

Empa Quarterly

RECHERCHE & INNOVATION II #67 II DÉCEMBRE 2019

FOCUS

SUR UN PETIT PIED



RÉNOVATION CIBLÉE
BÉTON ÉCOLOGIQUE
ARBRES POUR LE CLIMAT URBAIN

[CONTENT]

[FOCUS: SUR UN PETIT PIED]



12



15



18



30



24

[FOCUS]

06 RÉNOVATION
La rénovation adaptée à chaque type de bâtiment

10 CHAUFFAGE
Des chercheurs enseignent aux bâtiments à économiser de l'argent

12 STREAMING
Comment la soirée film pollue le climat

15 CLIMAT URBAIN
Comment les arbres aident à lutter contre les îlots de chaleur

18 CIMENT
Le béton devient vert

[THÈMES]

24 PREGNANCY
Diagnostic plus rapide de la pré-éclampsie

27 DÉPART FROID
Moins de gaz d'échappement grâce aux catalyseurs préchauffés

30 PORTRAIT
Mirko Kovac veut construire des machines vivantes

[RUBRIQUES]

04 LA PHOTO

16 BRIÈVEMENT

34 EN ROUTE

[COUVERCLE]



La réduction de l'empreinte écologique est l'un des objectifs de nombreuses activités de recherche de l'Empa.
Photo: istock

[IMPRESSUM]

ÉDITEUR: Empa
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf, Schweiz
www.empa.ch
RÉDACTION: Empa Kommunikation
DIRECTION ARTISTIQUE:
PAUL AND CAT.
www.paul-and-cat.com
CONTACT: Tel. +41 58 765 47 33
empaquarterly@empa.ch
www.empaquarterly.ch
PUBLICATION:
publié quatre fois par an



No. 01-19-177511 - www.myclimate.org
© myclimate - The Climate Protection Partnership

Empa Social Media



ISSN 2673-1746
Empa Quarterly (édition française)

NOUS VIVONS SUR UN GRAND PIED

Chère lectrice, cher lecteur,



Et les grands pieds laissent de grandes empreintes. Dans ce numéro, nous passons en revue différentes manières de réduire notre empreinte écologique, qu'il s'agisse de systèmes de chauffage et rafraîchissement commandés par intelligence artificielle avec un beau gain d'énergie, de méthodes innovantes d'assainissement des bâtiments, ou de nouveaux ciments dont la production rejette moins de CO₂ dans l'atmosphère. Ou encore en nous interrogeant sur le streaming, avec, à la clé, quelques réponses.

Une chose est claire: Nous ne pouvons pas continuer de vivre comme nous le faisons. Nous consommons nos ressources naturelles plus rapidement que la Terre ne les renouvelle. On le voit en observant, année après année, le recul du «Earth Overshoot Day», date à laquelle la consommation annuelle de certaines matières premières en rattrape la production terrestre. Autrement dit, la date où nous avons consommé tout ce que «nous avons le droit» de consommer. En 1970, cette date tombait encore fin décembre. Cette année, on l'a cochée le 29 juillet déjà. Pour entretenir nos habitudes, il nous faudrait donc 1,75 Terre.

Et encore! Il s'agit là d'une moyenne mondiale. Si tous les habitants de la Terre consommaient autant que la moyenne suisse, c'est le 7 mai qu'il faudrait tout arrêter. Nous vivons comme si nous disposions de trois terres. Or ce n'est pas le cas. La solution? Elle se trouve en bonne part dans l'amélioration de nos technologies. Et en bonne part – assurément – en nous.

En vous souhaitant bonne lecture

Votre MICHAEL HAGMANN



UN PAYSAGE NÉ DU HASARD

Les MXene sont une nouvelle catégorie de matériaux se prêtant remarquablement bien au stockage de l'énergie. Exemple: ce supercondensateur imprimé sur papier. Le hasard a voulu que, sectionné, cet échantillon fasse apparaître une structure arborée au tronc en fibres de papier et à la couronne de MXen.

Pour plus d'informations:
www.empa.ch/web/s209/

VERS UN PARC IMMOBILIER À HAUTE EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Le chauffage, l'eau chaude et le courant électrique englobent de grandes quantités d'énergie et génèrent d'importantes émissions de CO₂. L'assainissement énergétique des bâtiments peut réduire cette consommation. Mais comment utiliser au mieux l'argent disponible, sur quel type de bâtiments? Des chercheurs de l'Empa étudient la question.

Texte: Karin Weinmann

RÉNOVER

L'assainissement des bâtiments existants permet d'en améliorer massivement l'efficacité énergétique.



En Suisse, environ 40% de l'énergie finale est consommée par les bâtiments. La majeure partie va à la production de chaleur. Mauvaise nouvelle pour le climat: près de deux tiers de tous les bâtiments du pays sont chauffés au mazout ou au gaz, ce qui nous place en tête des pays européens. A lui tout seul, le chauffage a rejeté en 2018 quelque 15,8 millions de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère. La bonne nouvelle est qu'il existe un fort potentiel de réduction de ces rejets sans aucune perte de confort. La formule magique: l'assainissement énergétique.

Les différences de consommation entre bâtiments sont énormes. Un bâtiment mal isolé peut consommer annuellement jusqu'à 300 kWh par mètre carré, alors qu'un bâtiment aux normes Minergie en consommera au

plus le dixième. Il faut donc assainir. Mais par où commencer? Un immeuble locatif des années 1920 rénové en 1990? Ou plutôt la villa 1975 dans son état original? Et à quoi consacrer l'argent pour obtenir le meilleur résultat? Refaire le toit? Mieux isoler les murs? Remplacer la chaudière par un modèle plus récent, voir remplacer tout le système de chauffage? Changer d'appareils électriques? Installer des panneaux solaires?

Les possibilités sont nombreuses et les moyens généralement limités. D'un point de vue économique, il n'est pas pertinent d'améliorer à grands frais une construction aux performances satisfaisantes pour aller frôler le nec plus ultra alors que, pour le même montant, on pourrait assurer l'efficacité énergétique d'un vieux bâtiment.

L'équipe de Kristina Orehounig, du département «Urban Energy Systems» de l'Empa, s'est penchée sur la question afin de lui trouver un jeu de réponses pratiques. Leur objectif: identifier les mesures qui, appliquées à bon escient, permettent la plus forte réduction des émissions de CO₂.

BÂTIMENTS ARCHÉTIPIQUES

Les chercheurs ont commencé par classer les bâtiments suisses en fonction de divers critères: époque de construction, type de bâtiment, nombre de logements ou de locaux professionnels, nombre d'étages. Ils ont également pris en compte les différences régionales telles que le potentiel solaire et le nombre de jours chauffés. Ils ont ainsi constitué un ensemble de 1000 bâtiments archétypiques, 500 maisons individuelles et 500 immeubles d'habitation. Les données montrent ►

CHALEUR BIENFAISANTE

Le grand pas: renoncer au chauffage par énergie fossile



Photos: iStock

que la plupart de ces bâtiments ont été construits entre 1959 et 1994, et que plus de 75% disposent d'un boiler électrique ou à énergie fossile. Les bâtiments commerciaux peuvent être classés en 45 archétypes: 9 types de restaurants, d'écoles, d'hôpitaux, d'immeubles de bureaux et de magasins.

La seconde étape a consisté à identifier les mesures permettant d'éviter les émissions de gaz à effet de serre. Citons en premier lieu l'assainissement de l'enveloppe du bâtiment: isolation renforcée du toit, des murs et des planchers, remplacement des portes et fenêtres. On peut également adopter des techniques efficaces telles que les pompes à chaleur, ou alors recourir aux énergies renouvelables telles que le thermique solaire, le photovoltaïque ou les chaudières à biomasse.

SOLUTION OPTIMALE EN FONCTION DE L'ANNÉE DE CONSTRUCTION

La Suisse s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre au quart de leur valeur actuelle d'ici 2050. Pour atteindre cet objectif, il faut selon «La voie SIA vers l'efficacité énergétique» de la Société suisse des ingénieurs et architectes réduire chaque année les émissions de la construction et de l'exploitation des bâtiments assainis de 10 kg de CO₂ par mètre carré. Les chercheurs de l'Empa ont pris ce nombre comme base de calcul pour définir la voie la plus économique de parvenir à l'objectif final. Tous types de bâtiments confondus, sa mise en œuvre représente 384 francs par tonne de CO₂ épargnée. Il y a de grosses différences entre types de bâtiments. C'est dans les immeubles d'habitation que le franc est le mieux investi en termes de CO₂ économisé. Viennent ensuite les écoles et les immeubles de bureaux.

Mais quelles mesures appliquer à quelle catégorie de bâtiments pour atteindre l'objectif souhaité? Premier constat, immédiat: les maisons chauffées à l'électricité, au mazout ou au gaz n'ont presque aucune chance d'atteindre la performance souhaitée, même lorsqu'on en a entièrement assaini l'enveloppe. Pour ramener les émissions de CO₂ au niveau visé,

«Six mesures permettraient à la majorité des bâtiments d'atteindre les objectifs d'efficacité.»

il est nécessaire – quelle que soit en gros l'année de construction du bâtiment – de recourir au chauffage à distance, au chauffage par biomasse ou à des pompes à chaleur, en combinaison avec des panneaux solaires et des solutions de stockage. Seuls les bâtiments construits après 2010 présentent quelque cas exceptionnel pouvant atteindre le niveau souhaité avec un chauffage à gaz ou à mazout.

Après l'optimisation du système énergétique, il faut passer à l'enveloppe. Pour la majorité des bâtiments construits après 1995, une isolation supplémentaire s'avère superflue. L'enveloppe des bâtiments plus anciens n'a pas automatiquement besoin d'être entièrement refaite. Même celle des bâtiments des années 1919 à 1948, dont les valeurs sont les moins bonnes, ne doit être entièrement refaite que dans un cas sur cinq. Dans 60% des bâtiments de cette époque, il suffit de mieux isoler les murs et les fenêtres. Pour les bâtiments de la période suivante – jusqu'en 1979 – c'est le toit qui doit être assaini en premier.

