

DOSSIER

DE NOUVEAUX MATÉRIAUX POUR L'AVENIR

Le magazine de l'Institut Paul Scherrer

02/2023

2023



DOSSIER: DE NOUVEAUX MATÉRIAUX POUR L'AVENIR

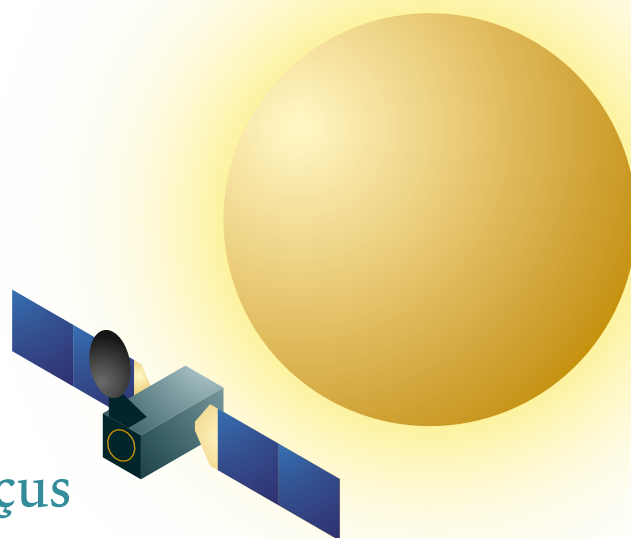


TOILE DE FOND

Ce dont le futur est fait

Depuis toujours, l'être humain utilise les matériaux trouvés dans la nature. Il leur donne forme, il les travaille et les modifie sans cesse. A cette fin, la première des conditions est de bien connaître leurs propriétés et leur structure. Les chercheuses et les chercheurs du PSI créent ce savoir.

Page 10



INFOGRAPHIE

Profondeur des aperçus et rigueur des tests

Les installations de recherche de l'Institut Paul Scherrer PSI forment un ensemble unique au monde. Elles offrent à la recherche et à l'industrie la possibilité d'acquérir du savoir. Celles-ci peuvent ainsi développer et tester de nouveaux matériaux pour des produits ou leur fabrication.

Page 16



TOILE DE FOND

Les structures les plus fines demandent du doigté

A l'ère du numérique, progrès et miniaturisation vont de pair. Mais pour tout réduire, il faut des matériaux fabriqués et traités au moyen de nouvelles méthodes. Au Laboratoire des technologies nanométriques et quantiques du PSI, les chercheurs développent des techniques innovantes de micro- et de nanofabrication.

Page 18

CONTENU

EDITORIAL	4
QUOTIDIEN	
«Pop» et brume	6
RECHERCHE	
Stocker de l'énergie par la pression	7
DOSSIER: DE NOUVEAUX MATÉRIAUX POUR L'AVENIR	8
TOILE DE FOND Ce dont le futur est fait	10
INFOGRAPHIE Profondeur des aperçus et rigueur des tests	16
TOILE DE FOND Les structures les plus fines demandent du doigté	18
EN IMAGE	
Les nanoparticules sous une nouvelle lumière	21
EN SUISSE	
Des médicaments sûrs grâce aux rayons X	22
La spin-off du PSI Excelsus Structural Solutions épaulé, depuis plus de dix ans, des entreprises de l'industrie pharmaceutique ou chimique dans l'analyse précise de médicaments.	
EN BREF	
Actualité de la recherche au PSI	26
<ol style="list-style-type: none"> 1 Encore optimiser les freins de voiture 2 Utiliser la lumière pour activer et désactiver des médicaments 3 Faire voler les avions de manière durable 4 L'énigme du smog nocturne élucidée 	
GALERIE	
Tour du monde des saveurs	28
Cinq chercheuses et chercheurs vous présentent en images leur mets préféré.	
PORTRAIT	
Précision suisse et tempérament grec	34
Iakovos Barmpadimos évalue les risques climatiques pour la société de réassurance SCOR. Ce physicien de l'atmosphère a acquis une bonne partie de ses connaissances pendant son doctorat au PSI.	
QUI SOMMES-NOUS?	38
IMPRESSUM	40
DANS LE PROCHAIN NUMÉRO	41



Christian Rüegg, directeur du PSI



Rendre la vie meilleure grâce à la recherche sur les matériaux

Nous sommes entourés d'une foule de matériaux, que nous manipulons pratiquement sans en être conscients. Cela va de soi et c'est indissociable de notre quotidien, de telle sorte que, la plupart du temps, cela ne nous effleure même pas l'esprit. Nous pensons très rarement au fait que ces matériaux doivent être fabriqués et que quelques-uns ont nécessité des siècles, voire des milliers d'années, de travail de développement, à l'instar de nombreux objets en métal et en céramique. Depuis l'âge de la pierre, découvrir, façonner et améliorer des matériaux fait partie des caractéristiques centrales de l'être humain. Cela fait de nous une espèce très particulière. En fin de compte, ces matériaux servent à nommer des époques entières, comme l'âge de pierre, l'âge du bronze et l'âge du fer.

Nous ne réussirons à relever les nombreux défis auxquels nous faisons face aujourd'hui que si nous parvenons à améliorer certains matériaux et à les adapter à de nouveaux besoins. La science des matériaux est au cœur de cette gageure. Elle englobe de multiples sous-spécialités et reste souvent difficile à délimiter par rapport à d'autres disciplines scientifiques – par exemple lorsqu'il s'agit de développer des procédés en vue de fabriquer de nouveaux matériaux. L'inverse est également vrai, par exemple lorsque nous devons développer d'abord de nouveaux matériaux pour pouvoir réaliser certains procédés ou certaines applications.

Dans tous les cas, beaucoup de chercheuses et de chercheurs au PSI travaillent en science des matériaux et coopèrent en outre avec les institutions du Domaine des EPF, notamment avec le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche Empa. Pour ce faire, ils utilisent l'ensemble, unique au monde, des grandes installations de recherche du PSI, dont fait partie la Source de Lumière Suisse SLS, dans le hall de laquelle je me trouve. Avec elle et d'autres grandes installations de recherche, nous scrutons la matière en profondeur, jusqu'au niveau de l'atome, pour comprendre ce qui se passe à l'intérieur. Les résultats servent ensuite de base pour développer de nouveaux matériaux, parfois pour des objets du quotidien, d'apparence triviale, parfois pour la médecine, pour l'approvisionnement énergétique ou encore pour les ordinateurs de demain. Mais l'objectif de notre recherche sur les matériaux reste toujours le même: rendre la vie des gens meilleure grâce à la technologie.

