus grande part des flux de matériaux mondiaux. Les agrégats à base de carbone pour le béton et l'asphalte ainsi que les matériaux d'isolation thermique sont donc actuellement au cœur de nos recherches. Le charbon peut être obtenu soit par pyrolyse de la biomasse, soit à partir de méthane synthétique, qui fournit en outre de l'hydrogène pour des applications énergétiques.

Avec « Mining the Atmosphere », nous voulons montrer une voie praticable pour éviter des changements climatiques aux risques incalculables. Mais pour atteindre notre objectif sur cette voie, nous devons d'abord réduire rapidement et massivement nos émissions de gaz à effet de serre et accélérer considérablement le développement des énergies renouvelables. Avec « Mining the Atmosphere », nous préparons déjà la prochaine étape – le grand nettoyage de notre atmosphère polluée par le CO<sub>2</sub>. ■

Plus d'informations : [www.empa.ch](http://www.empa.ch)



**OBJECTIFS ÉLEVÉS**  
Peter Richner est directeur adjoint de l'Empa et directeur du département « Engineering Sciences ».

est disponible en quantité suffisante. Nos réflexions partent du principe que ce sera le cas dans quelques décennies. Le potentiel existe sans aucun doute : Le soleil envoie environ 10'000 fois plus d'énergie à la Terre que ce dont nous avons besoin aujourd'hui. À cela s'ajoute le fait qu'environ 99 % de notre planète a une température supérieure à 1'000 degrés – pour ne citer que les deux principales sources d'énergie durables.

La « matière première atmosphérique » qu'est le CO<sub>2</sub> peut être extraite de trois sources : directement de l'air par « Direct

clés pour une mise en œuvre réussie de cette idée sont les processus catalytiques pour les diverses réactions de transformation chimique et, surtout, la gestion de l'énergie. Car le « paquet global » nécessite une grande quantité d'énergie. Nombre de ces processus ne se dérouleront donc guère en Suisse, mais plutôt là où l'énergie renouvelable est disponible en abondance, par exemple dans la ceinture solaire de la Terre.

Dans une première phase, nous nous concentrons sur deux « cas d'utilisation » pour l'application de matériaux

# L'OBJECTIF : LA SOCIÉTÉ FIXATRICE DE CO<sub>2</sub>



**COLLABORATION**  
Tanja Zimmermann, directrice de l'Empa, et Martin Ackermann, directeur de l'Eawag.

Photo: Empa

Photo: Marion Nitsch

Avec de nouvelles initiatives et des objectifs tout à fait ambitieux, Tanja Zimmermann et Martin Ackermann veulent apporter des réponses au changement climatique. Le directeur de l'Eawag et la directrice de l'Empa expliquent dans cette interview pourquoi celui-ci est en premier lieu une crise de l'eau, tout ce qui est nécessaire pour y faire face et tout ce que l'on peut fabriquer à partir du CO<sub>2</sub>.

Interview : Michael Hagmann

**Trouver des solutions à la crise climatique et utiliser l'atmosphère comme source de matières premières pour en extraire le CO<sub>2</sub> et en faire des matériaux précieux, voilà des objectifs ambitieux. Ne pas avoir peur de ne pas répondre aux attentes ?**

Martin Ackermann : Tout d'abord, une évaluation personnelle : nous ne sommes pas sur la bonne voie. Les objectifs pour une protection efficace du climat, comme le zéro net d'ici 2050, sont pour l'instant très éloignés, et il y a un grand retard à rattraper en matière d'adaptation au climat, nos capacités à réagir de manière appropriée à un climat changeant. Il y a donc encore beaucoup à faire. Et il vaut mieux s'y prendre tôt que tard.

Tanja Zimmermann : En effet, les problèmes sont urgents. Même si nous parvenons à un bilan net nul et à un tournant énergétique, il y aura toujours trop de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, avec les conséquences que cela implique, comme la fonte des glaciers et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes. Il est donc extrêmement important d'agir maintenant et d'apporter notre contribution. Et c'est justement chez nos jeunes chercheurs que je sens une grande motivation à travailler sur ces thèmes porteurs de sens. Donc, le respect de cette tâche – oui ; la peur de ne pas pouvoir proposer de solutions – non.

**Comment la recherche peut-elle contribuer concrètement à trouver des réponses à la crise climatique ?**

MA : Quand on parle de recherche sur le climat, on pense généralement à des mesures et à des modélisations, c'est-à-dire à la description du problème. C'est certes absolument essentiel, mais nous avons besoin de plus, à savoir de solutions. On peut distinguer en gros deux types de réaction à la crise climatique : D'une part, la protection du climat ou la mitigation, c'est-à-dire les technologies et les stratégies politiques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à éliminer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère – comme le prévoit justement « Mining the Atmosphere ». D'autre part, l'adaptation au climat ou l'adaptation, afin d'atténuer les effets néfastes du changement climatique sur les systèmes naturels et humains, par exemple la protection contre les phénomènes météorologiques extrêmes. Si l'on veut l'exprimer de manière précise : avec l'adaptation climatique, on se protège soi-même, on veille donc à son propre bien-être. La protection du climat est altruiste, elle a un effet global. Nous avons besoin des deux, pas de l'un ou l'autre.

**Et quel est le rôle de l'Eawag en tant qu'institut de recherche sur l'eau ?**

MA : Selon l'ONU, le changement climatique est avant tout une crise de l'eau. Il fait plus chaud, oui, mais cela modifie aussi et surtout la disponibilité de l'eau et le régime des précipitations. Les hivers deviennent plus humides, les étés plus chauds et plus secs. Et nous avons ainsi deux problèmes à la fois : en hiver, une quantité d'eau extrêmement importante peut arriver sous forme de fortes pluies et causer de gros dégâts ; en été, nous manquons d'eau à certains endroits. Nous devons donc limiter les dégâts causés par les précipitations extrêmes – tout en « sauvant » une partie de cette eau en été. C'est pourquoi nous avons défini le thème du climat comme l'un de nos thèmes prioritaires à l'Eawag – ce qu'il était moins explicitement auparavant.

TZ : C'est d'ailleurs l'inverse pour l'énergie durable – à l'avenir, avec le développement du photovoltaïque, nous aurons des excédents d'énergie en été, mais pas assez en hiver. Pour compenser cela, nous essayons de « matérialiser » l'énergie, c'est-à-dire de la transformer en vecteurs d'énergie chimique stockables, comme l'hydrogène ou le méthane avec le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

**Ce qui nous amène à « Mining the Atmosphere »...**

TZ : Exactement. Notre vision est de passer d'une société émettrice de CO<sub>2</sub> à une société fixatrice de CO<sub>2</sub> grâce au développement de matériaux et de technologies appropriés. Et c'est une nécessité, je le répète, car même après la transition énergétique, nous devons d'une manière ou d'une autre « nettoyer » l'atmosphère de la pollution au CO<sub>2</sub> que nous avons générée au cours des 200 dernières années, afin d'éviter une nouvelle hausse des températures.

**Quelles sont les questions concrètes auxquelles vous souhaitez apporter des réponses ?**

MA : Juste un exemple : Nous mettons en place un « laboratoire réel » à Berne, où nous travaillons avec les autorités, les habitants et des partenaires de recherche. L'objectif est d'adapter le quartier de manière à ce que la vie y soit encore agréable et sûre dans 15 ans – grâce à une « infrastructure bleue et verte », l'intégration de l'eau et de la végétation dans les quartiers : que l'on soit donc armé contre les événements météorologiques extrêmes tout en disposant de suffisamment d'eau et de fraîcheur en été.

TZ : À l'Empa, le développement de nouveaux matériaux à base de carbone et des technologies correspondantes ainsi que des approches systémiques sont au centre des préoccupations. En commençant par la fin, par exemple de nouveaux matériaux de construction avec une empreinte carbone négative, de nouvelles technologies de fabrication pour les produire à grande échelle – mais aussi d'autres matières

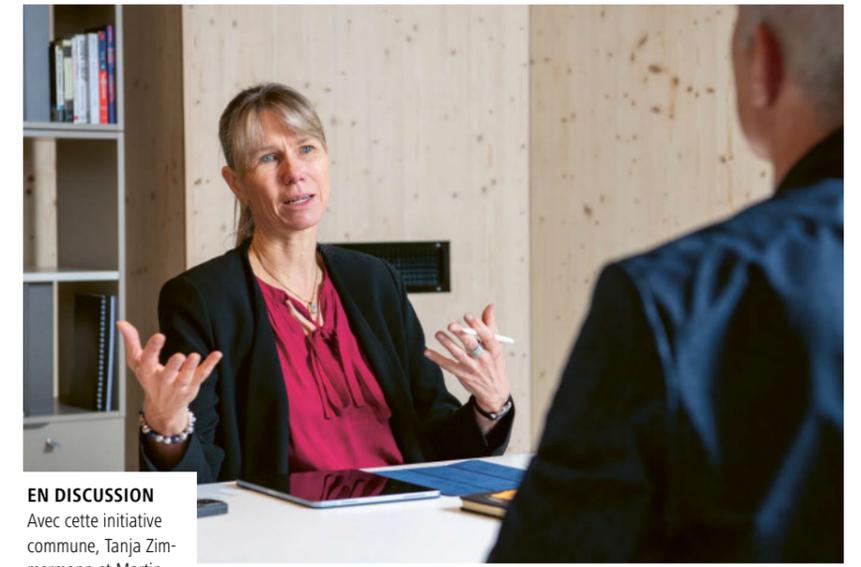
premières, par exemple pour l'industrie chimique –, des réacteurs de méthanisation et des catalyseurs efficaces pour la transformation du CO<sub>2</sub> et de l'hydrogène en méthane ainsi que de nouveaux concepts pour « aspirer » le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère avec la plus grande efficacité énergétique possible. Pour ce faire, nous considérons l'ensemble des matériaux et des processus tout au long de leur cycle de vie – qui se déroule autant que possible en cycles et non plus de manière linéaire.