Prenons du recul et considérons l'en-

semble des habitations de toutes les époques. Six mesures permettraient aux deux tiers d'entre elles d'atteindre l'objectif des 10 kg CO₂ par mètre carré et par année: isoler le toit ou la façade, changer les fenêtres et installer du photovoltaïque combiné avec des accumulateurs, enfin un chauffage par biomasse ou pompes à chaleur, solutions les plus avantageuses.

ABORDER LA QUESTION À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

Les chercheurs ont intégré à leurs calculs les possibilités du chauffage à distance. Alors que les réseaux de chauffage à distance à énergie fossile représentent souvent la solution le meilleur marché, on les remplace de plus en plus par des techniques à moindre empreinte CO₂ telles que l'utilisation des rejets thermiques. La différence entre régions urbaines et campagne est ici très claire. En ville, les bâtiments sont proches les uns des autres et le chauffage à distance s'avère être un moyen rentable de réduire les émissions de CO₂. A la campagne, les solutions individuelles par bâtiments sont préférables.

Conclusion des chercheurs de l'Empa: le potentiel est effectivement énorme. Si l'on appliquait les mesures préconisées à l'ensemble du parc immobilier suisse, on pourrait – dans certaines catégories de bâtiments – en réduire les émissions jusqu'à 80%. Le secteur du bâtiment peut donc contribuer de manière essentielle à l'amélioration de la durabilité du pays. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s313

Mesures de restructuration

Comment les recommandations de SIA sur la protection du climat peuvent-elles être mises en œuvre dans les bâtiments existants ?



Année de construction 1919 – 1948

Remplacer la fenêtre
Cellules solaires et stockage
Isolation de la façade
Remplacer le chauffage*



Année de construction 1979 – 1994

Remplacer la fenêtre
Cellules solaires et stockage
Remplacer le chauffage*



Année de construction 1949 – 1978

Rénovation du toit
Cellules solaires et stockage
Remplacer le chauffage*



Année de construction 1995 – 2020

Cellules solaires et stockage
Remplacer le chauffage*

* Remplacez le mazout, le gaz ou le chauffage électrique par une solution durable: chaudière à biomasse, pompe à chaleur ou chauffage urbain.



OBJET DE TEST
L'unité «Urban Mining and Recycling» du bâtiment d'essais NEST sur le campus de l'Empa. L'expérience a été conduite dans les deux chambres d'étudiant, à droite et à gauche de l'unité «Urban Mining and Recycling» du bâtiment d'essais NEST du campus de l'Empa.

CHAUFFAGE INTELLIGENT

Les bâtiments peuvent-ils apprendre tout seuls à économiser de l'énergie? Des chercheurs de l'Empa en sont convaincus. Ils ont transmis à une commande de chauffage capable d'auto-apprentissage les données de l'année précédente ainsi que les prédictions météo du moment. Sur cette base, la commande «intelligente» a pu évaluer les réactions du bâtiment et en anticiper correctement les besoins. Résultat: un confort accru et des économies.

Texte: Rainer Klose

Les halles de fabrication, les terminaux d'aéroport ou les immeubles de bureaux sont fréquemment équipés de chauffages «anticipateurs». Ils fonctionnent sur la base de scénarios préprogrammés et permettent à l'exploitant de réaliser de très sensibles économies. Mais pour ce qui concerne les appartements ou les maisons individuelles,

la programmation – nécessairement sur mesure – s'avère trop coûteuse.

L'été dernier, un groupe de chercheurs de l'Empa a montré que les commandes de chauffage et de rafraîchissement pouvaient se passer de scénarios en tirant leurs propres enseignements des données des semaines et des mois précédents. Plus besoin de programmeurs professionnels.

Les familles et les célibataires pourront bientôt profiter de cette technique.

DES EXPÉRIENCES CONDUITES AU NEST
L'expérience décisive a été effectuée dans le bâtiment d'essais NEST. C'est l'unité «UMAR» (Urban Mining and Recycling) qui offrait en l'occurrence les meilleures conditions: un vaste séjour/cuisine flanqué à gauche et à droite d'une chambre d'étudiant de 18 m², le

tout orienté est-sud-est, sur le soleil du matin. Pour calculer l'énergie utilisée par chaque pièce, l'expérience s'est basée sur la position des vannes de réglage.

RAFRAÎCHIR INTELLIGEMENT GRÂCE À LA MÉTÉO

Ne voulant pas attendre la période chauffée, le chef de projet Felix Bünning et son collègue Benjamin Huber ont lancé une expérience de rafraîchissement dès juin 2019. Selon la consigne, les deux chambres ne devaient pas dépasser 25°C le jour et 23°C la nuit. Une vanne thermostatique habituelle permettait de régler l'une des chambres, alors que l'autre était sous contrôle de la commande expérimentale mise au point par l'équipe de Bünning et Huber. Le logiciel d'intelligence artificielle disposait de données couvrant les dix derniers mois ainsi que les prévisions en cours de MétéoSuisse.

PLUS AGRÉABLE ET D'UN QUART PLUS ÉCONOME

Le résultat s'est révélé clair et net: le chauffage-rafraîchissement intelligent a mieux respecté la consigne tout en consommant 1/4 d'énergie en moins que le système mécanique. Cela s'explique surtout par le fait que, le matin, lorsque le Soleil brillait à travers les fenêtres, le système enclenchait le rafraîchissement de manière préventive. Le thermostat mécanique de la chambre d'en face, lui, ne réagissait que lorsque la chaleur avait traversé le plafond, trop tard, trop brusquement, trop fort.

En novembre 2019, qui fut froid, peu ensoleillé, pluvieux et venteux, Bünning et Huber ont renouvelé l'expérience. Il ne s'agissait plus de rafraîchir mais de chauffer les deux chambres. A l'heure où nous mettons sous presse, les résultats sont en cours d'évaluation.

Bünning est confiant que cette fois encore, le réglage anticipateur va marquer des points. L'équipe prépare déjà l'étape suivante: «Pour tester le système sur le terrain et en grand, nous avons choisi un immeuble de 60 appartements. Nous équiperons quatre appartements de nos commandes intelligentes de chauffage et rafraîchissement.» Il leur faudra préalablement charger le logiciel – qui tournait sur le cloud – dans un petit bloc de commande local. «Le bloc remplacera le thermostat des appartements test», explique Felix Bünning, impatient de voir les résultats. «Je crois que le réglage par machine learning présente un grand potentiel. Nécessitant peu de moyens et des données faciles à réunir, il peut être monté sur des chauffages existants et leur permettre d'économiser de l'énergie.» ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/energy-hub



AGRÉABLEMENT
Les thermostats conventionnels ne s'allument que lorsqu'il fait plus frais. Le système de commande intelligent peut chauffer avec prévoyance et permet d'économiser de l'énergie.