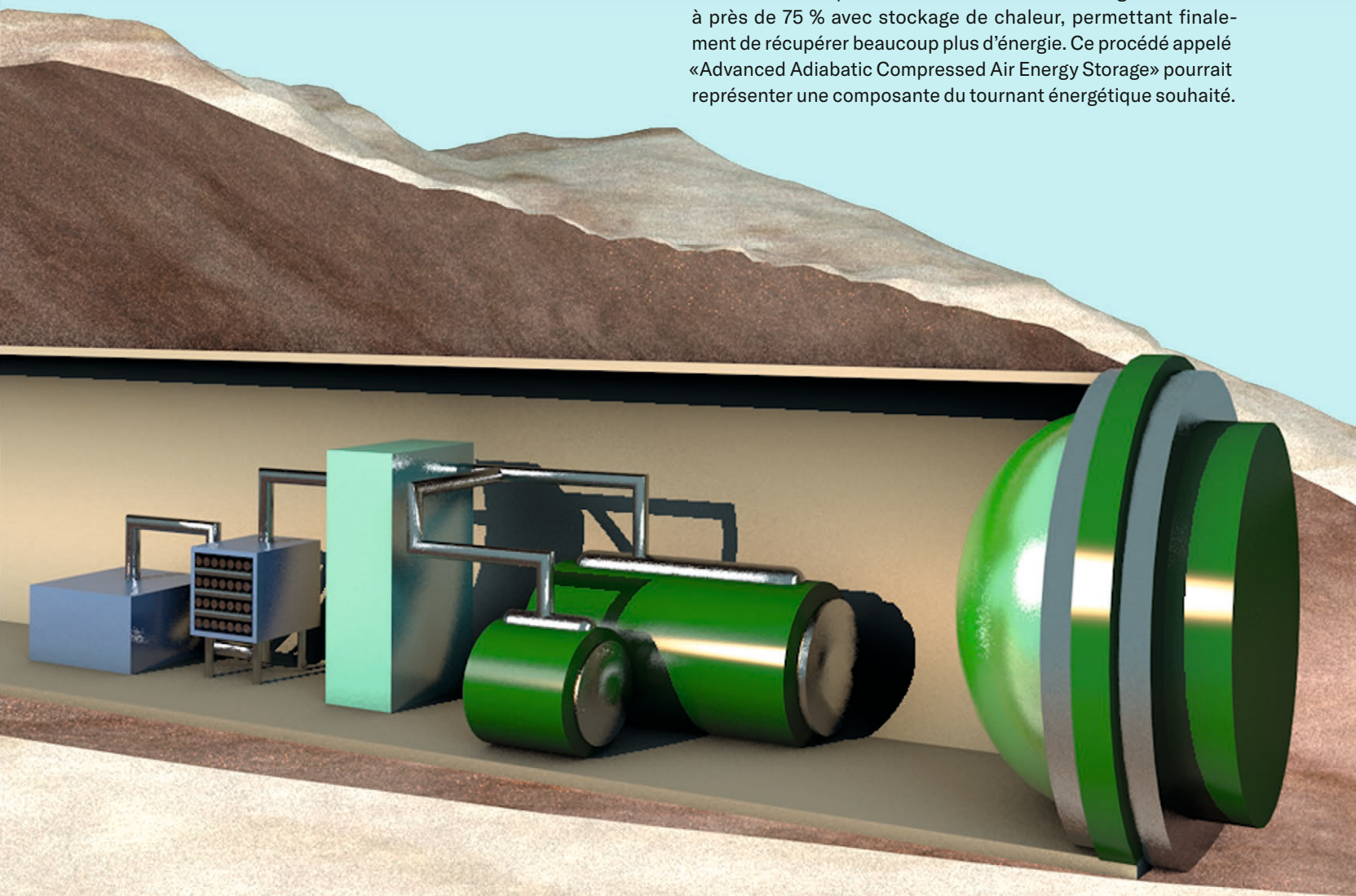


«Pop» et brume

S'il est un bruit que l'on associe aux grandes occasions, c'est bien celui des bouchons de champagne qui sautent. Hormis cet effet acoustique, on observe, au débouchage de la bouteille, un autre phénomène physique: un fin voile de brume s'échappe du goulot. Il est composé, au choix, de petits cristaux de glace d'eau ou de glace carbonique. Cette vapeur résulte d'un processus baptisé «transformation adiabatique» en jargon technique, lors duquel un système modifie son état sans échanger d'énergie avec son environnement. Dans le cas du moussoux, le gaz emprisonné entre le liquide et le bouchon se dilate brusquement. L'énergie thermique contenue dans le gaz est utilisée à cet effet. En conséquence, le gaz se refroidit énormément. Suivant la température de sortie, les gouttelettes d'eau gèlent sous forme de glace ou bien le gaz carbonique se transforme en glace carbonique. Dans le premier cas, la brume est blanche, voire grise, alors qu'elle est bleutée dans le second. Mais une chose reste inchangée: à votre santé!

Stocker de l'énergie par la pression

Les chercheurs du PSI ont participé à un projet-pilote où a été étudiée la possibilité de stocker de l'énergie de manière efficace avec de l'air comprimé. Pour ce faire, les scientifiques ont injecté de l'air dans une caverne souterraine en utilisant un compresseur actionné par du courant électrique. Dans ce genre de situation, il se produit un phénomène observable, entre autres, lorsqu'on gonfle des pneus de vélo: l'air se réchauffe durant la compression. Sans intervention, cette chaleur se dissiperait dans la terre ou la roche environnante. Si on laisse l'air comprimé s'échapper de nouveau par une turbine, on arrive à produire de l'énergie électrique. L'inconvénient: le gaz se refroidit en se dilatant et peut même paralyser la turbine en raison de l'humidité givrante. Les chercheurs ont donc recouru à une astuce et stocké la chaleur apparue lors de la compression dans un réservoir bien isolé. Lorsque l'air a été relâché à travers la turbine, ils ont réalimenté le gaz avec l'énergie thermique conservée. L'efficacité comme le rendement de la méthode sont passés de 45 à 55 % sans stockage de chaleur à près de 75 % avec stockage de chaleur, permettant finalement de récupérer beaucoup plus d'énergie. Ce procédé appelé «Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage» pourrait représenter une composante du tournant énergétique souhaité.



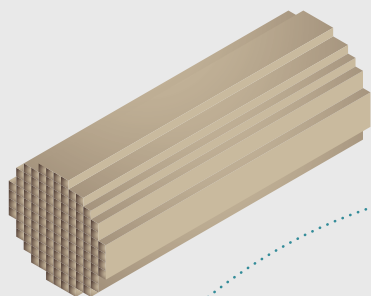
TOILE DE FOND
Ce dont le futur
est fait

Page 10

1

De nouveaux matériaux pour l'avenir

Qu'il s'agisse d'informatique quantique, de microélectronique, de médecine moderne ou de procédés écologiques de production, les sciences des matériaux fournissent les bases pour relever les défis actuels et futurs.