**Pourquoi est-il important pour la Suisse de jouer un rôle de pionnier dans ce domaine ?**

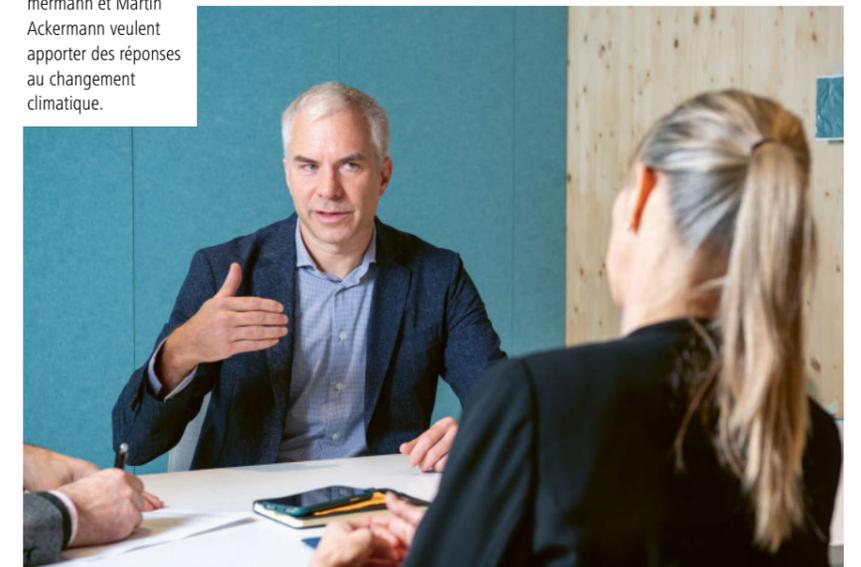
MA : Il y a deux aspects dans la protection du climat : le premier est la responsabilité. La Suisse, en tant que pays riche et innovant avec des émissions de CO<sub>2</sub> élevées, a une plus grande responsabilité qu'elle devrait assumer. Le second est économique : les innovations dans le domaine de la protection et de l'adaptation au climat ont un énorme potentiel, cela peut devenir un marché énorme pour l'industrie suisse. Dans le domaine de l'adaptation au climat, il faut ajouter à cela : tous les secteurs vont être modifiés par le changement climatique – l'agriculture, les montagnes, les habitations. Se préparer et se protéger contre les effets négatifs du changement climatique est donc dans l'intérêt direct de la Suisse.

TZ : En tant que pays d'innovation, la Suisse est toujours à la pointe au niveau international, surtout en raison des bonnes conditions-cadres qu'elle offre ici. Nous sommes donc parfaitement positionnés pour développer des technologies et des concepts dans le cadre des initiatives qui démarrent, puis pour les appliquer et les commercialiser au niveau international. La compétitivité de l'industrie suisse s'en trouvera renforcée. ■

Plus d'informations : [www.empa.ch](http://www.empa.ch)



**EN DISCUSSION**  
Avec cette initiative commune, Tanja Zimmermann et Martin Ackermann veulent apporter des réponses au changement climatique.



# CONSTRUIRE AVEC DU CO<sub>2</sub>

Des procédés chimiques sophistiqués peuvent fixer le dioxyde de carbone agissant sur le climat sous différentes formes – à long terme, en quantités considérables. Pour les utiliser, le secteur de la construction, avec son important flux de masse, est parfaitement adapté. Les chercheurs de l'Empa travaillent sur différents procédés qui suscitent des espoirs.

Texte : Rédaction

Pour capter le CO<sub>2</sub> et rendre ainsi le secteur de la construction plus respectueux du climat, des spécialistes du monde entier travaillent sur de nouveaux procédés – par exemple pour les cheminées des usines de l'industrie du ciment, qui émet de grandes quantités de ce gaz à effet de serre. Mais que faire de ce CO<sub>2</sub>? L'un des espoirs est le stockage souterrain à grande échelle dans des réservoirs de roches poreuses, qui peuvent stocker le gaz sur de longues périodes – sous forme liquéfiée.

D'autres possibilités sont offertes par l'économie circulaire, notamment dans le secteur de la construction, où les flux de masse sont importantes. Le CO<sub>2</sub> peut par exemple être lié aux matériaux de recyclage du béton à l'aide de ce que l'on appelle la carbonatation, afin de fabriquer de nouveaux bétons. D'autres procédés chimiques tels que la pyrolyse, un chauffage en l'absence quasi totale d'oxygène, du méthane en hydrogène – par exemple pour les processus industriels à haute température –

permettent finalement de séparer le carbone solide, qui peut alors être utilisé comme matériau négatif en termes de CO<sub>2</sub> dans le secteur de la construction.

## LE BÉTON POUR CAPTER LE CO<sub>2</sub> – DÈS L'USINE

Le béton est capable de fixer à nouveau, du moins partiellement, le gaz à effet de serre émis lors de la production du ciment. Ce processus s'appelle la « carbonatation » – une réaction lente qui dure des années et dont le rythme dépend de nombreux facteurs. Le projet « DemoUpCARMA », mené par l'ETH Zurich, a étudié comment ce processus pouvait être utilisé et surtout accéléré dans une usine de béton – dans une installation de l'entreprise Kästli Bau AG à Rubigen (BE) et avec des matériaux recyclés provenant de constructions en béton. Le dioxyde de carbone provenant d'une station d'épuration a été livré liquéfié et retransformé en gaz dans l'usine afin de « noyer » en continu les granulés recyclés grâce à un procédé mis au point par l'entreprise bernoise neustark AG.

Andreas Leemann et Frank Winnefeld, du département de recherche « Concrete & Asphalt » de l'Empa, ont étudié l'efficacité avec laquelle le granulats absorbe le CO<sub>2</sub>. Des échantillons ont montré des changements significatifs au microscope : Les plus petites particules présentaient à la surface des taches composées de parties sombres et claires, où la pâte de ciment d'origine s'était modifiée. Les analyses ont montré que les parties claires étaient du carbonate de calcium, tandis que les phases sombres étaient principalement constituées de silicate de calcium hydraté – en abrégé C-S-H –, le principal produit de l'hydratation du ciment qui confère sa résistance au béton. La carbonatation a retiré une partie du calcium de ce C-S-H : il est ainsi devenu plus pauvre en calcaire et a pu à son tour réagir avec les phases de ciment nouvellement formées dans le béton recyclé – avec pour conséquence une augmentation de sa résistance à la compression.

Des essais réalisés avec des types de béton fréquemment utilisés en Suisse ont confirmé ces conclusions. Ils montrent

que le procédé peut rendre les bétons plus respectueux du climat de deux manières. D'une part, en absorbant du CO<sub>2</sub> pour « soulager » l'atmosphère : avec les nouveaux matériaux de construction, cela atteint jusqu'à 10 % des émissions qui étaient libérées dans l'atmosphère lors de la fabrication du ciment pour le béton d'origine. Deuxièmement, avec la possibilité de réduire la teneur en ciment dans les bétons recyclés – de 5 à 7 % – grâce à la résistance accrue. Au final, les experts de l'Empa estiment que le potentiel de réduction de CO<sub>2</sub> est d'environ 15 %.

On ne sait pas encore dans quelle mesure ces résultats peuvent être mis en pratique – notamment en raison de la question de savoir dans quelle mesure le procédé peut être mis en œuvre dans les centrales à béton et avec quels moyens techniques et financiers.