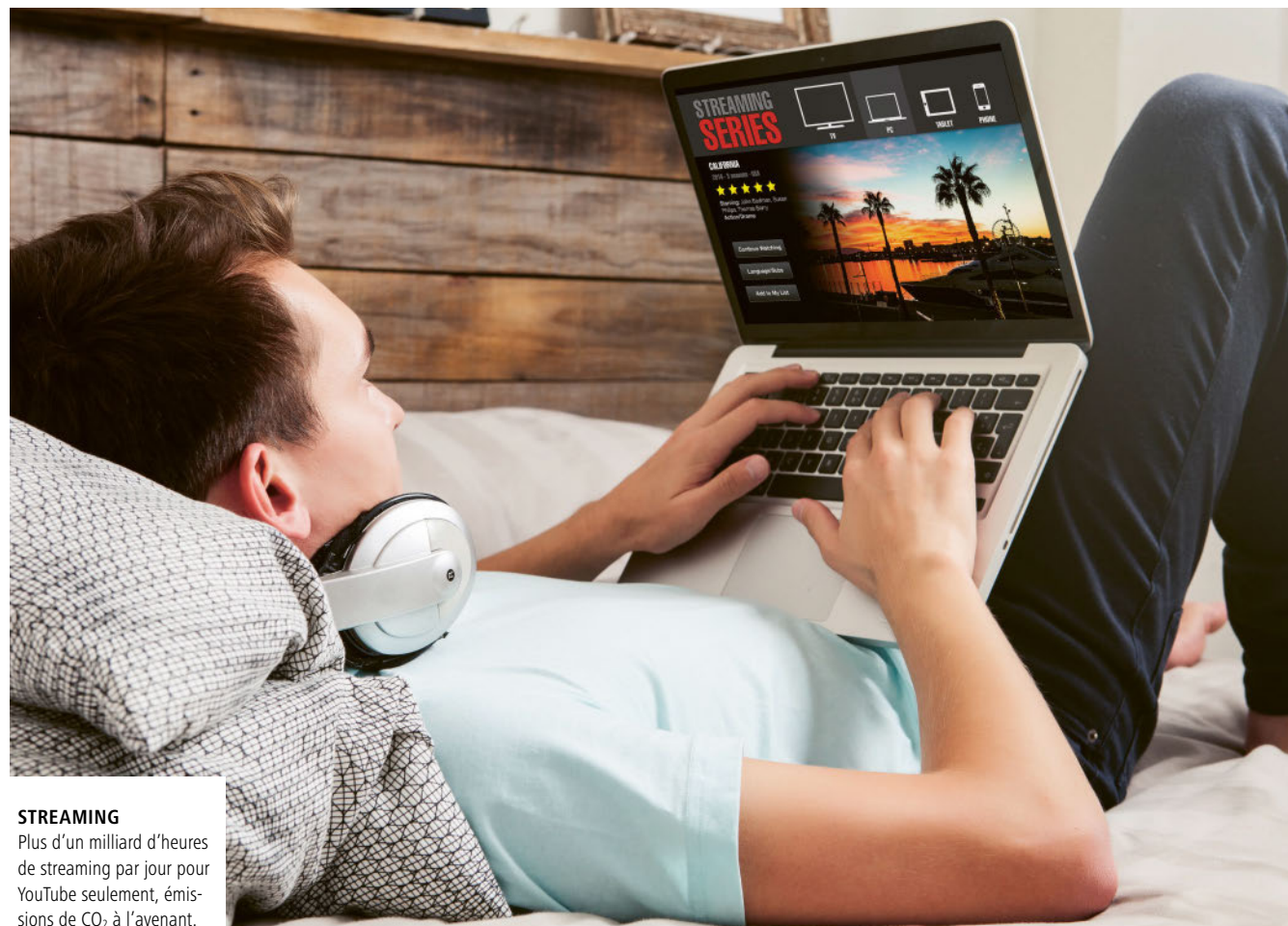
Photo: Zoëy-Braun, Stuttgart, Empa

Photos: iStock

PLUTÔT LE STREAMING QUE LE VOL

Le streaming vidéo consommerait d'énormes quantités d'énergie et pèserait autant sur le climat que toute l'aviation civile. Telle est la conclusion d'une étude française. On sous-estime systématiquement les émissions de CO₂ liées aux appareils électriques en sus de leur consommation directe de courant. Quel est l'impact réel de nos habitudes digitales sur l'environnement? Lorenz Hilty, qui dirige le groupe de recherche Informatique et durabilité de l'Empa et de l'Université de Zurich, clarifie la situation.

Texte: Cornelia Zogg



STREAMING
Plus d'un milliard d'heures de streaming par jour pour YouTube seulement, émissions de CO₂ à l'avenant.

D'ici 2050, la Confédération entend ramener les émissions annuelles de CO₂ à 1,5 tonne per capita. Une performance, car tout ce que nous utilisons ou achetons consomme de l'énergie – même lorsque ce n'est pas aussi visible qu'un plein d'essence ou le décollage d'un avion. Le steak qui atterrit sur notre assiette, le chauffage qui, en hiver, nous tient les pieds au chaud, le visionnage boulimique de séries sur Netflix les dimanches de pluie, tout cela se paye en CO₂. Le streaming, en particulier,

«La transmission d'un flux vidéo ne consomme normalement pas plus que l'éclairage d'une pièce»

commence à être montré du doigt. Selon le think tank «The Shift Project», nos usages en la matière seraient aussi dommageables que le trafic aérien. Faut-il tirer le rideau sur nos écrans?

«Pas vraiment nécessaire», estime Lorenz Hilty. Bien que le streaming soit l'usage d'Internet le plus énergivore, la transmission d'un flux vidéo ne consomme normalement pas plus que l'éclairage d'une pièce. Une heure de streaming sur un écran plat de télévision représente une production de 150 grammes de CO₂, transmission des données comprise.

C'EST LE TOTAL QUI FAIT MAL

Cependant, lorsqu'on considère la totalité du streaming au niveau planétaire, les chiffres explosent. YouTube, à lui tout seul, diffuse quotidiennement un milliard d'heures de vidéo. Selon une étude de l'Université de Bristol, le bilan CO₂ de YouTube équivaut à celui de la

ville de Glasgow. Remarquons toutefois que l'usage du numérique est largement réparti sur le globe: «57% de la population mondiale a aujourd'hui accès à Internet et 34% dispose d'un smartphone, alors que 1% seulement peut s'offrir un billet d'avion par année», précise Hilty.

Pour lui, les consommateurs ne sont pas seuls en cause, il faut également se tourner vers les fournisseurs. YouTube, par exemple, continue de diffuser de la musique en flux vidéo, charriant ainsi des flots de données superflues. Autre exemple: le glissement actuel de la diffusion des émissions télévisées (de nombreux spectateurs regardent en même temps le même programme) vers le principe de l'unicast (les données sont envoyées individuellement à chaque personne) est à l'origine du bond de consommation d'énergie liée au visionnage de films. Citons encore l'accès mobile à Internet, plus énergivore que l'accès stationnaire.

NUMÉRIQUE N'EST PAS SYNONYME D'ÉCOLOGIQUE

On voit que le numérique est loin d'être écologique. Selon une étude de l'Institut Royal de Technologie de Suède, la production d'un livre sur papier génère 1,2 kg de CO₂. Celle d'une liseuse eBook, de 30 à 40 fois plus. Le bilan comparatif du eBook ne commence donc à rosir qu'après la lecture d'environ 35 ouvrages. D'une manière générale, l'impact environnemental de la production et de l'usage des logiciels n'a été que peu étudié scientifiquement. Une situation que Hilty souhaite également clarifier. C'est pourquoi, en collaboration avec des partenaires étrangers et à la demande de l'Office fédéral allemand de l'environnement (UBA), il a dressé une série de critères de durabilité des produits logiciels. «Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'énergie consommée par le logiciel dans la

machine ainsi qu'à celle consommée par la transmission de ses données, fonctionnement des serveurs compris». D'autres critères portent sur le matériel nécessaire pour faire tourner un logiciel, la fréquence de ses adaptations ou de son renouvellement pour l'accommoder aux exigences croissantes des versions successives du logiciel. Ainsi, dans le cas des smartphones et des ordinateurs portables, la fabrication du matériel est d'un poids environnemental supérieur à celui de leur consommation de courant. Fort de ces critères, l'Office fédéral allemand de l'environnement élabore actuellement un label «Blauer Engel» (Ange bleu) distinguant les logiciels de bonne durabilité.

RENFORCER LA PRISE DE CONSCIENCE

Cela dit, s'asseoir dans un avion reste la manière la plus lourde en CO₂ de passer le temps. Un aller-retour Zurich-New York génère 2,5 tonnes de CO₂ par passager, soit sensiblement plus que le plafond annuel per capita visé par la Confédération. Hilty ne juge donc pas nécessaire d'introduire des règles sur le streaming Internet: «On ne contrôle pas non plus combien de temps nous éclairons nos locaux». Il ne serait pour autant pas superflu que la population prenne conscience de ce qui consomme de l'énergie et de la manière de l'économiser. Il nous arrive, de manière banale, de surmultiplier notre production de CO₂ sans nous en rendre compte, simplement parce que ce CO₂ est émis ailleurs, au loin. L'usage des services d'Internet en est l'exemple. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s506/informatics-and-sustainability-research-isr

Photo: iStock

1,5 tonne de CO₂ – Qu'est-ce que cela signifie

La Fédération veut limiter les émissions annuelles à 1,5 tonne de CO₂ par personne. Ce comprend non seulement la consommation privée, mais aussi toutes les émissions résultant de la production et de l'entretien des biens. Il ne reste pas grand-chose! Mais que signifie 1,5 tonne d'émissions de CO₂ pour un particulier ?



Chauffage a
20 m²
appartement dans un immeuble ancien ou
125 m²
dans une maison au standard Minergie pendant un an

8'300 km
conduire avec une moyenne
une voiture particulière



10'000 heures
diffusion vidéo en continu

214'300 km
voyages en train (5 × autour du monde)



500 × douches
(env. 4 minutes par douche)

9'000 km
vols internationaux
Zurich – Bangkok (single, économie)



150 kg
de viande bovine
(soit 3 × consommation annuelle moyenne en Suisse)

Les nombres : OFEV, Fondation suisse de l'énergie, Empa/UZH

CHAQUE ARBRE COMPTE

En été, lors des canicules, de nombreuses villes se transforment en piège à chaleur. Le changement climatique ne fera qu'aggraver le phénomène. Peut-on créer en ville des zones de fraîcheur venant compenser cette réalité? Des chercheurs de l'Empa ont programmé un logiciel de simulation qui fournit des informations précises sur le type de revêtement et de végétalisation pouvant produire l'effet souhaité. A titre d'illustration, ils ont choisi la Münsterplatz de Zurich.

Texte: Rainer Klose



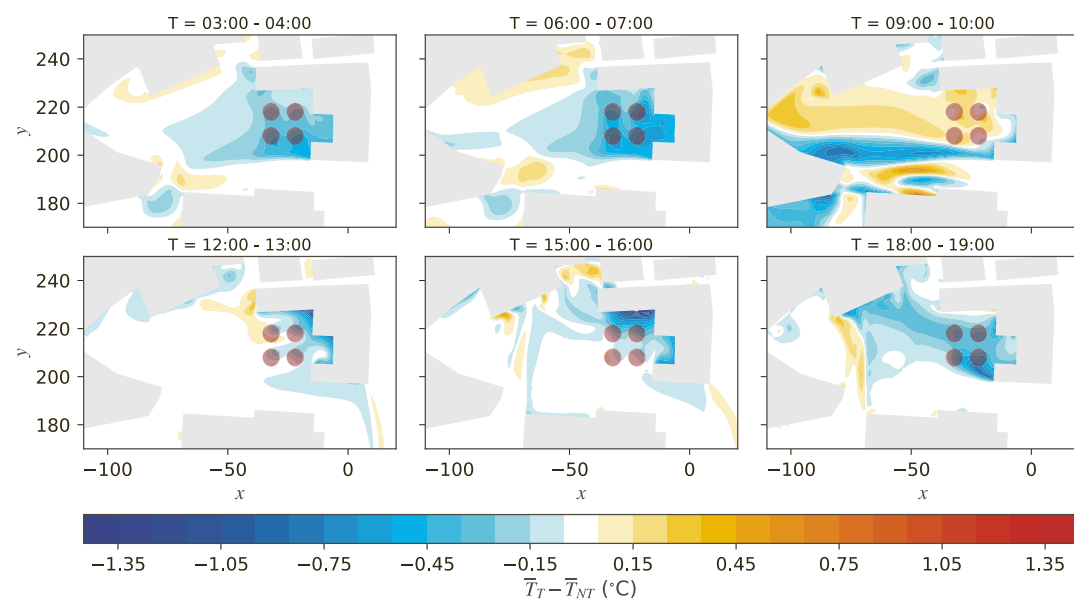
REFROIDISSEMENT VERT
La Münsterplatz à Zurich est un îlot de chaleur classique. Un espace vert comme celui-ci dans le cadre d'un projet artistique à l'été 2019 pourrait aider.