2

INFOGRAPHIE

Profondeur des aperçus et rigueur des tests

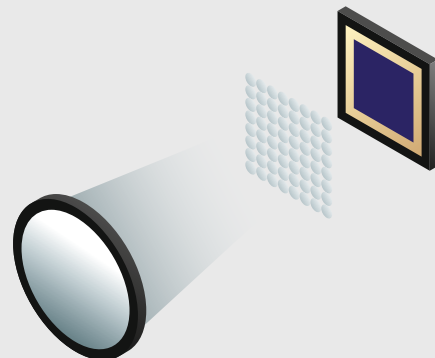
Page 16

3

TOILE DE FOND

Les structures les plus fines demandent du doigté

Page 18

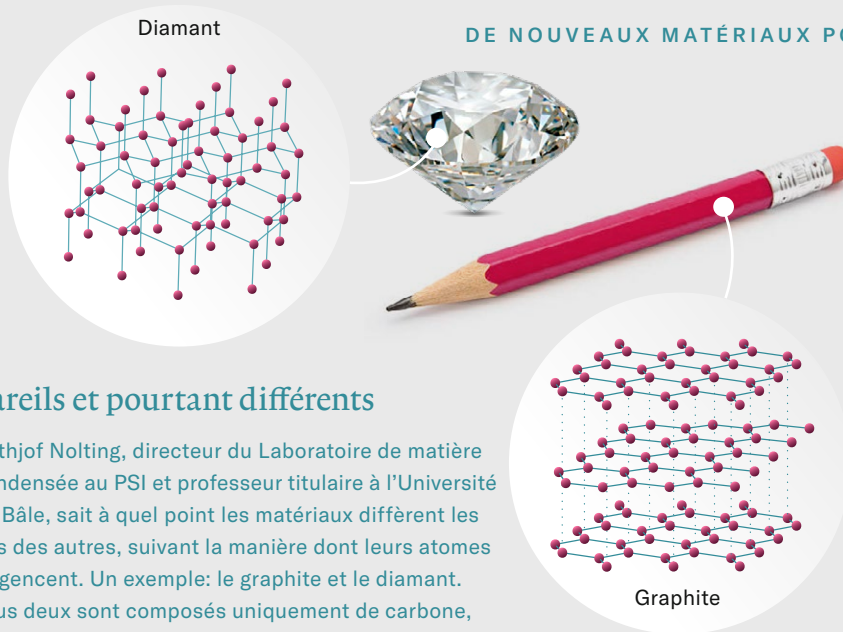




Ce dont le futur est fait

Depuis toujours, l'être humain utilise les matériaux trouvés dans la nature. Il leur donne forme, il les travaille et les modifie constamment. A cette fin, la première des conditions est de bien connaître leurs propriétés et leur structure. Les chercheuses et les chercheurs du PSI créent ce savoir, qui permet de développer à leur tour de nouveaux matériaux. Par exemple pour des dispositifs de stockage énergétique plus performants, une meilleure électronique, des emballages plus durables ou des procédés de fabrication plus efficaces.

Texte: Barbara Vonarburg



Pareils et pourtant différents

Frithjof Nolting, directeur du Laboratoire de matière condensée au PSI et professeur titulaire à l'Université de Bâle, sait à quel point les matériaux diffèrent les uns des autres, suivant la manière dont leurs atomes s'agencent. Un exemple: le graphite et le diamant. Tous deux sont composés uniquement de carbone, mais ont des propriétés complètement différentes. Le graphite est parfait pour les mines de crayon, alors que le diamant, taillé en brillant, est un bijou d'une dureté incomparable.

Frithjof Nolting se tient devant l'une des stations de mesure de la Source de Lumière Suisse SLS, qui permet de visualiser l'intérieur des matériaux grâce à son intense lumière de type rayons X. «La structure d'un matériau détermine en grande partie ses propriétés», rappelle ce physicien, en l'explicitant par l'exemple intuitif du diamant et du graphite. Ces deux matériaux sont constitués du même élément, du carbone pur. Mais l'arrangement de leurs atomes est complètement différent: dans le graphite, le carbone se présente sous forme de couches superposées et non liées entre elles, alors que, dans le diamant, les atomes de carbone sont connectés les uns aux autres de manière tridimensionnelle. C'est ce qui rend le diamant si dur et le graphite si tendre. Frithjof Nolting dirige le Laboratoire de matière condensée au sein de la Division des sciences photoniques (PSD) du PSI, qui, conjointement avec d'autres laboratoires de la division, exploite différentes lignes de faisceau à la SLS et utilise ces stations de mesure pour la recherche sur les matériaux. «Ici, à la ligne de faisceau Tomcat, nous avons analysé par exemple des mousses métalliques, raconte Frithjof Nolting. Une nouvelle classe de matériaux avec de nombreuses propriétés intéressantes.»

Dès aujourd'hui, les mousses métalliques sont utilisées comme amortisseur dans les capots frontaux des trains ICE de la Deutsche Bahn, par exemple, mais aussi comme supports latéraux des voitures ou comme composants dans l'aéronautique et l'aérospatiale. Les mousses métalliques sont très poreuses et donc légères, tout en étant fermes et rigides. Elles absorbent les chocs, les vibrations et le bruit, et offrent une très bonne isolation thermique. «La densité et la solidité des mousses, mais aussi leur conductivité thermique,

dépendent largement de la manière dont leur microstructure s'est formée», explique Frithjof Nolting. Pour fabriquer la mousse, on utilise d'habitude un alliage de métaux avec un additif. Lorsqu'on chauffe ce mélange, d'un côté, le métal fond, tandis que, de l'autre, il se dégage un gaz qui se dilate. Le matériau est ainsi mousseux comme une éponge.

Voir apparaître la microstructure

Au PSI, les chercheurs du groupe Tomographie aux rayons X du PSD ont suivi ce processus, avec leurs collègues allemands, à la ligne de faisceau Tomcat. Ils ont utilisé un bloc de métal de quelques millimètres placé, pour le radiographier, sur une table rotative capable d'exécuter jusqu'à 500 tours par seconde. Pendant que l'échantillon métallique en rotation était lentement chauffé, une caméra à haute vitesse a réalisé des prises de vue, qui ont été ensuite assemblées en images 3D, comme au moyen de la tomodensitométrie (CT) en médecine. «Avec 1000 tomographies par seconde, nous avons même battu le record du monde pour cette méthode d'analyse», relève Christian Schlepütz, physicien au PSI.

Sur ces images 3D d'une résolution de l'ordre de quelques micromètres, on aperçoit la formation initiale de petites bulles dans l'alliage métallique, qui fusionnent en partie en un millième de seconde. Comme la taille et le réseau des bulles déterminent les propriétés mécaniques de la mousse métallique, ce genre d'études permettent d'améliorer le processus de fabrication de ce matériau prometteur pour différentes applications.

Une tendance importante dans la recherche consiste à étudier toujours plus les matériaux en les soumettant à des conditions variables ou durant leur fonctionnement, selon Frithjof Nolting. Les spécialistes parlent de mesures *in situ* ou *operando*.