## CHARBON VÉGÉTAL POUR BÉTON

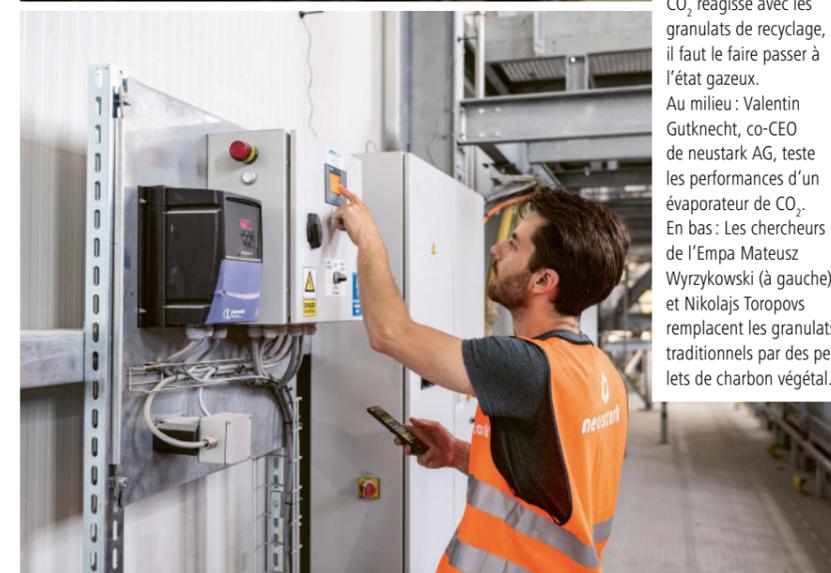
Une équipe du département « Concrete & Asphalt » de l'Empa développe un procédé permettant d'intégrer le charbon végétal dans le béton de manière pratique. Ce matériau est obtenu par un processus de carbonisation de matière biologique en l'absence d'air et se compose en très grande partie de carbone pur que les plantes ont « prélevé » dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> lors de leur croissance.

Il existe certes déjà sur le marché des produits en béton contenant du charbon végétal – mais le charbon est souvent incorporé au béton sans traitement, ce qui peut poser des problèmes. « Le charbon végétal est très poreux et absorbe donc non seulement beaucoup d'eau, mais aussi des adjuvants coûteux utilisés dans la fabrication du béton », explique Mateusz Wyrzykowski, chercheur à l'Empa.



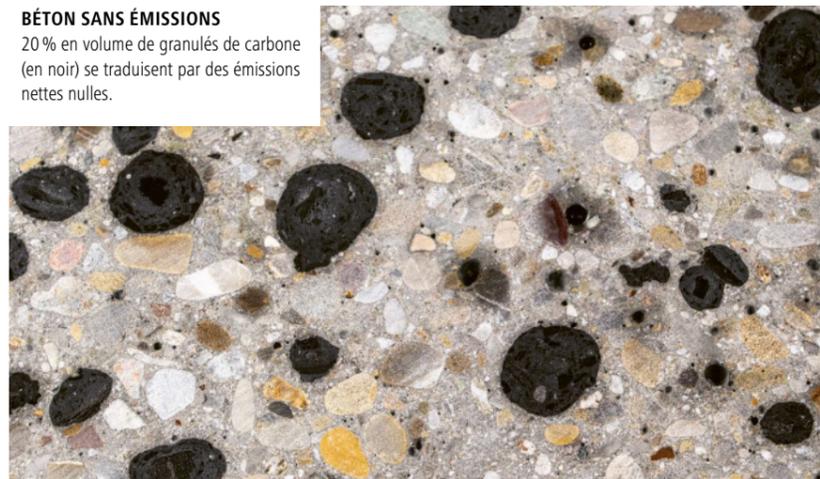
### CONSTRUIRE AVEC CO<sub>2</sub>

En haut : Pour que le CO<sub>2</sub> réagisse avec les granulats de recyclage, il faut le faire passer à l'état gazeux. Au milieu : Valentin Gutknecht, co-CEO de neustark AG, teste les performances d'un évaporateur de CO<sub>2</sub>. En bas : Les chercheurs de l'Empa Mateusz Wyrzykowski (à gauche) et Nikolajs Toropovs remplacent les granulats traditionnels par des pellets de charbon végétal.



**BÉTON SANS ÉMISSIONS**

20% en volume de granulés de carbone (en noir) se traduisent par des émissions nettes nulles.



C'est pourquoi les spécialistes proposent de le transformer en granulés. Pour les fabriquer, ils ont utilisé un mélangeur rotatif, y ont mélangé le charbon végétal avec de l'eau et un liant et ont ainsi obtenu des billes d'un diamètre compris entre 4 et 32 millimètres. Ils ont utilisé ces boulettes pour fabriquer du béton normal des classes de résistance C20/25 à C30/37, qui sont aujourd'hui les plus répandues dans le bâtiment et le génie civil.

Le bilan climatique : selon Mateusz Wyrzykowski, des émissions nettes nulles ont été atteintes avec une proportion de 20% en volume de billes de carbone dans le béton – la quantité de carbone stockée compense donc toutes les émissions générées par la production des billes ainsi que du béton. Dans le cas d'un béton léger d'une densité d'environ 1800 kg/m<sup>3</sup>, le potentiel est encore plus évident : une proportion de 45% en volume de billes entraîne même des émissions négatives de moins 290 kg de CO<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>.

À long terme, le chef de département de l'Empa, Pietro Lura, ne voit pas seulement le charbon végétal comme source de carbone, mais attire l'attention sur un concept que plusieurs départements de l'Empa poursuivent : la production de gaz

méthane synthétique à l'aide d'énergie solaire, d'eau et de CO<sub>2</sub> atmosphérique dans les régions ensoleillées du globe, suivie d'une pyrolyse du gaz (voir l'infographie à la page 21). « On obtient ainsi de l'hydrogène que l'on peut utiliser dans l'industrie ou la mobilité, et en plus du carbone solide que nous pouvons – comme le charbon végétal – incorporer dans le béton », explique Pietro Lura.

**MATÉRIAUX ISOLANTS AU CHARBON VÉGÉTAL**

Le charbon végétal est également à l'ordre du jour du « Building Energy Materials and Components Lab » de l'Empa. Une équipe dirigée par Jannis Wernery développe un nouveau type de matériau isolant à partir de matières premières végétales ou de déchets, qui fixe durablement le CO<sub>2</sub> qu'il contient et fait ainsi office de puits de carbone. Une idée prometteuse, surtout si l'on considère l'importance des matériaux isolants dans la tâche consistant à rendre de nombreux bâtiments plus efficaces sur le plan énergétique et donc plus respectueux du climat.

La plus grande partie du carbone que les plantes ont fixé sous forme de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère pendant leur croissance peut être fixée durablement par pyrolyse. Le « charbon végétal » ainsi obtenu serait

alors fixé dans l'isolation pendant toute la durée de vie du bâtiment. Mais surtout, après la démolition, il pourrait être introduit dans les champs, où il rendrait le sol plus fertile tout en restant stable pendant des siècles – contrairement à d'autres matériaux de construction végétaux, comme l'isolation en cellulose, qui libèrent le dioxyde de carbone stocké lors de la décomposition.