QUATRE ARBRES

Un groupe d'arbres au nord-est de la Münsterplatz réduirait la température de l'air sur une hauteur de 2 mètres

En haut à droite: dans la zone colorée de brun, l'air serait plus chaud le matin en raison des modifications apportées à la circulation du vent.

Images du bas: En début d'après-midi, les arbres ombragent les façades avoisinantes et ont un effet très rafraîchissant. Tard dans l'après-midi, toute la place bénéficie du rafraîchissement.



Les canicules s'imposent de plus en plus régulièrement et se font toujours plus longues. Ainsi, 2015 a connu le deuxième été le plus chaud de notre pays depuis le début du relevé systématique des températures. L'asphalte fondait et la traversée d'une place sans ombre telle que celle du Münsterhof au cœur de Zurich relevait du supplice. Comment faire pour que nos villes restent à peu près agréables à vivre dans les 100 prochaines années, alors que les températures ne cesseront d'augmenter? Un peu de verdure urbaine artistement répartie? Ou faut-il prendre des mesures plus précises? L'Empa propose une première modélisation informatique de l'approche à choisir, sur l'exemple justement de la Münsterplatz.

Aytaç Kubilay, du «Laboratory of Multiscale Studies in Building Physics» de l'Empa est expert en simulation des flux de chaleur à différentes échelles, des pores d'une tuile, d'un mur de

béton ou de pièces de bois, jusqu'à une ville prise dans son ensemble. Avec ses collègues, il réfléchit aux stratégies propres à maintenir les villes supportables lors des futures canicules. Le chercheur a choisi pour modèle la Münsterplatz du cœur historique de Zurich. Elle est en grande partie pavée et séparée de l'église du Fraumünster par une bande de béton. Elle est en outre presque encerclée de bâtiments dont les façades sont chauffées par le rayonnement solaire.

RENDRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE PLUS SUPPORTABLE

La population a en quelque sorte plébiscité l'idée d'une Münsterplatz verdie.

En témoigne l'accueil réservé l'été dernier à l'installation de l'artiste bernois Heinrich Gartentor: durant quatre semaines, la place s'est trouvée couverte d'une prairie sèche agrémentée de deux saules à l'ombrage bienfaisant, empruntés au Baummuseum de Rapperswil. De l'ouverture

jusqu'au dernier jour, le 17 septembre, la ville a reçu demande sur demande de pérenniser cette prairie.

Kubilay et ses collègues de l'Empa étaient entièrement étrangers à l'action de Heinrich Gartentor, même si leurs travaux vont dans le même sens. Les chercheurs ont choisi cette place pour effectuer des simulations dont les résultats seraient transférables à d'autres lieux et d'autres villes. Leurs calculs montrent que la température de la Münsterplatz resterait sensiblement inférieure si, au lieu d'être pavée, la place était couverte de terre et d'herbe. Le sol se rafraîchirait mieux la nuit et accumulerait moins de chaleur le jour.

A QUOI TIENENT LE SENTIMENT DE BIEN-ÊTRE?

Pour évaluer l'effet sur les gens d'une modification de la température, les chercheurs de l'Empa utilisent l'indice universel du climat thermique (UTCI). Celui-ci évalue la température



OASIS TEMPORAIRE
Intervention artistique de Heinrich Gartentor sur la Münsterplatz (vu par un drone)

ressentie par les passants compte tenu non seulement de la température de l'air, mais également de son humidité, de la température avoisinante, du rayonnement solaire et de la vitesse du vent. L'UCTI reste assez semblable à l'échelle centigrade: les valeurs allant de +38 à +46 signalent un «stress thermique très fort», de +32 à +38 un «fort stress thermique», de +26 à +32 un «stress thermique moyen». Les gens se sentent le mieux et n'éprouvent aucun stress thermique pour un UCTI situé entre +9 et +26.

Résultat de la simulation: Dépaver un quart seulement de la Münsterplatz pour y poser un autre revêtement permettrait d'éviter la fournaise que cette place constitue en été. Un sol en briques poreuses permettrait un rafraîchissement par arrosage et évaporation. De l'herbe serait également bien-

venue, même si elle n'était pas arrosée en permanence, même si elle devait parfois se dessécher. Les périodes durant lesquelles l'indice UTCI de la place dépasse 32 («fort stress thermique») seraient donc sensiblement réduites par des revêtements mieux adaptés.

LES ARBRES MODIFIENT LE CLIMAT

Le résultat serait encore meilleur avec des arbres. Aytaç Kubilay et son collègue Lento Manickathan ont simulé l'effet de quatre arbres groupés au nord de la place. «Leur ombre et leur transpiration réduirait fortement la charge thermique», explique Kubilay. La température ressentie serait réduite de deux degrés sur de larges secteurs de la place, voire de quatre degrés là où les façades sont à l'ombre.

Les arbres ne font pas que rafraîchir la place, ils peuvent y modifier dura-

blement l'écoulement du vent. Cet effet peut se combiner aux autres pour lutter contre les canicules. Après ces simulations au cœur de Zurich, les chercheurs vont maintenant affiner leur programme afin de permettre aux urbanistes de calculer plus en détail la manière d'affronter les changements climatiques.

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s305

Photos: Empa, Peter Baracchi

RECETTE POUR L'ÉCO-BÉTON

Le ciment doit devenir plus respectueux de l'environnement. C'est pourquoi les chercheurs de l'Empa travaillent sur la mise au point d'un ciment de substitution qui émet nettement moins ou qui peut même lier le dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre.

Texte: Andrea Six



BILAN CARBONE

Meilleur équilibre climatique désiré : si 1 tonne de ciment conventionnel est produite, environ 800 kilogrammes de dioxyde de carbone vont être émis dans l'atmosphère.

Photo: iStock

C'est le produit le plus utilisé dans le monde. Le ciment est indispensable mais en même temps dénigré dans le débat sur le climat. Mélangé à l'eau, au sable et au gravier, le béton dont les épaules portent notre monde moderne est là. Mais ce matériau économe attire avant tout l'attention en raison d'une autre propriété: si une tonne de ciment est produite, environ 700 kg de dioxyde de carbone vont s'échapper dans l'atmosphère. C'est moins que dans le cas de l'extraction de l'acier ou de l'aluminium, par exemple. Mais c'est la quantité qui fait la différence. Chaque année, nous produisons environ douze kilomètres cubes de béton dans le monde entier, une quantité qui pourrait remplir complètement le lac des Quatre-Cantons – chaque année. Et la tendance est à la hausse.

La part des émissions mondiales de dioxyde de carbone dues à l'industrie du ciment est actuellement d'environ 7%. Toutefois, il est probable que cette tendance s'accroîtra à l'avenir, car la demande augmente en Asie et également en Afrique, tandis que la production en Europe est stable. Il est donc grand temps de chercher du ciment qui offre des logements et des infrastructures à la population, tout en tenant compte des aspects environnementaux et qui peut être produit conformément aux objectifs climatiques. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) préconise également la mise au point et l'utilisation immédiates de nouveaux matériaux à base de ciment qui soient plus respectueux du climat et plus économiques. C'est pourquoi les chercheurs de l'Empa travaillent sur d'autres types de ciment et de béton qui produisent moins de gaz à effet de serre ou qui fixent même le dioxyde de carbone.

«Le ciment est traditionnellement brûlé dans un four rotatif à environ

«Un béton CO₂ négatif serait un véritable ami du climat»

1450 degrés Celsius», explique Frank Winnefeld, chercheur de l'Empa au Concrete/Construction Chemistry Laboratory. Les combustibles fossiles peuvent être remplacés par des énergies alternatives. «Cependant, avec un degré de substitution moyen de 50 pour cent avec les technologies actuelles, le potentiel d'économies est déjà épuisé, du moins en Europe», déclare Winnefeld. Cependant, il est possible d'économiser plus d'énergie en utilisant des matières premières qui nécessitent une température de combustion plus basse. Un candidat prometteur est le ciment CSA à base de sulfoaluminat de calcium. Il nécessite une température de cuisson inférieure de 200 degrés et émet environ 200 kilogrammes de dioxyde de carbone en moins par tonne de ciment. Cependant, la réduction des émissions de gaz à effet de serre n'est pas seulement due à la baisse de la température de cuisson. Une grande partie de l'avantage climatique du ciment CSA est due à une plus faible quantité de calcaire dans le mélange de matières premières.

UNE DEMANDE ÉNORME

Le calcaire est à l'origine de la majorité des émissions de CO₂ lors d'une réaction chimique de la production de ciment. Réduire la proportion de calcaire est donc un aspect intéressant dans le développement de l'éco-ciment. En plus du ciment CSA, il s'agit, par exemple, de constituants qui s'accumulent comme déchets dans d'autres branches de l'industrie. Il s'agit notamment des scories provenant des hauts fourneaux utilisés dans la production de fonte brute et des cendres volantes provenant de la combustion du charbon. Les deux produits peuvent être mélangés avec du ciment pour aider à réduire les émissions de CO₂.