Des batteries plus performantes

«Nous menons beaucoup de caractérisations *operando*, explique Sigita Trabesinger. Nous examinons la cellule d'une batterie et mesurons les changements structurels pendant la charge et la décharge.» Cette chimiste dirige, au PSI, le groupe Electrodes et cellules de batterie. Aujourd'hui, les smartphones, les ordinateurs portables, les perceuses-visseuses sans fil, les vélos électriques et les voitures électriques abritent des batteries lithium-ion. Mais comme leur densité énergétique est limitée, ces accumulateurs de courant doivent être souvent rechargés. «La prochaine étape, qui améliorera considérablement la densité énergétique, est l'utilisation du lithium métallique à la place du graphite, aujourd'hui usuel, précise Sigita Trabesinger (voir illustration page 13). C'est un peu comme le graal



dans la quête de matériaux alternatifs.» Mais auparavant, il faudra encore surmonter de nombreux obstacles à la construction de telles batteries.

On a déjà conduit des expériences avec des batteries lithium-métal dans les années 1970. Mais on a constaté qu'après quelques cycles de charge le métal formait, dans la cellule de la batterie, des structures appelées «dendrites» qui pouvaient entraîner un dangereux court-circuit. «Nous cherchons à présent un moyen d'empêcher la croissance de dendrites», explique Sigita Trabesinger. Pour ce faire, les chercheurs testent, entre autres, différentes solutions d'électrolyte. En effet, selon la composition du solvant, il se dépose plus ou moins de lithium dans la cellule de la batterie. «A l'époque, c'était comme si l'on travaillait à l'aveugle, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui grâce aux méthodes dont nous disposons», souligne la chimiste.

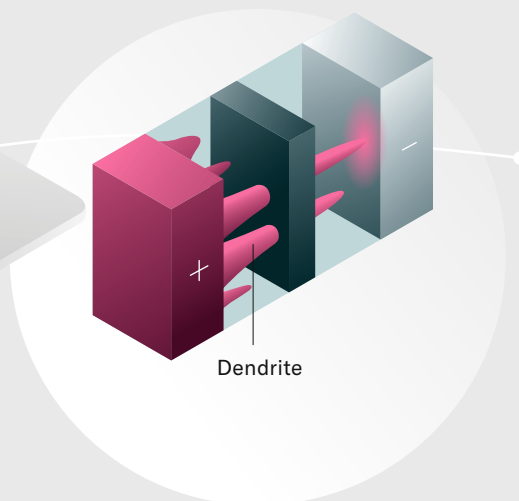
Sur son écran d'ordinateur, elle désigne avec enthousiasme les prises de vue réalisées à la ligne de faisceau ICON, avec le microscope à neutrons de la grande installation de recherche SINQ du PSI. Les images montrent comment, pendant les cycles de charge de la batterie, le lithium métallique contenu dans la solution d'électrolyte se dépose dans la cellule et disparaît de nouveau ou reste sous forme de lithium «mort». «Nous voulons comprendre comment réduire autant que possible ce lithium mort,

qui ne peut plus être utilisé et qui représente un risque pour la sécurité, du fait qu'il forme des dendrites», détaille Sigita Trabesinger.

L'intérêt de l'industrie pour ces recherches est grand. «Actuellement, nous avons deux projets industriels soutenus par Innosuisse et nous sommes en train de négocier d'autres projets et d'autres formes de collaboration avec plusieurs entreprises», explique Sigita Trabesinger. Dans le cadre d'un autre projet, son groupe est à la recherche d'un nouveau matériau qui permettrait d'augmenter la densité énergétique de batteries sodium-ion. Le sodium est plus facilement disponible que le lithium; il peut être obtenu à partir d'eau de mer, par exemple. Mais, pour l'instant, les batteries au sodium ont un rendement inférieur à celles au lithium.

Une alternative durable au plastique

Comme le souligne Frithjof Nolting, l'un des sujets actuels et importants en science des matériaux est le remplacement de matériaux rares, chers ou nocifs pour l'environnement. C'est pourquoi les chercheurs travaillent à trouver des matériaux efficaces sur le plan énergétique – tant au niveau de leur fabrication que de leur utilisation – et qui puissent être réutilisés. Marianne Liebi, cheffe du groupe Structure et mécanique de nouveaux matériaux et



Mieux stocker l'énergie

Sigita Trabesinger est chimiste et étudie entre autres au PSI comment optimiser les batteries en tant qu'accumulateurs de courant. Par exemple, en empêchant la formation de ce qu'on appelle des «dendrites» entre les électrodes. Celles-ci peuvent en effet provoquer de dangereux courts-circuits.

professeure assistante à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), participe à un projet dans le cadre duquel un nouveau matériau d'emballage est développé comme alternative au plastique. Sa matière première est une sorte de cellulose que l'on modifie sur le plan chimique, de manière qu'elle se laisse façonner si l'on élève la température. Il s'agit donc de ce qu'on appelle un «produit thermoplastique». Le projet est financé par l'Etat suédois et par quinze partenaires industriels, dont Tetra Pak.

«Nous examinons la structure des échantillons de matériau avec les méthodes aux rayons X du PSI», explique cette spécialiste en science des matériaux, en désignant une petite plaque de test du nouveau matériau. Suivant la manière dont la cellulose thermoplastique est chauffée, moulée puis refroidie, diverses structures apparaissent, qui sont étroitement associées à des propriétés mécaniques. Ce matériau ne doit pas être trop cassant, par exemple. Les déterminations de structure à l'aide de la lumière de type rayons X – par exemple à la ligne de faisceau cSAXS de la Source de Lumière Suisse SLS – montrent si ces exigences peuvent être remplies.

Le problème de l'opercule de la brique de lait

Dans le cadre d'un précédent projet, Marianne Liebi et son équipe avaient examiné des briques de lait ordinaires en carton et en plastique. «Nous savons tous combien il est pénible d'arracher la languette sans réussir à ouvrir l'opercule», dit-elle. Pour perfectionner cette ouverture, le fabricant Tetra Pak a mené des simulations, avant de commencer à construire de nouvelles machines de production. Mais ces calculs portaient du principe que le matériau avait des propriétés uniformes, ce qui ne correspondait pas à la réalité. «Nous avons examiné la nanostructure du système d'ouverture et fourni ainsi d'importantes informations supplémentaires, avec lesquelles l'entreprise a pu alimenter et améliorer ses simulations», explique la chercheuse.

On lui demande souvent si cela vaut la peine d'investir tant de recherche dans une chose si banale, raconte Marianne Liebi. «Si l'on songe aux quantités d'emballages de lait consommés chaque jour dans le monde, une petite amélioration, comme le fait d'utiliser un peu moins de plastique, peut avoir beaucoup d'effets», rappelle-t-elle. Dans notre quotidien, de nombreux objets sont pleins de physique fascinante et de matériaux sophistiqués, confirme Frithjof Nolting. Hormis le développement de nouveaux matériaux, le lien entre science des matériaux et digitalisation est de plus en plus fort, par exemple dans le cadre de la fabrication avancée (*advanced manufacturing*). «Dans ce domaine, nous fournissons également des connaissances importantes, affirme Frithjof Nolting, en nous emmenant à une autre ligne de faisceau de la SLS, où l'on étudie l'impression 3D de métaux. C'est un terrain incroyablement passionnant.» Ce procédé permet de produire des pièces très complexes, par exemple pour des turbines et des compresseurs ou encore des instruments chirurgicaux. Les travaux de recherche du PSI intéressent de nombreuses entreprises, dont Oerlikon et ABB ainsi que l'industrie horlogère suisse.