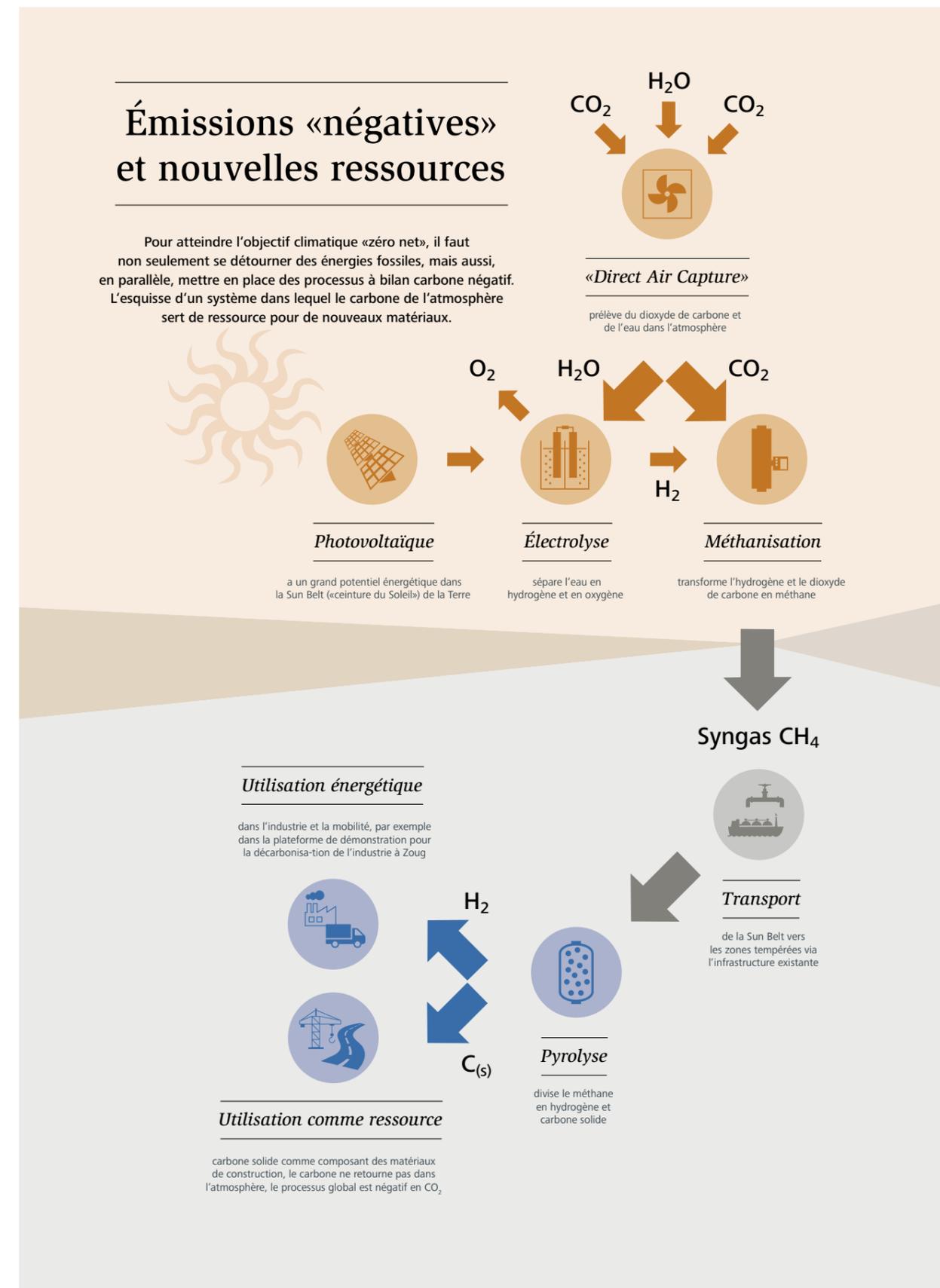
Des détails doivent encore être réglés avant que le produit ne soit prêt à être utilisé. Il faut par exemple s'assurer que tous les composants des matériaux d'isolation conviennent à une utilisation ultérieure comme « engrais ». De plus, un produit commercialisable devrait être compétitif en matière d'isolation thermique et garantir une protection suffisante contre les incendies. Selon le chercheur Jannis Wernery de l'Empa, des études préliminaires ont toutefois montré que ces objectifs étaient réalisables.

À long terme, l'isolation au charbon végétal pourrait améliorer sensiblement le bilan CO<sub>2</sub> de la Suisse. Selon les modèles de calcul des spécialistes, un remplacement partiel réaliste des matériaux isolants conventionnels par du charbon végétal permettrait d'économiser environ un demi-million de tonnes d'équivalents CO<sub>2</sub> par an – d'une part grâce à la réduction des émissions lors de la production, d'autre part grâce au stockage à long terme du CO<sub>2</sub>. Cela correspondrait tout de même à un pour-cent de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre en Suisse. Un projet avec du potentiel qui a également convaincu les institutions de soutien financier : la Fondation Minerva, le Conseil des EPF et l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) soutiennent le projet, tout comme le fonds climatique des services industriels de Winterthur. ■

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s308](http://www.empa.ch/web/s308) / [www.empa.ch/web/s312](http://www.empa.ch/web/s312)

Photo: Empa

Graphique: Empa



# CONSÉQUENT INTRÉPIDE

Nathalie Casas dirige depuis octobre 2023 le département de recherche « Énergie, mobilité et environnement » de l'Empa. Familière depuis l'enfance avec les sciences naturelles et la technique, elle croit que l'humanité peut sauver le climat de l'effondrement – mais qu'il faut pour cela plus que « seulement » de la technologie.

Texte: Anna Ettlin

En fait, Nathalie Casas n'avait pas du tout l'intention de faire un doctorat. Mais lorsqu'elle a obtenu son master en ingénierie chimique à l'EPF de Zurich en 2008, son directeur de thèse de l'époque lui a proposé un poste de doctorante, qu'elle a accepté sans hésiter. « C'était justement tellement excitant », se souvient-elle. Cette curiosité et le courage de jeter parfois les plans par-dessus bord marqueront sa carrière. « Je n'ai jamais eu une idée fixe de ce que devait être mon parcours. J'ai simplement toujours fait ce qui me semblait juste. »

Son dernier changement a également eu l'air juste : depuis octobre 2023, la quadragénaire dirige le département « Énergie, mobilité et environnement » de l'Empa. Le thème de sa thèse de doctorat, la capture du CO<sub>2</sub>, est le fil rouge de sa carrière, d'abord chez Sulzer Chemtech, puis dans la start-up suisse Climeworks.

De nouveaux éléments viennent maintenant s'y ajouter, ce qui réjouit particulièrement Nathalie Casas. « Nous avons un très large éventail de recherches au sein du département, de la mobilité aux batteries en passant par l'analytique et les bilans environnementaux », explique-t-elle. La capture du CO<sub>2</sub> en fait – bien sûr – également partie, mais cela ne s'arrête pas là : les chercheurs de l'Empa étudient également la manière dont le CO<sub>2</sub> capturé

peut être transformé pour produire des matériaux et des matières précieuses. Nathalie Casas : « C'est incroyable tout ce que fait l'Empa. J'apprends tous les jours quelque chose de nouveau. »

## DES OBJECTIFS ET DES HASARDS

L'amour des sciences naturelles est pour ainsi dire né dans le berceau de Nathalie Casas. Sa mère est microbiologiste et son père ingénieur en mécanique. Pendant que le père était en voyage d'affaires, la mère emmenait la fillette au laboratoire le week-end. « J'avais le droit de compter les bactéries sous le microscope et je me sentais terriblement importante », dit Nathalie Casas en riant. « Mais entre-temps, je soupçonne que ma mère n'a inventé cette tâche que pour m'occuper. »

Lorsqu'elle a terminé le gymnase, Nathalie Casas savait qu'elle étudierait à l'EPF de Zurich, soit la chimie, soit la science des matériaux. Il lui était difficile de se fixer sur une filière, elle a donc laissé le hasard décider. « Pour les sciences des matériaux, j'aurais d'abord dû faire un stage », se souvient-elle. « Je me suis fixé une date limite et j'ai dit : si j'ai une place de stage d'ici là, j'étudierai les sciences des matériaux. » L'acceptation du stage est arrivée trois jours trop tard : Nathalie Casas a donc étudié la chimie et l'ingénierie chimique.

Nathalie Casas ne regrette pas que le hasard en ait décidé ainsi – il l'a finale-

## NATHALIE CASAS

**CARRIÈRE :** Nathalie Casas a étudié l'ingénierie chimique à l'EPF de Zurich, où elle a obtenu un master en 2008, suivi d'un doctorat. Elle a ensuite occupé un poste de « Application Manager » chez Sulzer Chemtech, où elle a géré une grande partie des projets de capture du CO<sub>2</sub>. En 2017, Nathalie Casas a rejoint Climeworks, une spin-off de l'ETH Zurich, où elle a d'abord travaillé comme « Head Development & Engineering », puis comme « Head of Technology », avant de rejoindre l'Empa en octobre 2023.

ment ramenée à la science des matériaux, simplement en tant que manager et non plus en tant que chercheuse. Même si elle aimait travailler en laboratoire pendant son doctorat, la nouvelle directrice du département aime encore plus travailler avec des personnes. C'est d'ailleurs ce qu'elle apprécie particulièrement à l'Empa. « Les gens ici sont très fortement motivés intrinsèquement », dit-elle, « ils sont passionnés par leurs sujets et par la science, et ils veulent ainsi faire bouger les choses. »

## ENSEMBLE, ON OBTIENT PLUS

Les chercheurs du département de Nathalie Casas peuvent faire bouger les choses. En effet, l'énergie, la mobilité et l'environnement sont des thèmes brûlants qui préoccupent non seulement



Photo: Marion Nitsch

### DÉCIDÉE

Au cours de sa carrière, Nathalie Casas a toujours fait ce qui lui semblait juste.

l'Empa et la Suisse, mais aussi le monde entier. Car les objectifs climatiques ne pourront être atteints qu'au prix de grands changements sociaux – et les changements sont parfois douloureux, Nathalie Casas le sait bien. « De nombreuses solutions climatiquement neutres ne sont pas pires que les technologies et les habitudes que nous avons aujourd'hui. C'est le changement lui-même qui nous met au défi », dit-elle.

Ce défi, l'Empa est prêt à le relever, estime la directrice du département. « Nous avons un très grand savoir-faire qui nous permet de soutenir la société et l'industrie dans ce changement », explique Nathalie Casas. Elle cite par exemple l'initiative « Mining the Atmosphere », qui met en réseau les groupes et les approches de recherche les plus divers et rassemble ainsi les forces

de l'Empa pour obtenir le plus grand impact possible. « Notre avantage à l'Empa, c'est que nous pouvons aussi faire un premier pas hors du laboratoire. Avec nos plates-formes de démonstration move, ehub et NEST, nous pouvons montrer à la société et à la politique : la technologie est là – et elle fonctionne dans la pratique », sait Nathalie Casas.