Mais ces matières premières secondaires ne peuvent répondre à la demande gigantesque de l'industrie. C'est pourquoi les chercheurs de l'Empa innovent et identifient des branches industrielles dont les résidus sont encore peu utilisés. «La récupération métallurgique des métaux précieux à partir des déchets électroniques laisse un laitier de haute qualité qui peut également être mélangé au ciment sous forme de poudre», explique Winnefeld. Si la teneur en métaux lourds est conforme aux normes légales, ce ciment pourrait également être utilisé en Suisse. La bonne nouvelle, c'est que les sédiments de la «mine urbaine» provenant des restes de nos téléphones portables et ordinateurs hors d'usage continueront à augmenter à l'avenir.

BÉTON ET CIMENT

La production de béton entre globalement pour 6% – en Suisse 9% – dans les émissions humaines de CO₂. Sa recette de base: pour un mètre cube de béton, mélanger 300 kg de ciment, 180 litres d'eau et 1890 kg de granulats. Les émissions de CO₂ proviennent essentiellement de la production du ciment qui passe par une cuisson à 1450°C, laquelle libère le CO₂ entrant dans la composition du calcaire. La production annuelle mondiale de ciment est de 2,8 milliards de tonnes.

Selon le chercheur, il est également possible d'utiliser des déchets minéraux de construction pour le ciment mélangé.

Le type d'additifs dans le ciment pourrait même être modifié de telle sorte que le processus de combustion pourrait être complètement éliminé. Dans les ciments dits alcali-activés, les composants tels que le laitier, les cendres ou l'argile calcinée sont animés jusqu'à la réaction chimique souhaitée par des solutions alcalines fortes telles que des silicates de sodium. Les produits de cette réaction se combinent en-

suite pour former un matériau dont la résistance à la compression correspond à celle du ciment conventionnel brûlé.

LE GAZ CLIMATIQUE BANNI DANS LE BÉTON

La capacité de lier le dioxyde de carbone dans le béton au lieu de le libérer est également une caractéristique ingénieuse. Un béton CO₂ négatif serait un véritable ami du climat. Les chercheurs de l'Empa travaillent par exemple sur un ciment à base de magnésium qui servira de base à cet éco-béton. Les ressources pour la matière première sont disponibles dans les régions où l'olivine contenant du magnésium se trouve dans le sol. Le minéral se trouve principalement dans les profondeurs du manteau terrestre. Cependant, s'il est transporté à la surface de la terre par l'activité volcanique, par exemple en Scandinavie, il peut être dégradé. Dans la production de ciment à partir d'olivine, le dioxyde de carbone est ensuite ajouté au silicate de magnésium brut. Et comme une partie seulement de la matière est brûlée au cours d'une étape de traitement ultérieure, la combustion du ciment produit moins de CO₂ qu'elle n'en consommait auparavant. Bien que le résultat porte déjà un nom accrocheur («MOMS», oxyde de magnésium dérivé des silicates), ses propriétés sont encore largement inexplorées.

UNE DIVERSITÉ CROISSANTE

Pour s'assurer que de telles approches ne se transforment pas en produits de niche, mais peuvent être produites de manière industrielle et rentable, des analyses méticuleuses doivent démontrer que l'éco-ciment répond aux mêmes exigences que les produits conventionnels. De nombreux autres types de ciment n'ont actuellement pas les recettes simples pour ajouter de nouveaux constituants ou modifier les procédés de fabrication sans compromettre les propriétés convoitées du ciment traditionnel. Tant que la performance au moins



MEILLEUR BÉTON
Le scientifique de l'Empa Alex German étudie des composants alternatifs à base de magnésium qui peuvent être utilisés pour la production de béton au bilan L'oxyde de magnésium et l'hydromagnésite donnent au mortier de laboratoire respectueux du climat sa couleur blanche.

Photos: Empa

Photos: Empa

équivalente de l'éco-ciment ne peut être démontrée sans l'ombre d'un doute, le ciment Portland classique, matériau de construction économique et caractérisé de manière optimale, restera le matériau décisif pour les ingénieurs civils.

Les chercheurs cimentiers de l'Empa analysent actuellement les rapports de mélange chimique et les critères de conformité tels que la résistance et la durabilité de nouveaux types de ciment, ouvrant ainsi la voie à des homologations conformes aux normes. Il s'agit notamment d'enquêtes à petite échelle et à une échelle gigantesque.

Outre les études chimiques, les analyses microscopiques et la modélisation thermodynamique, qui permettent d'étudier les réactions à l'intérieur du ciment, la capacité portante de grands composants de différents types de ciment est également comparée.

«Les processus industriels doivent encore être optimisés, car ils sont encore trop coûteux dans de nombreux cas», explique Winnefeld. Il est déjà clair, cependant, que d'autres types de ciment peuvent être utilisés pour produire un béton d'une durabilité comparable, voire meilleure.

Quoi qu'il en soit, un développement est déjà en train d'émerger: la variété des produits de ciment et de béton va augmenter à l'avenir. Pour les producteurs de matériaux de construction, cette diversité s'accompagne d'exigences accrues. En outre, Winnefeld est convaincu que l'utilisation de matières premières secondaires rendrait les solutions locales plus attrayantes en l'absence de voies de transport, par exemple parce que des résidus industriels appropriés sont produits près d'une cimenterie. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s308



Empa live – Wo Innovation beginnt

TAG DER OFFENEN TÜR



TAG DER OFFENEN TÜR
Empa, Dübendorf
Samstag, 9. Mai 2020
openday.empa.ch

Forschung für die Schweiz.
Seit 140 Jahren.

Empa

1880
2020

UNE MAIN MYSTÉRIEUSE



UNE TECHNIQUE DE POINTE
La main contient des métaux provenant de toute l'Europe

La main de Prêles – datée d'il y a 3500 ans – serait la plus ancienne sculpture en bronze d'un élément du corps humain trouvée en Europe centrale. Découverte par deux privés, elle a été remise au Service archéologique du canton de Berne. Marianne Senn, chercheuse de l'Empa et spécialiste reconnue en archéométaballurgie, a participé aux analyses. Elle a pu déterminer que le métal avait été coulé, ce qui, à l'époque, était une technologie de pointe. Pour l'équipe de chercheurs qui s'est penchée sur cette main, le métal proviendrait du Valais ou des Alpes françaises.

www.empa.ch/web/s604/bronzehand-preles



ABRASION
La majeure partie des micro-gommes disséminées dans l'environnement provient de l'usure des pneus

BEAUCOUP DE CAOUTCHOUC DANS L'ENVIRONNEMENT

L'usure des pneus produit des microparticules de caoutchouc qui se dispersent dans les sols et les eaux ainsi que, dans une moindre mesure, dans l'air. La quantité de ces particules dans l'environnement est tout sauf modeste. Des chercheurs de l'Empa ont calculé que ces trente dernières années, 200 000 tonnes de micro-gommes s'y étaient accumulées, majoritairement dans une bande de cinq mètres sur la gauche et la droite des routes. Une bonne part aboutit aux stations d'épuration, ou alors est recyclée avec le vieil asphalte. Le caoutchouc ne semble pas présenter de problème pour le corps humain. La proportion de poussières de pneus dans les particules fines que nous inhalons dépend de la proximité du trafic routier mais reste de l'ordre de quelques pourcents.

www.empa.ch/web/s604/mikrogummi

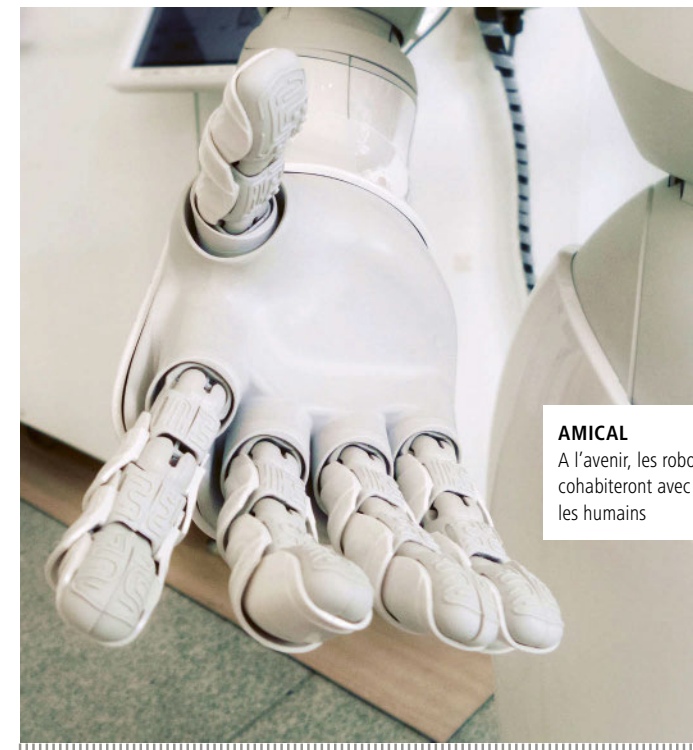
Photos: P. Joner (Archäologischer Dienst des Kt. Bern), Unsplash

Photos: Empa, Unsplash

RÉSEAU DE RECHERCHES DE ROBOTIQUE

L'Empa a rejoint le Pôle de recherche national (PRN) Robotique du Fonds national suisse (FNS). Dirigé par les EPF de Zurich et de Lausanne, il compte également dans ses rangs les Universités de Berne et de Zurich, ainsi que l'«Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale» de Lugano. Son objectif est de mettre au point des robots intelligents pour améliorer la qualité de vie des personnes et servir la société. Ce programme multidisciplinaire doit permettre à la Suisse de rester à la pointe de la recherche internationale en robotique.

www.nccr-robotics.ch



AMICAL
À l'avenir, les robots cohabiteront avec les humains



SILENCE
Des structures cristallines de grande taille absorbent les sons

ATTÉNUER LES BASSES FRÉQUENCES

Une équipe d'acousticiens de l'Empa a réalisé des structures cristallines macroscopiques dont les rotations internes atténuent sensiblement la propagation des ondes sonores. Cette technique permet de réaliser des matériaux légers et rigides qui «absorbent» aussi très bien les basses fréquences.

www.empa.ch/web/s604/phononischer-kristall

DIAGNOSTIC FIABLE POUR LA MÈRE ET L'ENFANT

La pré-éclampsie est une complication de la grossesse particulièrement redoutée qui menace la vie de la mère et de l'enfant. Cependant, un diagnostic prend actuellement beaucoup de temps et il est inexact.