Une imprimante miniaturisée dans le faisceau de rayons X

Une petite imprimante, développée tout spécialement à cet usage, permet d'analyser *in situ* (sur place) le processus de fabrication avec de la lumière de type rayons X, à la ligne de faisceau baptisée MicroSAX ainsi qu'aux lignes de faisceau Material-Science et Tomcat. La méthode en usage s'appelle «fusion laser sur lit de poudre». Elle consiste à appliquer le métal, sous forme de poudre fine, sur un panneau, tandis qu'un laser de haute puissance, focalisé jusqu'à un dixième de millimètre, passe sur la poudre, la fait fondre et lui imprime la forme désirée, dans laquelle elle se solidifie. Suit une

nouvelle couche mince de poudre, que le laser fait fondre à son tour. C'est ainsi que le composant croît, couche après couche. «Dans ces expériences, nous regardons à l'échelle atomique ce qui se passe au niveau de la structure cristalline du métal», explique Steven van Petegem, qui a codéveloppé l'imprimante miniaturée.

Un détecteur enregistre le signal de rayons X. C'est un développement spécial du groupe Détecteurs du PSI et il travaille particulièrement vite – ce qui est nécessaire, car le laser bouge à la vitesse maximale d'un mètre par seconde sur le lit de poudre. Par ailleurs, le laser chauffe à une température de 2 000 à 3 000 degrés Celsius, avant de se refroidir à la vitesse de l'éclair à température ambiante (une vitesse de refroidissement de 10 millions de degrés par seconde). Il faut donc recueillir rapidement une foule d'informations. Les expériences montrent que ce processus très complexe peut conduire à la formation de défauts indésirables, comme des pores et des fissures, ou entraîner des transformations de phases et, ce faisant, des propriétés imprévisibles sur le plan des matériaux.

«Seule la connaissance précise de l'évolution microstructurale pendant ce processus de fabrication permet de procéder aux adaptations nécessaires pour éviter les défauts, relève Steven van Petegem. Avec l'imprimante 3D, nous pouvons créer certaines microstructures, inaccessibles par d'autres méthodes.» Si l'on imprime certaines zones plus rapidement ou plus lentement avec le laser, le matériau deviendra localement plus dur ou moins cassant. Cela permet de fabriquer des composants novateurs qui se comportent de manière optimale, une fois en application. «Nous sommes en train de comprendre ce qui se passe pendant ce processus d'impression 3D», relève Steven van Petegem. Les analyses à la SLS y contribuent, de même que les mesures menées à la SINQ, la source suisse de neutrons à spallation.

Un composant en test de charge

«Les neutrons ont l'avantage de nous faire plonger plus profondément dans le matériau que les rayons X, rappelle Markus Strobl, chef du groupe Matériaux appliqués. A la SINQ, nous pouvons scruter des pièces de métal de plusieurs centimètres d'épaisseur (présentes par exemple dans la construction de machines) et voir ce qui se passe à l'intérieur.» Ainsi, les chercheurs utilisent des neutrons pour étudier le comportement des échantillons fabriqués à l'imprimante 3D et soumis à une charge. «Nous sommes le seul institut où l'on peut non seulement étirer ou presser des pièces dans une direction sous le faisceau de neutrons, mais aussi créer des conditions de charge complexes dans deux directions», relève encore Markus Strobl.

Les mesures montrent comment la structure cristalline se modifie sous la charge et, avec elle, les propriétés mécaniques du matériau. Alors qu'une structure cristalline a tendance à céder, l'autre reste ferme, mais se brise lorsque la charge devient trop importante. «Avec l'impression 3D, notamment, si l'on comprend suffisamment les propriétés caractéristiques du matériau, on est en mesure de les faire varier au sein d'une pièce et de les adapter précisément aux besoins de l'application ultérieure», explique Markus Strobl. La fabrication avancée fait partie des domaines de recherche stratégiques que le Conseil des EPF a désignés comme particulièrement importants pour la société. Dans ce cadre, il encourage les travaux de recherche correspondants au PSI et les soutient financièrement pour une part essentielle.

«Notre force en science des matériaux, ce sont les grandes installations de recherche et l'imagerie comme la diffusion et la spectroscopie que nous pouvons réaliser par ce moyen», explique Frithjof Nolting. Ainsi, les structures et les défauts dans les matériaux deviennent visibles à l'aide de nombreuses techniques différentes, et des connaissances fondamentales sont acquises sur leurs propriétés. «Mais nous pouvons aussi fabriquer des échantillons et caractériser les matériaux avec des techniques supplémentaires», poursuit le physicien. En outre, il y a d'excellentes équipes au PSI, dédiées par exemple au développement de détecteurs, à l'automatisation, à la construction d'instruments complexes et à l'analyse de grandes quantités de données. «Nous disposons au PSI d'un énorme portefeuille de connaissances – dans les domaines aussi bien scientifiques que techniques –, profitables pour aborder les questions qui se posent actuellement en science des matériaux», conclut-il. ◆

Des connaissances pour améliorer le quotidien

Marianne Liebi, cheffe du groupe Structure et mécanique de nouveaux matériaux et professeure assistante à l'EPFL, mène des recherches afin d'améliorer les matériaux de produits du quotidien. Mieux connaître la nanostructure de l'opercule des briques de lait lui a ainsi permis d'optimiser leur production.



«Une petite amélioration, comme le fait d'utiliser un peu moins de plastique, peut entraîner beaucoup d'effets.»

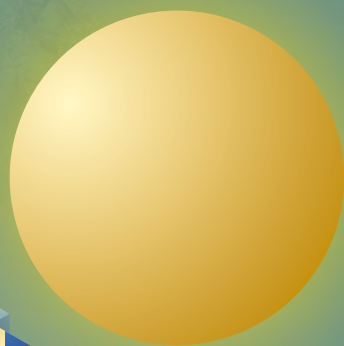
Marianne Liebi, chercheuse au PSI



Profondeur des aperçus et rigueur des tests



Les installations de recherche du PSI forment un ensemble unique au monde. Elles offrent à la recherche et à l'industrie la possibilité d'acquérir du savoir. Celles-ci peuvent ainsi développer et tester de nouveaux matériaux pour des produits ou leur fabrication.