Les technologies telles que le captage du CO<sub>2</sub> vont-elles donc tout arranger? Nathalie Casas répond résolument par la négative. « Nettoyer coûte toujours plus cher que de ne pas provoquer d'émissions du tout », explique-t-elle. La technologie est certes essentielle pour compenser les émissions résiduelles inévitables, mais le procédé coûteux n'est pas une solution pour éliminer à grande échelle les gaz d'échappement des voitures et autres.

Depuis que Nathalie Casas s'est penchée pour la première fois sur ce sujet en 2008 dans le cadre de sa thèse de doctorat, le domaine s'est considérablement développé. Parallèlement, l'urgence a également augmenté. Malgré tout, elle reste optimiste. « Ma génération est la première à ressentir les effets du changement climatique – mais aussi à pouvoir encore y remédier », déclare Nathalie Casas. « La génération de nos parents était à peine consciente des dégâts. Et nos enfants auront beaucoup plus à faire face aux conséquences. Nous ressentons les conséquences, mais nous pouvons encore en prévenir une grande partie – même si cela ne sera pas facile. » ■

Plus d'informations :  
[www.empa.ch/web/empa/mobility-energy-environment](http://www.empa.ch/web/empa/mobility-energy-environment)



**PLUS QUE TECHNOLOGIE**  
Nathalie Casas croit que nous pouvons résoudre nos problèmes, mais pas uniquement avec la technologie.

# ATTRAPE-CO<sub>2</sub> DANS LE NEST

Les bâtiments qui ont un effet positif sur le climat seront-ils bientôt une réalité? Pour atteindre l'objectif ambitieux de zéro émission nette d'ici 2050, un changement de mentalité est nécessaire dans de nombreux domaines, en particulier dans le secteur de la construction. En effet, les bâtiments pourraient bientôt servir de puits de carbone et contribuer ainsi à ce que la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère cesse d'augmenter, voire diminue dans le meilleur des cas. Dans le NEST, le bâtiment d'innovation de l'Empa et de l'Eawag, une nouvelle unité doit donc intégrer dans un environnement réel des innovations à faibles émissions de CO<sub>2</sub> et même négatives en CO<sub>2</sub>, issues des laboratoires de l'Empa.

Texte : Annina Schneider

En Suisse, le secteur de la construction est responsable d'environ 28% des émissions de CO<sub>2</sub>, ce qui lui confère un rôle clé dans l'objectif ambitieux de ne plus rejeter de gaz à effet de serre dans l'atmosphère d'ici 2050. Outre une construction et une exploitation des bâtiments à faibles émissions, il existe une autre solution prometteuse : à l'avenir, le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère doit être fixé dans les matériaux de construction et donc stocké à long terme dans les bâtiments. C'est l'objectif de la vaste initiative de recherche de l'Empa « Mining the Atmosphere ». Avec une nouvelle unité appelée « Beyond Zero », le NEST doit maintenant montrer d'ici 2026 comment un bâtiment servant de puit à long terme pour le CO<sub>2</sub> peut être construit et exploité.

## LE ZÉRO NET N'EST QU'UNE ÉTAPE

Des technologies prometteuses existent déjà sur le marché, avec des constructions en béton à faibles émissions ou des matériaux d'isolation à « teneur en carbone négative ». « Dans le NEST, nous voulons maintenant aller plus loin et ne considérer le zéro net que comme un objectif intermédiaire. Notre vision est d'utiliser à l'avenir les bâtiments comme des puits de carbone – ils doivent donc présenter un bilan carbone négatif au

bout du compte », explique Reto Largo, directeur de NEST. « Dans ce contexte, nous voyons justement un énorme potentiel dans les nouvelles technologies pour les matériaux de construction minéraux comme le béton, car ceux-ci font partie des matériaux de construction les plus utilisés, »

## FAIRE PROGRESSER LES TECHNOLOGIES ET LES METTRE EN ŒUVRE

Pour développer de nouveaux matériaux de construction neutres en CO<sub>2</sub>, les mettre en œuvre et les évaluer en termes d'émissions, différentes compétences doivent être réunies. Outre le soutien de divers laboratoires de l'Empa sous la direction de Mateusz Wyrzykowski, chef du groupe Technologie du béton, l'équipe NEST est également soutenue dans ce projet de construction par le bureau d'architecture OOS. Andreas Derrer, partenaire fondateur d'OOS, est catégorique : « Pour pouvoir inaugurer cette nou-



**CONCRÉTISER LES VISIONS**  
L'équipe de planification devant le futur site de la nouvelle unité.

velle ère de l'industrie du bâtiment, il faut non seulement de nouveaux matériaux de construction minéraux, mais aussi et surtout des exemples réels qui permettent d'établir un bilan CO<sub>2</sub> global et d'analyser le potentiel réel. Avec cette nouvelle unité, nous voulons apporter des réponses à la question urgente de savoir si et comment les bâtiments peuvent contribuer à l'avenir à réduire la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. » ■

Plus d'informations :  
[www.empa.ch/web/empa/mobility-energy-environment](http://www.empa.ch/web/empa/mobility-energy-environment)

# LE COMPTE EST QUAND MÊME BON

Du désert à la halle industrielle suisse : selon l'idée à la base de la nouvelle initiative « Mining the Atmosphere », l'énergie est récoltée dans la « ceinture solaire » de la Terre, transformée plusieurs fois et transportée sur de longues distances là où elle est nécessaire. Le rendement global du processus s'en trouve certes réduit, mais un coup d'œil sur les bilans énergétiques et de gaz à effet de serre de la pyrolyse du méthane synthétique montre que cela ne pose pas de problème.

Texte : Stephan Kälin

L'industrie est, à côté du parc immobilier et de la mobilité, le troisième plus gros consommateur d'énergie en Suisse. En particulier, les processus à haute température dans la métallurgie et l'industrie chimique, qui fonctionnent souvent au gaz naturel, entraînent une consommation d'énergie finale de ce secteur d'environ 22 térawattheures par an. En collaboration avec le Tech Cluster Zoug, le canton de Zoug et plus d'une douzaine d'autres partenaires, l'Empa s'est associé en 2022 à l'« Association pour la décarbonisation de l'industrie » (ApDI). Dans ce cadre, les



## CARBONE ISSU DU MÉTHANE

À l'Empa, on travaille sur un procédé de pyrolyse qui sera utilisé dans une installation de démonstration au Tech Cluster de Zoug.

chercheurs de l'Empa veulent contribuer à la décarbonisation de la chaleur industrielle à haute température. « Nous prenons la décarbonisation au pied de la lettre », explique Christian Bach, chef du laboratoire « Automotive Powertrain Technologies » de l'Empa. « Grâce à un procédé de pyrolyse, nous séparons le carbone du gaz naturel avant la combustion. » Ce qui reste, c'est l'hydrogène, avec lequel les processus industriels à haute température peuvent fonctionner, et le carbone séparé sous forme de poudre, qui doit être développé pour des applications dans la construction et l'agriculture (voir p. 18). Une installation de démonstration correspondante est en cours de conception et sera construite à Zoug au cours des deux prochaines années. L'hydrogène y sera utilisé dans le four d'émaillage de V-Zug AG.

Double rayonnement solaire Si l'on utilise du méthane synthétique à la place du gaz naturel, il est même possible de réaliser des émissions de gaz à effet de serre négatives sur l'ensemble du processus. En effet, pour la production de méthane synthétique, on prélève du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, qui n'est plus émis, mais disponible sous forme de carbone solide. « Il n'est toutefois pas réaliste de penser que nous pourrions couvrir les énormes besoins énergétiques de notre industrie par une production nationale d'hydrogène renouvelable ou de méthane synthétique », déclare Christian Bach. C'est pourquoi il se tourne vers les régions désertiques de la planète, là où le rayonnement solaire par mètre carré est deux fois plus élevé qu'en Suisse.

## OBJECTIF : CHALEUR À HAUTE TEMPÉRATURE AVEC DES ÉMISSIONS NÉGATIVES

La production de méthane synthétique dans le désert, son transport vers l'Europe et la pyrolyse qui s'ensuit sont toutefois des processus qui génèrent des pertes. En conséquence, les bilans éner-

gétiques et en termes de gaz à effet de serre de l'ensemble du processus doivent être examinés à la loupe. Christian Bach et son équipe ont analysé toute la chaîne d'approvisionnement avec des représentants de la ApDI et l'ont comparée à d'autres procédés. La valeur de comparaison est un mégawattheure (MWh) de chaleur à haute température pour l'industrie. Si l'on utilise du gaz naturel pour la fournir, comme c'était le cas jusqu'à présent, il faut 1,2 MWh d'énergie primaire et 288 kg de CO<sub>2</sub> (ou d'équivalents CO<sub>2</sub>) sont émis. L'énergie primaire comprend également l'énergie utilisée pour l'extraction du gaz – par exemple au Proche-Orient – et son transport, et tient compte des pertes dues à l'infiltration de méthane. Environ un cinquième des émissions est généré lors de la mise à disposition du gaz naturel, le reste lors de son utilisation.