Le spin-off de l'Empa «MOMM Diagnostics» met au point un test rapide et précis qui permet d'obtenir une clarté précoce tout en réduisant les coûts de la santé.

Texte: Andrea Six



DÉTENDUE

MOMM-Diagnostics développe un nouveau test qui donne aux femmes enceintes une certitude précise et rapide.

Les nausées, l'enflure des mains ou l'essoufflement sont des symptômes typiques auxquels les femmes enceintes doivent faire face. Cependant, ces symptômes moins spécifiques peuvent aussi être des signes d'empoisonnement pendant la grossesse. La pré-éclampsie se manifeste souvent lentement et de manière discrète comme un malaise général, jusqu'à ce que la mère et l'enfant deviennent soudainement une urgence médicale jusqu'à mettre

leur vie en danger. En Suisse, environ 2% de toutes les femmes enceintes souffrent de cette maladie; environ 500 000 enfants et 76 000 mères en meurent chaque année dans le monde.

Aussi dangereux que soit le tableau clinique complexe, sa cause n'est pas claire. Les modifications des vaisseaux sanguins, de la régulation de la tension artérielle et des organes internes peuvent entraîner des naissances prématurées, des défaillances d'organes et

même la mort de la mère et de l'enfant. La pré-éclampsie peut être ralentie dans les premiers stades avec des traitements simples comme avec de l'aspirine et du magnésium. Cependant, jusqu'à ce jour, il est difficile de diagnostiquer la pré-éclampsie sans aucun doute et de manière adéquate. La société bâloise «MOMM Diagnostics», un nouveau spin-off de l'Empa, met au point un test simple et précis qui apporte une certitude en quelques minutes.

TRAITEMENT OPTIMAL

Actuellement, deux changements physiques, qui sont déjà des conséquences d'un empoisonnement pendant la grossesse, sont les critères diagnostiques courants de la maladie: si la tension artérielle de la mère augmente et que certaines protéines sont présentes dans l'urine, la suspicion devient évidente. Le problème est que les deux symptômes ne signifient pas nécessairement une pré-éclampsie et conduisent donc à des hospitalisations inutiles, voire à

des traitements incorrects. De plus, la circulation sanguine et la fonction rénale sont déjà affectées dans la phase de la maladie dans laquelle elle est normalement diagnostiquée.

C'est là qu'intervient le test «MOMM Diagnostics». «Nous analysons deux biomarqueurs très spécifiques dans le sang maternel», explique Mathias Wipf, PDG et co-fondateur de l'entreprise. Avec un dosage immunologique très sensible, les deux marqueurs sont déjà détectés à des concentrations minimales de plusieurs picogrammes par millilitre à l'aide d'anticorps. La spécificité et la sensibilité du test sont significativement plus élevées que celles du diagnostic clinique actuel.

PETIT BIOCAPTEUR

Ce qui est élégant, c'est que le minuscule biocapteur pour la détection des marqueurs est imprimé sur une bande de papier. Une goutte de sang du doigt de la mère suffit pour détecter les molécules à l'aide du minuscule système de détection. «En principe, le système ressemble à un test de grossesse», explique le chercheur qui a développé le biocapteur dans le laboratoire «Transport at Nanoscale Interfaces» de l'Empa. «Cependant, les résultats sont analysés électroniquement.» C'est un autre avantage du nouveau test: la bande de papier peut être évaluée à l'aide d'un lecteur pratique. Comme les femmes enceintes se rendent de toute façon régulièrement à des examens médicaux préventifs, le test peut déjà être effectué dans le cabinet du gynécologue et il n'est pas nécessaire de transporter des échantillons de sang à un laboratoire central. Cela permet de gagner un temps précieux – un temps précieux pendant lequel un traitement optimal peut déjà être commencé.

FAUSSE ALERTE PESANTE

Un autre facteur à ne pas sous-estimer est le gain de temps: la femme

ANALYTIQUE
Mathias Wipf, PDG et co-fondateur de MOMM-Diagnostics, s'appuie sur des biomarqueurs très spécifiques.



enceinte n'a pas à attendre longtemps un résultat de laboratoire et il n'y a aucune incertitude quant à savoir si le transfert préventif à l'hôpital correspond à la menace liée à son état.

Markus Hodel, chef du service d'obstétrique et de médecine fœto-maternelle de l'Hôpital cantonal de Lucerne, est souvent confronté à des patientes qui souffrent d'empoisonnement de grossesse. Il se félicite de l'élaboration du nouveau test MOMM. «Cela nous permet d'évaluer individuellement le risque de la femme enceinte à un stade précoce», explique Markus Hodel. De plus, le suivi des grossesses à haut risque et le traitement adéquat des patientes peuvent être optimisés. «Étant donné que le test a également le potentiel d'éviter une hospitalisation inutile, le système de santé pourrait être soulagé», a déclaré le médecin. Auparavant, un patient était admis à l'hôpital à titre de précaution si le test conventionnel échouait de façon suspecte. Cependant, une étude impliquant Markus Hodel montre maintenant qu'un test sensible, tel que la nouvelle technologie du biocapteur MOMM, qui peut être effectué directement dans le cabinet

du médecin, a un potentiel d'économie important. En Suisse, des économies annuelles d'environ deux millions de francs suisses pourraient être réalisées dans le domaine des soins de santé si le gynécologue avait recours à un test «Point-of-care» ou, en abrégé, à un test POC au lieu de l'ancienne procédure.

GRAND POTENTIEL SUR LE MARCHÉ

Aux États-Unis, la technologie est déjà en instance de brevet. Mathias Wipf et son équipe développent actuellement un prototype; une collaboration étroite est prévue avec le centre de recherche et développement du CSEM à Neuchâtel et la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse. Le spin-off de l'Empa, fondée en 2018, sera soutenu par un «FET Innovation Launch Pad», un programme de financement de l'UE pour les start-up dans le domaine des «technologies futures et émergentes». Et à partir de 2020, de nouveaux investisseurs pourront rejoindre la start-up. Le test POC du biocapteur devrait être prêt à être mis sur le marché d'ici 2023. ■

Pour plus d'information:
www.mommdiagnosics.com

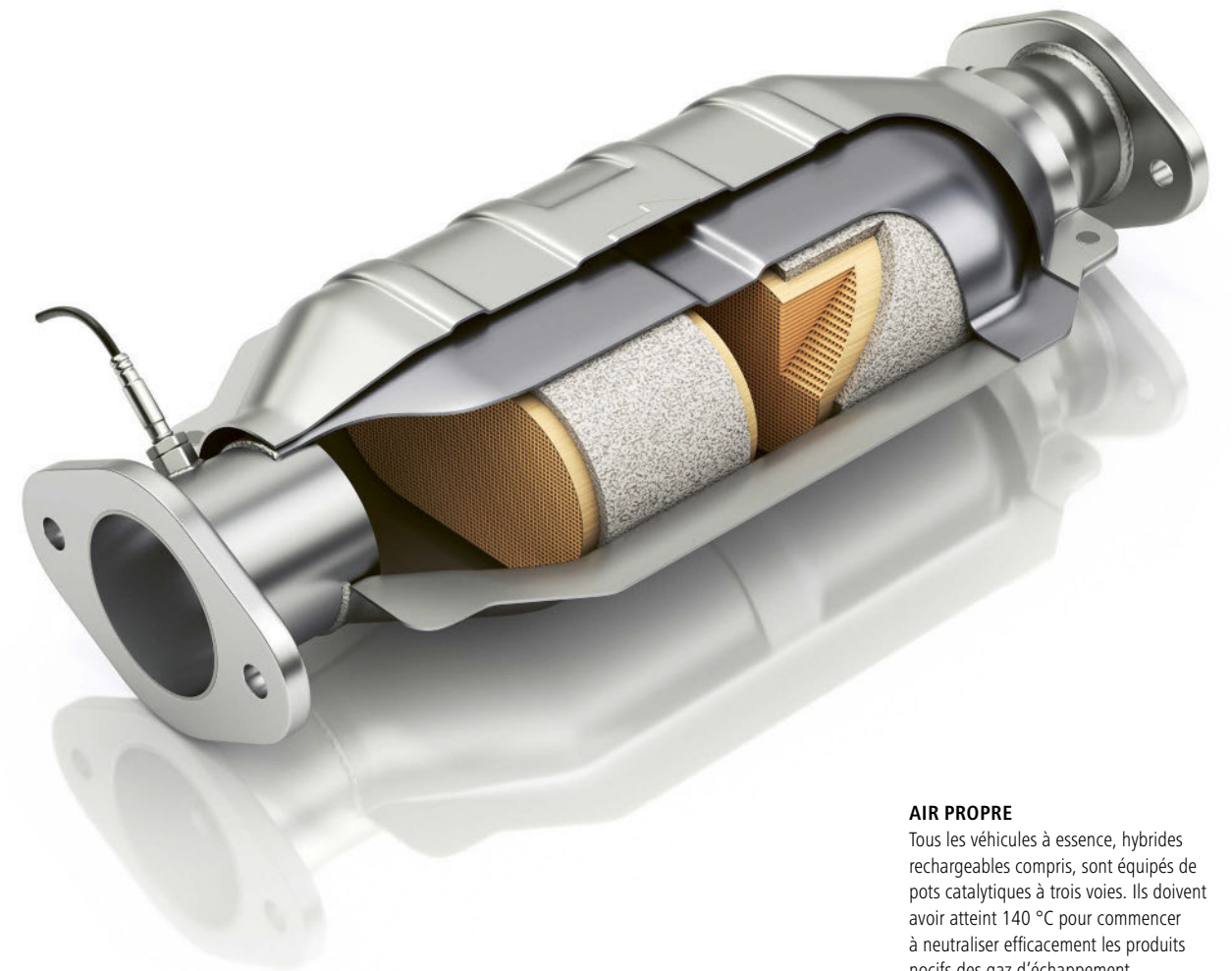
Photo: Empa

Photo: iStock

LE DILEMME DU DÉMARRAGE À FROID

Les moteurs thermiques des voitures hybrides et hybrides rechargeables démarrent à froid plus souvent que ceux des voitures habituelles. C'est en particulier le cas chaque fois que la voiture quitte une ville, passant du mode électrique au mode essence. Comment préchauffer le catalyseur pour qu'il épure rapidement les gaz d'échappement? Quelle méthode choisir? Une équipe de l'Empa a calculé tout cela.