1

L'infrastructure suisse pour la physique des particules CHRISP

Les accélérateurs de particules sont des éléments-clés du PSI. Ils permettent de produire des particules pour des expériences de physique fondamentales. Les chercheurs se servent des faisceaux de pions, de muons, de neutrons, de protons et d'électrons pour étudier la structure de notre univers. A la CHRISP, ils déterminent les constantes naturelles fondamentales avec la plus haute précision et s'efforcent de découvrir des déviations du modèle standard de la physique des particules. Par ailleurs, ils développent et testent des détecteurs pour les expériences menées au PSI, pour le centre de recherche européen CERN à Genève ainsi que pour des missions spatiales. Ils ont ainsi mis au point des composants destinés à la sonde spatiale Solar Orbiter (voir illustration), qui améliorera nos connaissances sur le Soleil, ou pour la mission Jupiter JUICE, qui explorera le système de la planète gazeuse.

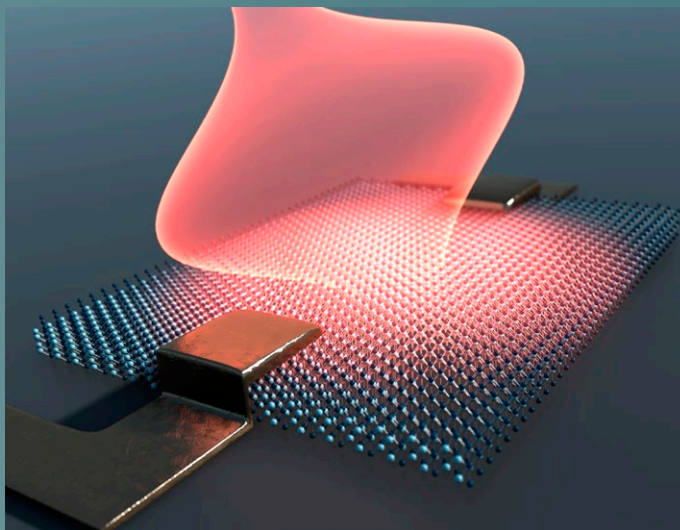
Informations supplémentaires: <https://psi.ch/fr/node/43472>

2

Le laser à rayons X à électrons libres suisse SwissFEL

Les électrons accélérés au SwissFEL génèrent de très courtes impulsions de rayons X, ayant les propriétés du laser. Les processus extrêmement rapides qui se jouent dans les matériaux, à l'échelle de l'atome ou de la molécule, sont ainsi filmables pas à pas, comme avec une caméra à haute vitesse. Une équipe internationale a réussi à montrer comment la lumière modifie fondamentalement les propriétés des corps solides et comment ces effets pourraient servir à de futures applications. Prenons l'exemple d'un cristal quasi bidimensionnel excité entre des points de contacts par une impulsion laser (voir illustration). Ses propriétés physiques peuvent changer de manière dramatique sur des échelles de temps ultracourtes, de l'ordre de la femtoseconde. Ces connaissances permettront de mieux comprendre les forces qui poussent les électrons à former des supraconducteurs, autrement dit des matériaux qui conduisent le courant sans perte thermique et qui sont, par ailleurs, de fantastiques aimants.

Informations supplémentaires: <https://psi.ch/fr/node/18788>



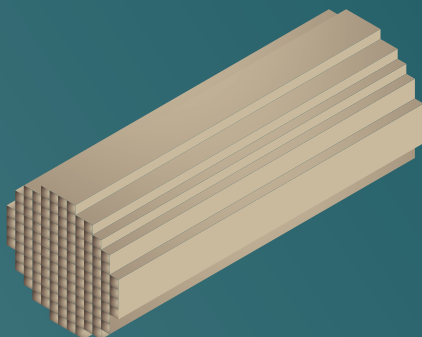


3

La source de neutrons SINQ

Les neutrons de la SINQ permettent d'étudier les propriétés magnétiques et supraconductrices des matériaux destinés aux nouveaux composants électroniques et aux périphériques de stockage, mais aussi de radiographier des objets archéologiques. Les métaux sont pratiquement transparents pour les neutrons. En revanche, les parties qui contiennent de l'hydrogène sont bien visibles. Les chercheurs ont notamment eu recours à la SINQ pour percer le secret d'un vernis pour violon, qui protège l'instrument de manière optimale, tout en lui conférant d'excellentes qualités sonores.

Informations supplémentaires: <https://psi.ch/fr/node/28454>



5

La plateforme d'intégration des systèmes ESI

Le PSI utilise la plateforme ESI pour rassembler et tester son expertise diversifiée dans la recherche énergétique. L'accent est mis sur ce qui est immédiatement faisable ainsi que sur l'intégration des résultats dans le développement de scénarios pour les systèmes énergétiques du futur. Ces projections doivent contribuer à mettre en œuvre la stratégie énergétique 2050 de la Confédération. Il s'agit notamment de réduire la consommation d'énergie. Et les nouvelles énergies renouvelables – telles que le solaire, l'éolien et la biomasse – doivent être consolidées. Les ressources existantes, enfin, doivent être mieux exploitées. Pour ce faire, les chercheurs du PSI développent de nouveaux procédés et matériaux, comme un nouveau catalyseur pour purifier les gaz d'échappement produits par les moteurs au gaz naturel (voir illustration). A la différence des catalyseurs actuels, celui-là est très actif, même à basses températures, et le reste longtemps. Le gaz naturel peut ainsi être brûlé de manière plus propre et respectueuse du climat.

Informations supplémentaires: <https://psi.ch/fr/node/18743>

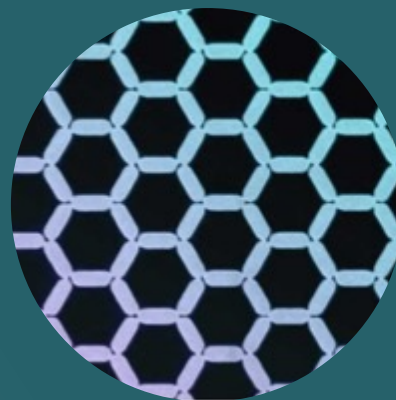


4

La source de muons SμS

Lorsqu'un faisceau de protons rapides issu de l'accélérateur est dirigé sur deux anneaux de carbone, des muons apparaissent. Ces particules élémentaires, électriquement chargées, permettent de déterminer localement les champs magnétiques à l'intérieur des matériaux ou encore d'analyser de manière non destructive les éléments chimiques qui composent un échantillon. Le PSI offre des possibilités d'expérimentation uniques au monde avec des muons lents, au moyen desquels mesurer les champs magnétiques dans des arrangements de fines couches de matériaux. Les chercheurs ont notamment pu analyser, grâce à une méthode de mesure particulièrement précise, la composition exacte d'un alliage d'argent dans lequel avait été coulée une statuette antique d'Hercule (voir photo).

Informations supplémentaires: <https://psi.ch/fr/node/28451>



6

La Source de Lumière Suisse SLS

Dans le bâtiment circulaire de la SLS, les électrons se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière et émettent de la lumière de type rayons X, très intense et concentrée. Grâce à celle-ci, les chercheurs ont réussi à observer pour la première fois comment de minuscules aimants s'alignent dans une disposition spéciale uniquement en raison de changements de température. Comprendre les processus qui se jouent à l'intérieur de la «glace de spin artificielle kagomé» (voir illustration), comme on l'appelle, pourrait contribuer au développement de nouveaux ordinateurs à haute performance. Avec le projet SLS 2.0, l'installation reçoit une mise à niveau qui permettra, à l'avenir, une recherche encore meilleure.