Si le gaz naturel est décarbonisé par pyrolyse avant d'être utilisé à des fins énergétiques et que seul l'hydrogène ainsi produit est utilisé pour la production de chaleur à haute température, les émissions de CO<sub>2</sub> peuvent être réduites de 40 % à 178 kg. Dans le même temps, les besoins en énergie primaire augmentent en raison de la quantité de gaz naturel nécessaire et de l'électricité supplémentaire requise pour la pyrolyse. Dans ce scénario, 1 MWh de chaleur à haute température nécessite 2,6 MWh d'énergie primaire.

## PLUS D'ÉNERGIE, MOINS D'ÉMISSIONS

Si l'on utilise du méthane synthétique renouvelable à la place du gaz naturel fossile, les émissions de CO<sub>2</sub> deviennent effectivement négatives, mais la demande en énergie primaire continue d'augmenter. Le bilan repose sur l'hypothèse que le CO<sub>2</sub> nécessaire à la production de méthane synthétique est extrait directement de l'atmosphère au moyen d'une installation de « Di-

rect-Air-Capturing ». « Cela nécessite une grande quantité d'énergie », explique Christian Bach, ce qui explique pourquoi il imagine ce type d'installation surtout dans les régions désertiques. S'ajoute à cela le fait que la fabrication d'installations solaires et éoliennes est également liée à des émissions. Si l'on tient compte de tous ces facteurs, l'utilisation directe du méthane synthétique pour produire 1 MWh de chaleur à haute température nécessite 3,5 MWh d'énergie primaire et émet 126 kg de CO<sub>2</sub>. Mais si l'on sépare le carbone de l'hydrogène par pyrolyse et que l'on n'utilise que cette partie pour produire de l'énergie, le bilan des émissions devient négatif : l'ensemble du processus entraîne des émissions négatives de -77 kg de CO<sub>2</sub> – mais avec une consommation d'énergie primaire encore plus élevée de 6,2 MWh.

« Bien sûr, la dépense d'énergie primaire de ce concept est élevée – environ deux fois et demie à trois fois plus que la production d'hydrogène la plus efficace en Suisse », admet Christian Bach. « Mais comme il est possible de produire deux à deux fois et demie plus d'électricité par mètre carré de photovoltaïque dans les régions désertiques que chez nous, cette approche ne nécessite guère plus de surface photovoltaïque. » L'un des défis est le coût. Mais si l'on parvenait à commercialiser le carbone comme matière première pour des applications non énergétiques, l'ensemble du processus pourrait être tout à fait rentable, estime Christian Bach. ■

Plus d'informations : [www.empa.ch/de/web/s504](http://www.empa.ch/de/web/s504)

# DÉFAUTS RECHERCHÉS

Est-il possible de retransformer le CO<sub>2</sub> en carburant ou en d'autres produits chimiques utiles? Tout à fait, mais nous ne pouvons pas encore contrôler exactement les produits chimiques qui en résultent. Alessandro Senocrate, chercheur à l'Empa, cherche des défauts de matériaux qui pourraient nous aider à y parvenir.

Texte : Anna Ettlin



**EXPÉRIMENTAL**  
Dans ce système, les chercheurs testent différents catalyseurs et électrodes.

**P**eut-on facilement inverser la combustion du pétrole, du gaz naturel et du charbon? Avec une source d'énergie renouvelable, un peu d'eau et un catalyseur approprié, le CO<sub>2</sub> excédentaire de l'atmosphère terrestre pourrait devenir une ressource précieuse, par exemple pour la production de carburants synthétiques ou de «synfuels».

Cette idée prometteuse fait l'objet de recherches dans le monde entier, y compris à l'Empa, car sa mise en œuvre n'est pas simple. Si l'on prend par exemple un catalyseur en cuivre – le type de catalyseur le plus étudié pour la conversion du dioxyde de carbone – on obtient jusqu'à 20 molécules différentes, du monoxyde de carbone et du méthane au propanol et à l'acide acétique. « Certains de ces composés sont liquides à température ambiante, d'autres sont gazeux », explique Alessandro Senocrate, chercheur à l'Empa. « Il est extrêmement laborieux de séparer tous ces produits les uns des autres. »

C'est à la résolution de ce problème que Alessandro Senocrate, qui travaille dans le laboratoire « Materials for Energy Conversion » sous la direction de Corsin Battaglia, veut consacrer ses recherches au cours des quatre prochaines années. Le projet est financé par une « Ambizione Grant » du Fonds national suisse (FNS)

Photo: Empa

et s'intègre dans le Pôle de recherche national « NCCR Catalysis ». L'objectif du projet est de développer de nouveaux catalyseurs pour la conversion du CO<sub>2</sub>. Pour ce faire, Alessandro Senocrate ne s'attaque pas au matériau lui-même, mais à ce que l'on appelle les défauts. Un défaut se forme dans un matériau cristallin, par exemple lorsqu'un atome manque dans son réseau cristallin ou qu'il est remplacé par un atome étranger. Ces sites confèrent au matériau d'origine d'autres propriétés et peuvent donc agir comme des centres actifs où la catalyse chimique a lieu.

## LORSQUE LES PILES NE SUFFISENT PAS

Dans un premier temps, le chercheur veut étudier quels défauts conduisent à quels produits de réaction. « Dans l'idéal, ces connaissances nous permettront de concevoir des catalyseurs qui, lors de la conversion du CO<sub>2</sub>, fournissent des molécules spécifiques plutôt qu'un mélange », explique-t-il. Certaines cibles potentielles présentent un intérêt particulier pour l'industrie. Il s'agit notamment du monoxyde de carbone et de l'éthylène. Ces molécules sont ce que l'on appelle des produits chimiques de plateforme : elles sont les substances de base de nombreux processus chimiques, notamment pour la fabrication de la plupart des matières plastiques. « Nous disposons déjà d'une chaîne de création de valeur complète pour ces produits chimiques de plateforme », explique Alessandro Senocrate. « Cependant, ils sont aujourd'hui presque exclusivement fabriqués à partir de pétrole. » Des sources alternatives plus écologiques pour les produits chimiques à base de carbone – que ce soit à partir de la conversion du CO<sub>2</sub> ou de la biomasse – sont donc nécessaires.

Outre les matières plastiques, des carburants peuvent également être fabriqués à partir de ces produits chimiques de plateforme. D'autres projets de re-

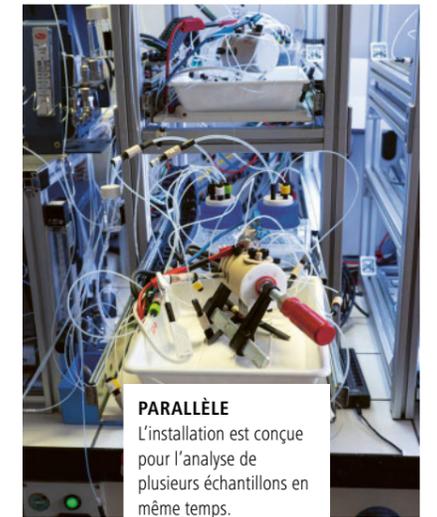
Photo: Empa

cherche de l'Empa se concentrent sur la fabrication de synfuels (voir p. 26). « Les voitures peuvent très bien être électrifiées », explique Alessandro Senocrate. « Pour les avions et pour de nombreux processus industriels gourmands en énergie, c'est différent. » Dans ce cas, les synfuels seraient très utiles.

L'avantage des carburants liquides comme le kérosène est leur densité énergétique extrêmement élevée, qui peut dépasser celle des batteries d'un facteur proche de 100. Les carburants produits à partir d'énergie renouvelable sont donc aussi une possibilité particulièrement intéressante pour le stockage saisonnier d'énergie. L'infrastructure pour le transport et le stockage des synfuels existe déjà, car leur composition ne diffère guère de celle des carburants fossiles. La seule chose qui manque encore, c'est la capacité de les produire à grande échelle. Alessandro Senocrate est cependant optimiste : « Je ne fais de la recherche dans ce domaine que depuis quelques années, et pourtant j'ai déjà assisté à des progrès massifs », déclare le scientifique. « Bien sûr, il faudra aussi un grand changement politique et social. Mais du point de vue de la science des matériaux, les progrès sont fulgurants. »

## PERFECTIONNER LA TECHNOLOGIE

Avant que Alessandro Senocrate puisse contribuer à ce progrès avec son projet « Ambizione », il doit encore surmonter quelques défis. L'un des plus importants : introduire suffisamment de défauts dans le matériau cible pour obtenir un effet catalytique mesurable. En effet, le chercheur utilise volontairement un matériau de départ inerte qui, sans les défauts, n'a aucune influence sur la réaction électrochimique. « Cela me permet de déterminer très précisément l'effet de chaque défaut », explique-t-il. Une fois que les défauts sont caractérisés, ils peuvent également être introduits dans des ma-



**PARALLÈLE**  
L'installation est conçue pour l'analyse de plusieurs échantillons en même temps.

ériaux catalytiques existants. « Idéalement, à la fin du projet, nous pourrions améliorer de manière ciblée un système existant pour la conversion du CO<sub>2</sub> », explique Alessandro Senocrate. De tels systèmes sont déjà utilisés dans le laboratoire « Materials for Energy Conversion » : les chercheurs y testent déjà différents catalyseurs et matériaux d'électrode.