Texte: Rainer Klose



AIR PROPRE

Tous les véhicules à essence, hybrides rechargeables compris, sont équipés de pots catalytiques à trois voies. Ils doivent avoir atteint 140 °C pour commencer à neutraliser efficacement les produits nocifs des gaz d'échappement.

De janvier à septembre 2019, environ 17 000 voitures hybrides rechargeables ont été mises en circulation en Suisse, soit 60 % de plus que l'année précédente. La tendance est fortement à la hausse. Ces voitures peuvent rouler quelques kilomètres sur leurs batteries, généralement en ville. Elles n'utilisent leur moteur à combustion qu'en périphérie, lorsque la conductrice s'élance sur l'autoroute ou sur une route de campagne. Le hic est que le moteur démarre alors à froid et tourne immédiatement à pleine charge et plein régime. A l'inverse de ce qui se passe avec une voiture normale.

L'épuration des gaz d'échappement est-elle assurée dans ces conditions? Les catalyseurs (ou pots catalytiques) prescrits depuis les années 1980 y sont-ils adaptés? Viola Papetti et Panayotis Dimopoulos Eggenschwiler ont étudié la question à l'aide de leur propre modèle mathématique. Ils en tirent des recommandations sur la manière dont on pourrait à l'avenir préchauffer les catalyseurs pour en assurer l'efficacité.

UN POT N'EST BON QUE CHAUD

Lors d'un départ à froid, les gaz de combustion issus du moteur arrivent dans un catalyseur froid. Or celui-ci doit être amené à bonne température pour assurer sa fonction. Tant qu'il est froid, le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NOx) et les hydrocarbures non brûlés le franchissent sans autre et sont rejetés par l'échappement. Les plafonds d'émissions que les véhicules modernes Euro-6 doivent respecter ne peuvent l'être que lorsque le catalyseur est chaud. Entre froid et chaud, la différence est abyssale: dans les trois premières minutes suivant un démarrage à froid, une voiture émet plus de polluants que sur 1000 km parcourus avec un moteur chaud.

«Lors d'un démarrage à froid, même les hybrides rechargeables modernes rejettent des substances nocives pendant plusieurs minutes.»

Pour leurs calculs, les chercheurs ont modélisé un catalyseur typique de moteur à essence de 2,0 litres. Leur programme – réalisé sur la plateforme en open-source «OpenFOAM» – leur a permis de déterminer la manière dont les gaz d'échappement chauffaient la structure en nid d'abeille et la fine couche de cristaux dite washcoat du catalyseur. Le pot est tout d'abord «foehné» à chaud par les gaz d'échappement. La chaleur se propage à la céramique et à l'enveloppe métallique du pot. Bientôt, les premières réactions chimiques s'opèrent dans la partie avant du catalyseur, décomposant partiellement les produits nocifs. Il en résulte un nouvel apport de chaleur qui portera le reste du pot à la température voulue.

PLUSIEURS MINUTES SANS ÉPURATION DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT

L'une des simulations prend le cas d'une voiture normale démarrant un jour d'hiver par -13°C. Durant les 30 premières secondes, il ne se passe strictement rien dans le catalyseur... Puis la température de son premier quart augmente. Après quelques minutes, c'est au tour du second quart de chauffer. Le troisième quart n'atteint une température intéressante qu'après trois minutes. En tout, trois minutes et demi sont nécessaires pour que les trois quarts du catalyseur atteignent 140°C et assurent ainsi l'épuration d'une bonne part des gaz d'échappement.

SCÉNARIO POUR LES VOITURES HYBRIDES RECHARGEABLES

Les chercheurs ont répété l'exercice pour une voiture hybride. Ils ont posé que le pot avait déjà été chauffé une première

fois, puis s'était refroidi dans le trafic urbain – marqué de nombreux arrêts et reprises – effectué en mode électrique, sur les batteries. La température du pot «refroidi» ne tombait généralement pas sous 90°C, mais trois minutes restaient nécessaires pour bien le chauffer. Sa température initiale résiduelle s'est toutefois avérée utile à l'activation des premières réactions chimiques.

Enfin, les chercheurs ont simulé un départ à froid sur une entrée d'autoroute, scénario typique des hybrides rechargeables qui roulent en mode électrique jusqu'en périphérie urbaine, puis passent à l'essence. Dans ce cas, le catalyseur est initialement à -13°C et voit passer un double volume de gaz d'échappement. Il ne lui faut maintenant que 90 secondes pour atteindre une température assurant l'épuration de tous les gaz, cela grâce au "foehnage" plus intense par les gaz d'échappement qui activent plus rapidement et plus vigoureusement les réactions chimiques.

PEUT-ON PRÉCHAUFFER UN POT CATALYTIQUE?

La mauvaise nouvelle est donc que même les hybrides rechargeables les plus modernes rejettent des substances nocives durant plusieurs minutes après chaque démarrage à froid. Cela pourra s'avérer problématique lorsque, dans les années à venir, l'UE renforcera ses prescriptions sur les gaz d'échappement. La question ne peut être résolue que par le chauffage rapide du catalyseur lors du démarrage du moteur ou, mieux encore, avant son démarrage. Comment s'y prendre? «Je vois trois possibilités», explique Dimopoulos Eggenschwiler.

CHAUD

Silencieux porté à chaud sous la caisse d'une voiture. On n'a compté jusqu'à présent que sur la chaleur du moteur pour épurer les gaz d'échappement. A l'avenir, on pourrait préchauffer électriquement les catalyseurs afin de prévenir l'émission des substances nocives lors des démarrages à froid.



Faire que le moteur rejette des gaz d'échappement plus chauds, mais cela a son coût en carburant; utiliser le courant des batteries pour préchauffer électriquement les gaz d'échappement; préchauffer le washcoat du catalyseur par micro-ondes, une idée développée par l'Empa et bientôt prête pour la production en série.» Mais laquelle de ces méthodes permet d'éviter le plus efficacement le rejet de produits nocifs? Laquelle consomme le moins d'énergie?

Nos chercheurs l'ont calculé: lors d'un démarrage à froid en ville, le plus avantageux est de ne préchauffer que les gaz. Lors d'un démarrage à froid sur l'autoroute, cela consommerait trop d'énergie eu égard à la quantité de gaz d'échappement en jeu. Il est alors

préférable de préchauffer le washcoat. «Finalement, c'est en combinant les méthodes que nous obtenons les meilleurs résultats», précise Viola Papetti qui a effectué les simulations.

ÉGALEMENT UTILE POUR LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

«Une chose encore!» remarque Panayotis Dimopoulos en fin d'entretien. Il sourit comme Steve Jobs lors d'une présentation de iPhone. «Depuis quelque temps, nous appliquons également ces méthodes de calcul aux voitures électriques.» Le programme de simulation des chercheurs de l'Empa peut en effet, déterminer la répartition de la chaleur dans le pot d'échappement d'un moteur thermique, mais également dans les accumulateurs lithium-ion. Ce qui en

fait un parfait outil d'optimisation du refroidissement des voitures électriques, également lors de la recharge des batteries en station. Cette deuxième application du logiciel n'est pas négligeable car la recharge rapide des batteries dépend d'un bon suivi de la température et du bon réglage du refroidissement. ■



«L'intelligence numérique seule ne suffit pas pour réagir spontanément à l'environnement dans toute son impondérabilité.»



DANSE AVEC LES DRONES

Mirko Kovac est directeur du nouveau «Centre des matériaux et de la technologie de la robotique» de l'Empa et de l'Imperial College de Londres. Avec son équipe, il développe des drones et des robots volants, qui sont censés aider de manière autonome à l'entretien des bâtiments, par exemple. Et en même temps, il lance une révolution: il veut construire des machines «vivantes».

Texte: Andrea Six

Cet homme adore les machines et la vie. Il veut fusionner les deux. Mirko Kovac mène des recherches sur des robots et des drones qui, grâce à leurs propriétés biologiques, peuvent unir l'intelligence numérique des ordinateurs avec l'intelligence physique des systèmes biologiques. Animé par la vision d'une société dans laquelle les individus sont soutenus par des machines à un degré qui correspond au «vivre ensemble», il dirige depuis l'année dernière le nouveau Centre de matériaux et de technologie de la robotique à Dübendorf. Une arène volante pour drones, qui pourrait par exemple servir à l'entretien des bâtiments, est en cours de construction dans les centres communs de l'Empa et de l'Imperial College de Londres. Avec son équipe, Kovac veut faire progresser l'ensemble de la robotique d'infrastructure afin que des applications puissent également être

développées pour des barrages, tunnels, éoliennes ou installations offshore.