Informations supplémentaires: <https://psi.ch/fr/node/28439>

Les structures les plus fines demandent du doigté

A l'ère du numérique, progrès et miniaturisation vont de pair. Mais pour tout réduire, il faut des matériaux fabriqués et traités au moyen de nouvelles méthodes. Au Laboratoire des technologies nanométriques et quantiques du PSI, les chercheurs développent des techniques innovantes de micro- et de nanofabrication. Celles-ci permettent par exemple d'améliorer la confection de microlentilles pour les smartphones ou encore de fabriquer des composants de calculateurs quantiques.

Texte: Barbara Vonarburg

Pour la fabrication des microprocesseurs, on utilise depuis des décennies un procédé de lithographie. En grec ancien, *lithos* signifie «pierre» et *graphein* signifie «inscrire». En microtechnique, la pierre est une plaque de silicium enduite d'une résine photosensible. On y inscrit, avec de la lumière, le motif des circuits de la puce. De la sorte, une partie de la résine peut se détacher et le silicium sera mis au jour pour l'étape suivante du processus. Ce procédé de lithographie a été tellement perfectionné qu'il permet aujourd'hui de fabriquer des structures minuscules destinées aux applications les plus diverses. «C'est ici, dans notre salle blanche, que se trouvent les instruments au moyen desquels nous pouvons inscrire de très petites structures qui ne mesurent que 10 nanomètres, autrement dit 10 millièmes de millimètre», explique Kirsten Moselund. Cette chercheuse est directrice du Laboratoire des technologies nanométriques et quantiques, qui exploite la salle blanche du PSI, et professeuse d'électrotechnique et de microtechnique à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

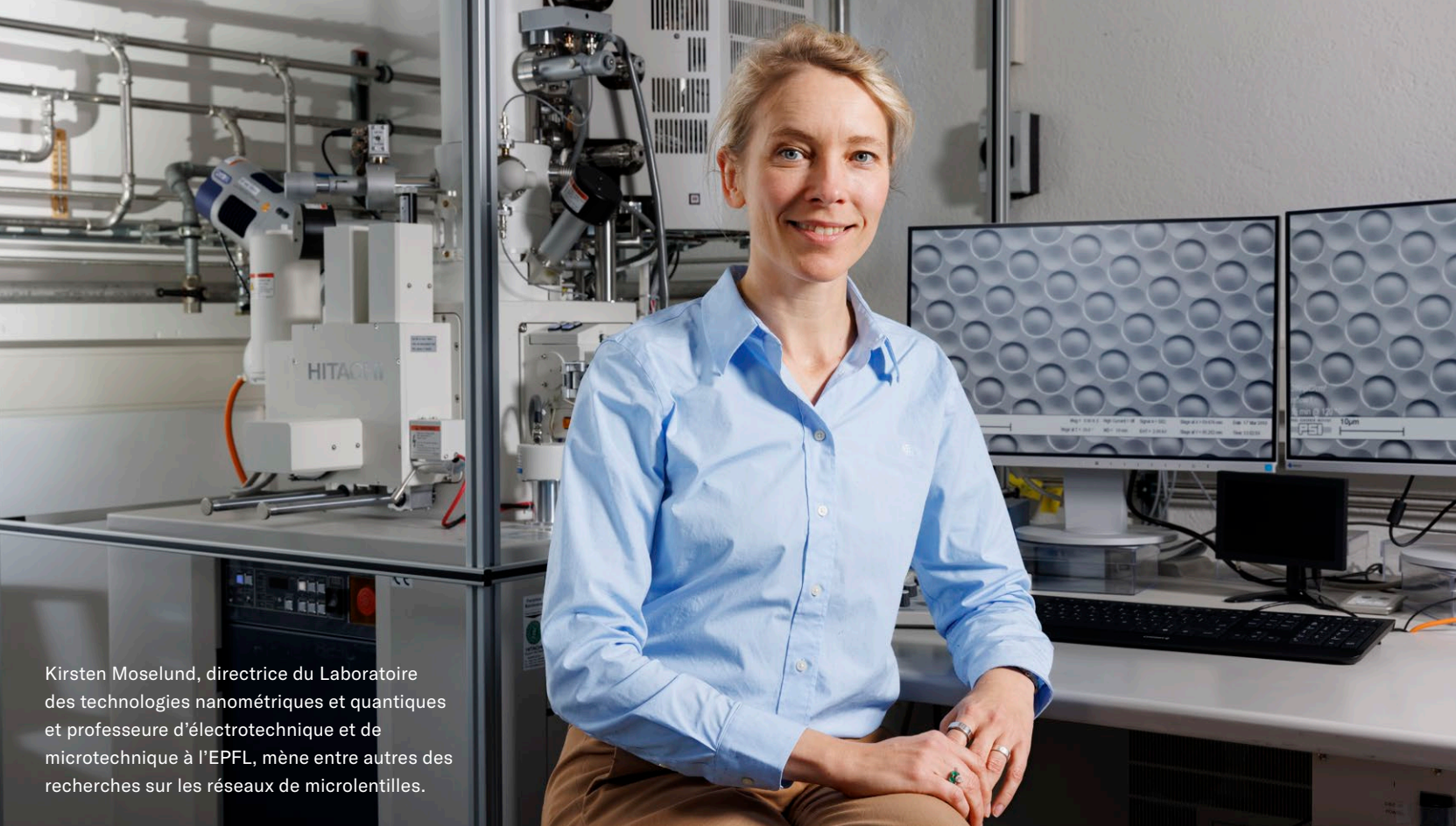
Tandis que l'industrie utilise de la lumière ultraviolette pour produire des microprocesseurs, en exposant en une fois tout le motif d'un chablon (appelé «masque»), les chercheurs du PSI se servent d'un faisceau d'électrons pour y inscrire les structures les plus minuscules. «Nous obtenons ainsi une résolution beaucoup plus élevée, souligne Kirsten Moselund. Mais comme la lithographie électronique n'utilise qu'un seul faisceau, c'est une technique beaucoup plus lente que la lithographie ultraviolette. Elle n'est donc pas employée aujourd'hui pour la production en masse des puces. En revanche, on y recourt fréquemment pour la fabrication de masques et dans la recherche.» Le résultat est le même, à savoir une couche de résine structurée qui ne protège qu'une partie du matériau sous-jacent contre l'attaque chimique. On peut reporter de la sorte des nanostructures sur du silicium, mais aussi sur du verre, du métal, du saphir et même du diamant. De fines

grilles en diamant fabriquées de cette manière, dans la salle blanche du PSI, servent à diffracter et à focaliser les rayons X à la Source de Lumière Suisse SLS.