Les exigences posées à ces matériaux sont élevées : « Pour une utilisation industrielle, le catalyseur doit être sélectif, actif et stable », dit Alessandro Senocrate. La sélectivité signifie qu'il ne fournit qu'un seul produit chimique de réaction – ou du moins quelques-uns qui peuvent être facilement séparés. Une activité élevée est nécessaire pour produire la plus grande quantité possible de carburants ou de produits chimiques avec le moins d'énergie possible. Et bien sûr, un catalyseur prêt à être commercialisé doit maintenir sa fonctionnalité pendant des milliers d'heures de fonctionnement, c'est-à-dire être stable. « Nous devons encore faire beaucoup mieux pour ces trois propriétés », déclare le chercheur. « Mais nous sommes sur la bonne voie. » ■

Plus d'informations : [www.empa.ch/web/s501](http://www.empa.ch/web/s501)

# LAMELLES DURABLES

Les lamelles en plastique renforcé de fibres de carbone représentent une méthode innovante pour renforcer les constructions. Leur recyclage soulève toutefois encore de nombreuses questions. Un projet de recherche du laboratoire « Mechanical Systems Engineering » de l'Empa doit maintenant fournir des réponses. Grâce au soutien généreux d'une fondation, le projet a pu démarrer.

Texte : Loris Pandiani

Le secteur de la construction est responsable d'environ 60 % de la production annuelle de déchets en Suisse. Certes, les efforts de l'industrie du bâtiment pour recycler les matériaux de démolition sont en constante augmentation. Cependant, il existe encore des matériaux en fin de vie qui ne peuvent pas être réutilisés, car leur recyclage serait trop compliqué et coûteux. L'un d'entre eux : les lamelles en plastique renforcé de fibres de carbone, appelées lamelles PRFC.

## POUR QUE LES BÂTIMENTS « VIVENT » PLUS LONGTEMPS

La méthode développée par Urs Meier, ancien directeur de l'Empa à Dübendorf, est déjà utilisée depuis 30 ans dans la construction d'infrastructures. Les lamelles de PRFC sont appliquées au moyen de colle époxy sur des ponts, des parkings, des murs de bâtiments et des plafonds en béton ou en maçonnerie. Les constructions peuvent ainsi être utilisées 20 à 30 ans de plus. Cette méthode est de plus en plus utilisée dans le monde entier, notamment parce qu'elle permet d'augmenter massivement la résistance aux séismes des constructions en maçonnerie.

« En prolongeant considérablement la durée de vie des bâtiments et des infrastructures, les lamelles en PRFC contribuent de manière importante à

l'augmentation de la durabilité dans le secteur de la construction. Mais il faut aussi trouver un moyen de réutiliser les lamelles en PRFC au-delà de la durée de vie de ces constructions », explique Giovanni Terrasi, chef du laboratoire « Mechanical Systems Engineering » à l'Empa. C'est pourquoi il souhaite développer une méthode de recyclage des lamelles de PRFC. Une fondation a trouvé ce projet convaincant et a donc alloué un montant généreux au projet, qui a ainsi pu démarrer en octobre.

## SÉPARATION EN DOUCEUR

La première étape consistera à développer un procédé mécanique permettant de détacher du béton les bandes de PRFC collées – et ce, de manière à ne pas les endommager. Les premiers essais réalisés à l'Empa sont encourageants : après la séparation des lamelles du béton, celles-ci présentaient encore une résistance de 95 % – même si elles avaient déjà été utilisées pendant près de 30 ans. Il est ensuite prévu de fabriquer une armature pour des éléments de construction préfabriqués à partir du PRFC de démolition. L'objectif de Giovanni Terrasi : réutiliser dans des éléments en béton à faible émission de CO<sub>2</sub> les milliers de tonnes de PRFC qui seraient éliminées dans les dix prochaines années après la démolition d'anciennes structures en béton. Comme premier objet de démonstration, les chercheurs



**RECYCLAGE**  
Les lamelles en plastique renforcé de fibres de carbone pourraient être réutilisées.

autour de Giovanni Terrasi – Zafeirios Triantafyllidis, Valentin Ott, Mateusz Wyrzykowski et Daniel Völki – veulent, à la fin du projet, fabriquer des traverses de chemin de fer en béton recyclé et les armer et précontraindre avec du PRFC de démolition ; ainsi, le matériau supposé être un déchet pourrait jouer un nouveau rôle dans l'infrastructure suisse. ■

## UN SOUTIEN PRIVÉ QUI FAIT LA DIFFÉRENCE

L'« Empa Zukunftsfonds » recherche des fonds privés pour des projets de recherche porteurs d'avenir qui ne sont pas encore soutenus par ailleurs. Si vous souhaitez vous aussi donner un coup de pouce supplémentaire à notre recherche, vous trouverez ici de plus amples informations : [www.empa.ch/web/zukunftsfonds](http://www.empa.ch/web/zukunftsfonds)

Photo : Pixabay

# Rendre le quotidien de demain plus durable.



Faites la différence!  
Soutenez le Zukunftsfonds  
« Développement durable » de l'Empa.  
[empa.ch/zukunftsfonds](http://empa.ch/zukunftsfonds)

 **Empa**  
Zukunftsfonds

# EMBALLAGE EN BIÈRE

Des chercheurs de l'Empa ont extrait de la nanocellulose d'un déchet de brasserie et l'ont transformée en aérogel, un produit hautement poreux qui offre une excellente isolation. Ce matériau de haute qualité pourrait être utilisé dans les emballages alimentaires.

Texte: Anna Ettlin

**A**u début, il y a la maische. Le mélange de malt et d'eau est brassé pendant plusieurs heures et chauffé en douceur. Le liquide qui en résulte s'appelle le moût et se transforme en bière au cours des étapes suivantes du processus. Le malt usé, appelé drêche de brasserie, suit un parcours beaucoup moins glorieux. La plupart du temps, il finit comme fourrage ou au compost.

Des chercheurs du laboratoire « Cellulose and Wood Materials » de l'Empa, sous la direction de Gustav Nyström, pensent qu'il y a plus à en tirer. Ils viennent de mettre au point un procédé permettant de produire de la nanocellulose de haute qualité à partir des déchets de brasserie – une matière première biodégradable polyvalente qui peut par exemple être transformée en emballages ou en matières plastiques renforcées par des fibres. Les chercheurs ont publié leurs résultats dans la revue « ACS Sustainable Chemistry & Engineering ».

## DES CÉRÉALES AU LIEU DU BOIS

La première auteure de l'étude, Nadia Ahmadi Heidari, est doctorante à l'« Isfahan Technical Univeristy ». Elle est venue à l'Empa pour un an dans le cadre d'une bourse d'excellence de la Confédération suisse. Elle s'est particu-



**RÉSIDU**  
Aujourd'hui, les drêches de bière sont utilisées pour l'alimentation animale ou compostées.

lièrement intéressée à la fabrication de matériaux d'emballage biodégradables à partir de résidus – l'un des points forts du laboratoire « Cellulose and Wood Materials ». « Nous sommes très intéressés par l'exploitation de nouvelles sources de matières premières précieuses comme les fibres de cellulose et la lignine », explique Gustav Nyström.