Un problème actuel et urgent est que les travailleurs qui travaillent sur des échafaudages ou en hauteur, par exemple, sont exposés à un risque énorme d'accidents. Des drones qui travaillent efficacement et en toute sécurité, même dans des zones dangereuses ou dans des endroits difficiles d'accès, pourraient fournir aux ressources humaines un soutien utile.

LES DRONES DANS LA CUISINE

«Nous allons développer et valider de telles applications dans la nouvelle arène de vol», explique le chercheur. Kovac, qui dirige également le Centre d'excellence pour les écosystèmes robotiques d'infrastructure à l'Imperial College, y exploite déjà une arène de vol complémentaire. Outre l'expertise de l'Empa dans le domaine de la recherche sur les matériaux, les conditions locales se caracté-

Photos: Robert Stürmer / Empa

CRÉATIF

Les machines fusionnent avec l'intelligence de la vie : Mirko Kovac, Directeur du nouveau Centre de Matériaux et Technologie de la Robotique.



BÉNÉFIQUE

Le chercheur est convaincu que les robots peuvent apporter une contribution précieuse à la société.

INTELLIGENT

Grâce à des matériaux fonctionnels, l'intelligence numérique des drones et des robots sera dotée d'une intelligence physique.



MIRKO KOVAC

VENANT Après des études d'ingénieur mécanicien à l'ETH Zurich, Kovac a obtenu son doctorat au Laboratoire des systèmes intelligents de l'EPFL à Lausanne. Il a ensuite travaillé comme stagiaire postdoctoral au Harvard Microrobotics Laboratory de l'Université Harvard à Cambridge, aux États-Unis.

SCIENCE Mirko Kovac dirige depuis décembre 2018 le Centre des matériaux et de la technologie pour la robotique de l'Empa. Il est également directeur de l'Aerial Robotics Laboratory de l'Imperial College de Londres. Ses recherches portent sur le développement de solutions robotiques volantes et souples pour les systèmes d'infrastructure numérique.

risent également par l'existence d'un site d'essai pour les développements: Le bâtiment de recherche NEST sur les campus de l'Empa et de l'Eawag. Ici, les drones et les robots doivent être observés au travail dans un environnement réel et ensuite optimisés. Le bâtiment modulaire d'innovation NEST est particulièrement adapté à l'observation de l'«écosystème» de l'homme et de la machine, car il est par définition soumis à un processus de reconstruction continu, de sorte que les robots peuvent s'attendre à une multitude de tâches possibles. «Nous avons l'occasion d'étudier les interactions entre les robots et les humains dans la réalité», dit Kovac. La cohabitation avec ces robots et les dérangements qui en découlent peuvent être étudiés dans des situations réelles de la vie quotidienne qui peuvent, en même temps, être analysées scientifiquement.

Mirko Kovac, qui, après avoir obtenu son diplôme d'EPF, a travaillé dans la recherche en robotique à l'échelle internationale, par exemple dans les universités

américaines renommées Harvard et Berkeley, considère la Suisse comme un site fort qui s'appelle à juste titre la «Silicon Valley of robotics». La densité des institutions de recherche et la diversité des compétences sont agréablement élevées comparé aux normes internationales.

Le chercheur veut déclencher rien de moins qu'une révolution. Alors que la robotique classique s'est occupée de la technologie des capteurs et de la commande des machines par ordinateur, Mirko Kovac veut aller plus loin. «L'intelligence purement numérique d'un ordinateur ne suffit pas pour développer des applications capables de réagir spontanément à l'environnement dans toute son impondérabilité», dit-il. Une intelligence physique, à travers des matériaux et des structures intelligents, fait d'une machine un être qui peut être intégré dans une société. Les fonctionnalités basées sur la nature et les matériaux biologiques permettront à terme la construction de robots biohybrides.

LA BIOLOGIE DE LA MACHINE

La fusion des machines avec «bios», en grec ancien la vie, est pour Kovac – dans certaines limites – un but déclaré et non un tabou. Il ne s'intéresse nullement à la création d'une chimère d'animaux et de robots, mais plutôt à doter les aides mécaniques de certaines caractéristiques de la vie, notamment la capacité d'interagir avec l'environnement. «Les robots et les drones doivent être capables de réagir intelligemment, indépendamment et de manière robuste à leur environnement», explique-t-il.

Depuis son enfance, Mirko Kovac, 39 ans, est fasciné par ce qui fait la cohésion des machines. «Enfant, j'ai démonté des montres suisses parce que je devais savoir où battait le 'cœur' de la montre», dit-il. En même temps, il était fasciné par la capacité des animaux à

vivre de manière parfaitement adaptée dans leurs niches écologiques. Cette fascination enfantine est née de la prise de conscience de l'ingénieur mécanicien que les machines «vivantes» peuvent être développées grâce à l'inspiration et à la créativité si des matériaux et des structures organiques ou biologiques intelligents sont combinés à la technologie des capteurs et à l'informatique. Cela nécessite également qu'une communauté de scientifiques solide et multidisciplinaire, qui se concentrent non seulement sur leurs domaines de recherche, mais qui travaillent également en réseau et de manière holistique sur ces domaines, encourage cette créativité.

A l'Empa, Mirko Kovac et son équipe développent aujourd'hui des robots et des drones qui, grâce à des matériaux fonctionnels 'doux', sont censés avoir des capacités totalement nouvelles. Cela permet, par exemple, d'effectuer des contrôles indépendants des composants ou de contenir rapidement les dommages, par exemple en cas de fuites dans les canalisations. Il est en collaboration non seulement avec l'Imperial College de Londres, mais aussi en Allemagne grâce à la participation de l'Empa à l'axe de recherche national «Robotique - Robots intelligents pour une meilleure qualité de vie» de l'ETH Zurich et de l'EPFL. Il est conscient qu'un sujet tel que la coexistence des humains et des robots peut susciter à la fois des préoccupations et de l'enthousiasme dans la société. «C'est l'une des tâches de la recherche que de remettre en question de façon critique les résultats et de communiquer les évaluations des risques réels aux décideurs», dit Mirko Kovac. Même son amour des machines ne peut l'en empêcher. ■

Pour plus d'information:
www.empa.ch/web/s799

Photos: Robert Stürmer / Empa

CÉLÉBRER L'INTERDISCIPLINARITÉ



SUR LA ROUTE
Les doctorants de l'Empa présenteront les différents thèmes de recherche lors du symposium annuel.

Le 28 novembre, notre site de Saint-Gall accueillait le symposium annuel des doctorants de l'Empa. Placé sous le thème «Science Cocktail: Mixing Disciplines to Drive Innovation», il a débuté par une stimulante allocution du Professeur Neil Alford de l'Imperial College London, et s'est poursuivi par des exposés et des présentations de posters témoignant de la diversité des travaux entrepris par les doctorants. Nos cordiales félicitations à Oliver Braun et Rimah Darawish pour la meilleure présentation et le meilleur poster.

DISTINGUÉ POUR SON ŒUVRE DE PIONNIER DANS LES PRFC

Le 18 septembre, Urs Meier, ancien directeur de l'Empa de Dübendorf et expert en polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC) dans le bâtiment, s'est vu décerner la prestigieuse «SAMPE Fellow Award» en reconnaissance de ses remarquables contributions au domaine des matériaux et procédés.

www.empa.ch/web/s604/sampe-fellow-award



UN PRIX
Le «SAMPE Fellow Award» 2019 a été décerné à Urs Meier.

Photos: Empa



NEST À SWISSBAU 2020

En 2020, NEST participera de nouveau à Swissbau. Avec ses partenaires, il y organisera de passionnants ateliers sur les thèmes «L'énergie au niveau des quartiers» et «Efficacité énergétique et recyclage dans la construction». L'équipe du NEST participera à divers événements de la foire ainsi qu'à notre stand (F07) halle 1.0 Sud. Swissbau ouvrira ses portes du 14 au 18 janvier 2020.

WORKSHOPS

JONGLER INTELLIGEMMENT AVEC L'ÉNERGIE

Mardi 14 janvier 2020, 13:45 – 14:45
Foire de Bâle, halle 1.0 Sud, Swissbau Focus, salle 2

CIRCUITS ALIMENTAIRES EN ARCHITECTURE BLEUE-VERTE

Jeudi 16 janvier 2020, 15:00 – 16:00
Foire de Bâle, halle 1.0 Sud, Swissbau Focus, salle 3
En collaboration avec l'Eawag

CONSTRUCTION ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Vendredi 17 janvier 2020, 13:15 – 14:15
Foire de Bâle, halle 1.0 Sud, Swissbau Focus, salle 4
En collaboration avec eco-bau

PROJET ET RÉALITÉ – UNE DIVERGENCE SANS CONSÉQUENCES ?

Vendredi 17 janvier 2020, 14:15 – 15:45
Foire de Bâle, halle 1.0 Sud, Swissbau Focus, salle 1
En collaboration avec SCCER FEED&D et la SIA

nest.empa.ch/swissbau

SÉMINAIRES DE L'ACADÉMIE DE L'EMPA

(en allemand et en anglais)

16. JANUAR 2020

Tagung: Immissionsmessungen von High-end bis Low-cost

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.empa-akademie.ch/nabeltagung
Empa, Dübendorf

2.–7. FEBRUAR 2020

Tagung: Atomic, Cluster and Surface Physics

Zielpublikum: Wissenschaft
<https://sasp20.empa.ch>
St. Moritz

7. FEBRUAR 2020

Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion

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

6. MÄRZ 2020

Kurs: Tribologie

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/tribologie
Empa, Dübendorf

11. MÄRZ 2020

Kurs: Neue Trends in der Füge-technologie

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/fuegetech
Empa, Dübendorf

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

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Empa

Materials Science and Technology