Actuellement, les produits cellulose micro et nanofibrillés sont obtenus à partir de pâte de bois. Le bois peut toutefois être utilisé de manière plus judicieuse ailleurs. « Le bois absorbe très bien le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, mais sa croissance est lente », explique Gustav Nyström. « C'est pourquoi il convient beaucoup mieux à des applications de longue

durée, par exemple dans la construction ou la fabrication de meubles. »

Les plantes annuelles, qui poussent beaucoup plus vite, peuvent tout aussi bien fournir des matières premières, mais ne sont jusqu'à présent guère utilisées à cet effet. « Avec notre procédé, nous pouvons obtenir des matériaux de haute qualité à partir d'un résidu très bon marché et disponible en grandes quantités, qui est aujourd'hui en grande partie gaspillé », ajoute le chercheur de l'Empa

Gilberto Siqueira, co-auteur du papier. « Cela profite également aux petites entreprises qui peuvent ainsi tirer le maximum des matières premières qu'elles utilisent déjà. »

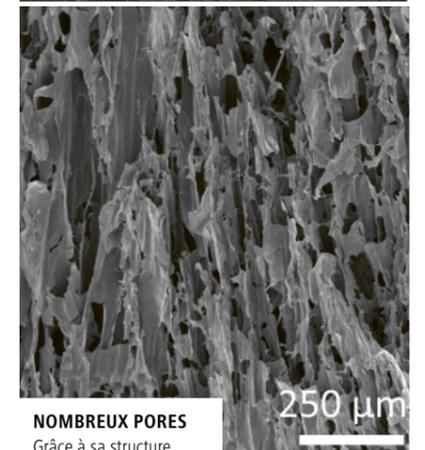
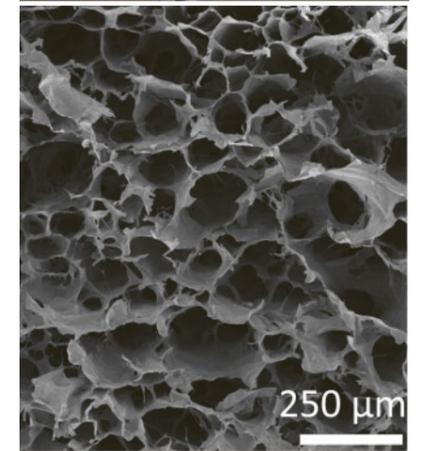
C'est d'une petite entreprise de ce type, la brasserie Pentabier à Dübendorf, que provenaient les drêches utilisées par les chercheurs pour leur expérience. Ils en ont extrait les fibres de nanocellulose et les ont transformées par lyophilisation en un aérogel. Ce matériau « aéré » contient de très nombreux pores, ce qui lui confère d'excellentes propriétés d'isolation thermique. Les aérogels peuvent être fabriqués à partir de différentes substances – les aérogels de silicate, utilisés dans

la construction, sont particulièrement connus. Les aérogels à base de nanocellulose présentent des avantages supplémentaires : ils proviennent de sources renouvelables et sont biodégradables. L'objectif est de les utiliser pour les emballages, notamment des aliments sensibles à la température comme la viande.

## FACILE À FABRIQUER

Afin de sonder plus précisément le potentiel de la nanocellulose issue des drêches de bière, les chercheurs ont varié les différentes étapes de prétraitement et de fabrication et ont testé leurs effets sur le produit final. Ainsi, la qualité des fibres de nanocellulose obtenues est améliorée par le blanchiment et l'oxydation du matériau de départ. Différents procédés de congélation permettent de contrôler la taille et l'orientation des pores de l'aérogel, ce qui influe à son tour sur ses propriétés isolantes et mécaniques.

« Nous nous sommes efforcés de simplifier au maximum l'ensemble du processus », explique Gilberto Siqueira. Car pour trouver une application dans le monde réel, il ne faut pas seulement que le produit final soit convaincant – il doit aussi être aussi simple et bon marché que possible à fabriquer. C'est aussi pour cette raison que les chercheurs s'intéressent à la production de matières premières à partir de résidus. « Comparé aux résidus de l'industrie agricole, le bois est une source coûteuse de cellulose, et il a déjà tellement d'autres applications », dit Gilberto Siqueira. Dans le cadre d'autres projets de recherche, les scientifiques étudient donc d'autres résidus issus de l'industrie alimentaire et de la sylviculture. Et bien que Nadia Ahmadi Heidari soit déjà retournée à l'« Isfahan Technical University », les chercheurs de l'Empa prévoient une nouvelle publication en collaboration avec la jeune chercheuse, dans laquelle ils décriront plus en détail les aérogels de drêches de bière. ■



**NOMBREUX PORES**  
Grâce à sa structure poreuse, l'aérogel obtenu est léger et possède une isolation thermique élevée.

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

## VISITE D'UN CONSEILLER FÉDÉRAL



**VISITE GUIDÉE**  
Le conseiller fédéral Guy Parmelin et la directrice de l'Empa Tanja Zimmermann.

Le conseiller fédéral Guy Parmelin, chef du Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche (DEFR), a visité le 6 novembre les instituts de recherche Empa, Eawag et WSL. À l'Empa, il s'est informé des derniers développements et résultats de recherche dans les domaines de la mobilité durable, des nouveaux matériaux utilisés comme puits de CO<sub>2</sub>, de la fabrication additive et des technologies de revêtement innovantes. Il a échangé ses points de vue avec Tanja Zimmermann, directrice de l'Empa, Peter Richner, directeur adjoint, et Lorenz Herrmann, membre de la direction, qui dirige le département «Advanced Materials and Surfaces».

wbf.admin.ch

## CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES BATTERIES

Les «Swiss Battery Days», organisés cette année par le PSI, l'Empa et l'Association suisse des fabricants de batteries (iBAT), réunissent des chercheurs en batteries et des spécialistes de l'industrie. Ce qui a commencé il y a cinq ans comme une petite manifestation a attiré du 18 au 20 septembre 2023 quelque 150 participants de toute l'Europe. Les deux premiers jours étaient consacrés à la science, avec des chercheurs renommés et de jeunes scientifiques suisses présentant leurs recherches sur les batteries. L'«Industry Day» qui suivait, organisé en collaboration avec Swissem, l'association suisse de l'industrie tech, a permis de mettre en relation des entreprises suisses innovantes avec des entreprises géantes du secteur des batteries à l'étranger, dont LG, Freyer et Innolith. «Les batteries prennent de plus en plus d'importance pour l'industrie suisse. Les entreprises suisses fournissent des technologies innovantes aux grands fabricants», explique Corsin Battaglia, directeur du laboratoire «Materials for Energy Conversion» de l'Empa, vice-président de la conférence et vice-président de l'Association suisse des fabricants de batteries (iBAT). «À l'Empa, nous menons donc de plus en plus de projets de recherche communs avec des entreprises afin de les aider à réaliser de nouvelles percées sur ce marché.»

indico.psi.ch/event/14214



**LIEU DE RENCONTRE**

Lors des «Swiss Battery Days», des chercheurs et des entreprises de Suisse se mettent en réseau avec les grands noms des batteries de l'étranger.

Images: Empa

## L'EMPA RENCONTRE LE JAPON...



**INTERNATIONAL**

La directrice de l'Empa Tanja Zimmermann s'exprime lors de l'inauguration du nouveau site de Swissnex à Osaka, au Japon.

La directrice de l'Empa Tanja Zimmermann s'est rendue au Japon en octobre pour l'inauguration du nouveau site Swissnex au Japon. Swissnex, une initiative du Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) en collaboration avec le Département fédéral des affaires étrangères (DFAE), relie la Suisse à des acteurs de la formation, de la recherche et de l'innovation dans le monde entier. Tanja Zimmermann a également visité le forum «Science and Technology in Society» (STS) ainsi que l'institut «frère» de l'Empa, le «National Institute for Materials Science» (NIMS) à Kyoto, avec lequel l'Empa entretient un partenariat étroit.

swissnex.org/japan

## ... ET LA POLOGNE



**L'EXPERT**

Peter Richner a parlé de la construction durable lors de la Journée de l'innovation Pologne-Suisse.

Le 4 octobre, la 8<sup>e</sup> Journée de l'innovation polono-suisse s'est tenue à Varsovie, cette année sur le thème de la construction durable. Dans le cadre de cette conférence, Peter Richner, directeur adjoint de l'Empa, a donné une conférence en tant qu'invité à l'Université technique de Varsovie. Il y a parlé de la décarbonisation des bâtiments et de la nécessité de réutiliser les matériaux de construction, et a présenté le bâtiment de recherche et d'innovation NEST.

psid2023.pl

Photos: Swissnex, Empa

## SÉMINAIRES DE L'ACADÉMIE DE L'EMPA

(en allemand et en anglais)

16.–19. JANUAR 2024  
NEST IM SWISSBAU FOCUS  
Ort: Messe Basel

16. JANUAR 2024  
Keynote-Session: Mining the atmosphere:  
CO<sub>2</sub>-negative Baumaterialien

17. JANUAR 2024  
Praxistalk: Reisst die Mauern ein! Nur gemeinsam  
entsteht wahre Innovation

18. JANUAR 2024  
Praxistalk: Kreislauf im Bau: Heute bereits  
erfolgreich umsetzen

19. JANUAR 2024  
Praxistalk: Integrated Project Delivery – Modell der  
partnerschaftlichen Zusammenarbeit im Bauwesen

Anmeldung: nest.empa.ch/swissbau2024

BESUCHEN SIE UNS AUCH AM INFOPOINT.  
HALLE 1.0, MESSE BASEL

19. MÄRZ 2024  
Kurs: Additive Fertigung von Metallen  
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
www.empa-akademie.ch/metalle  
Empa, Dübendorf

14. MAI 2024  
Kurs: Klebtechnik für Praktiker  
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
www.empa-akademie.ch/klebtechnik  
Empa, Dübendorf

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

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



**Empa**

Materials Science and Technology