Mais la lithographie perfectionnée ne permet pas seulement de créer des matériaux nanostructurés, elle transporte littéralement dans une nouvelle dimension. «La lithographie conventionnelle, avec laquelle on fabrique des microprocesseurs, est en noir et blanc: autrement dit, on s'en sert pour inscrire un motif en deux dimensions, explique Kirsten Moselund. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est que l'on peut désormais utiliser la lithographie pour créer des structures en 3D.» Cette méthode s'appelle «lithographie en niveaux de gris». Elle peut être réalisée avec un faisceau d'électrons, mais les choses vont plus vite avec un laser.

Une micro-optique moderne omniprésente

Avec la lithographie en niveaux de gris, le laser irradie la résine photosensible avec diverses intensités de lumière et crée ainsi différents niveaux d'exposition ou de gris, qui forment un relief 3D. «Cette technique permet par exemple de graver directement une lentille composée de résine photosensible, autrement dit d'une matière synthétique, poursuit la chercheuse. Mais on peut également décaper le relief et obtenir, dans le matériau sous-jacent, une structure arrondie comme la lentille.» La micro-optique moderne, aujourd'hui omniprésente, est un important domaine d'application de la lithographie en niveaux de gris. Tous les smartphones et toutes les tablettes numériques abritent plusieurs microlentilles. En médecine, des microsystèmes optiques sont utilisés en chirurgie mini-invasive. Dans les lunettes de réalité augmentée, de minuscules optiques de projection dirigent l'information vers l'œil. Dans les phares de voiture, des réseaux de microlentilles améliorent la qualité et le contrôle du faisceau lumineux.



Kirsten Moselund, directrice du Laboratoire des technologies nanométriques et quantiques et professeure d'électrotechnique et de microtechnique à l'EPFL, mène entre autres des recherches sur les réseaux de microlentilles.

Fabriquer directement ce genre de microlentilles, en recourant uniquement à la lithographie en niveaux de gris, serait trop complexe et onéreux. Pour une production de masse, cette méthode peut être combinée avec une autre: la lithographie par nano-impresion. Helmut Schiff, chef du groupe Nanofabrication avancée, est l'un des pionniers de cette méthode. «Pour produire en grandes quantités, on a besoin d'une technique de réplique, explique-t-il. C'est comme en cuisine, lorsqu'on fait des biscuits: au lieu de les découper un par un, on utilise des techniques d'estampage et de gaufrage.» La lithographie en niveaux de gris permet de créer un moule pour former les structures 3D dans le matériau souhaité.

Comme pour cuire des gaufres

Pour expliquer le procédé, Helmut Schiff recourt encore une fois à l'art culinaire. «On procède comme pour cuire des gaufres», dit-il. On chauffe le matériau à imprimer, on y enfonce le moule, le relief se transmet et il se conserve lorsque le matériau est refroidi. On peut ainsi fabriquer un grand nombre de copies précises à partir d'un même original. Mais la technique a ses écueils. «En cuisine, il faut bien maîtriser la pâte de sorte qu'elle remplisse tout le moule et cuise de manière homogène, dans un laps de temps déterminé, relève le scientifique. Ensuite, il faut rouvrir le moule et réussir à détacher la gaufre, sans qu'elle y adhère. C'est à quoi sert souvent la couche de téflon enduite d'un peu d'huile.»

Surfaces lisses

L'équipe de Helmut Schiff a réussi à développer des couches antiadhérentes particulièrement minces pour la lithographie par nano-impresion et à éliminer un inconvénient important de la lithographie en niveaux de gris: les structures originales – de même que les lentilles qui en résultent – possèdent une surface rugueuse, ce qui peut entraîner des effets indésirables de diffraction et d'éblouissement. «Nous avons trouvé une méthode pour lisser cette rugosité après coup, sans toucher la surface», explique Helmut Schiff. Pour ce faire, les chercheurs irradient la surface avec des rayons UV et la font fondre ensuite de manière sélective. «Cela ressemble à la préparation d'une crème brûlée, lorsque l'on passe le chalumeau sur le sucre pour qu'il caramélise», relève Helmut Schiff.

Le chercheur conclut: «Nous n'améliorons donc pas directement la caméra du smartphone, mais nous développons de nouvelles techniques avec un "truc en plus", et nous montrons à nos collègues de l'industrie comment mieux comprendre et étendre certains processus. Cela fonctionne parce que nous abordons les problèmes plus ouvertement et nous nous demandons tout de suite pourquoi quelque chose fonctionne ou pas. C'est en quoi consiste notre recherche sur les matériaux.» La société Ams-Osram à Rorschlikon, spécialisée dans les caméras de smartphones, a ainsi pu bénéficier des connaissances des chercheurs du PSI.

Les microlentilles sont utilisées dans les téléphones portables, mais aussi, de plus en plus, dans



Les réseaux de micro-lentilles trouvent de nombreuses applications dans la technique et la recherche. Ils permettent par exemple d'optimiser l'orientation des rayons de lumière, par exemple dans les appareils-photo de smartphones (voir illustration).

l'industrie automobile. La société SUSS MicroOptics de Neuchâtel a été mandatée par BMW, le constructeur automobile, pour fabriquer des optiques de projection pour ses modèles de luxe, qui produisent un «tapis de lumière de bienvenue» lorsqu'on presse un bouton de sa clé de voiture, ce qui facilite la montée à bord dans l'obscurité. Pour la production en série des lentilles, l'entreprise suisse a dû remplacer son ancien processus de fabrication, trop compliqué, par la lithographie par nano-impression, plus efficace.

Mais cette méthode n'est pas seulement appropriée à la fabrique de microlentilles. Car si l'on imprime certaines structures sur un matériau, l'adhérence et d'autres propriétés mécaniques de celui-ci sont modifiées. «Nous pouvons graver presque tous les matériaux», relève Helmut Schiff, qui cite en exemple la cellulose dans une collaboration avec l'Université de Bâle. Les chercheurs bâlois développent des électrodes biocompatibles qui seront un jour utilisées comme implants dans le cerveau ou la moelle épinière. Pour ce faire, ils utilisent un matériau à base de cellulose. Ce dernier doit être flexible, absorber l'eau et bien s'adapter aux tissus de l'organisme. Pour lui conférer les propriétés souhaitées, l'équipe du PSI a gravé un fin motif à la surface de la cellulose.

Haute technologie et travail manuel

«Nous étudions ici de nouveaux matériaux, composants et procédés de fabrication, comme la lithographie en niveaux de gris. Et nous essayons de comprendre comment fonctionne la physique qui se cache derrière», explique Kirsten Moselund, tout en observant un collaborateur en combinaison de protection qui travaille sur une puce électronique dans la salle blanche et qui consulte régulièrement un chronomètre. Elle recourt, elle aussi, à une comparaison culinaire: «Nous apportons toujours du nouveau, nous employons peut-être un peu plus ou un peu moins d'un matériau donné et nous avons le flair de savoir quand s'arrêter. Beaucoup de choses sont faites à la main et demandent du doigté.» Et ce alors que l'on ne peut pas toucher aux structures.

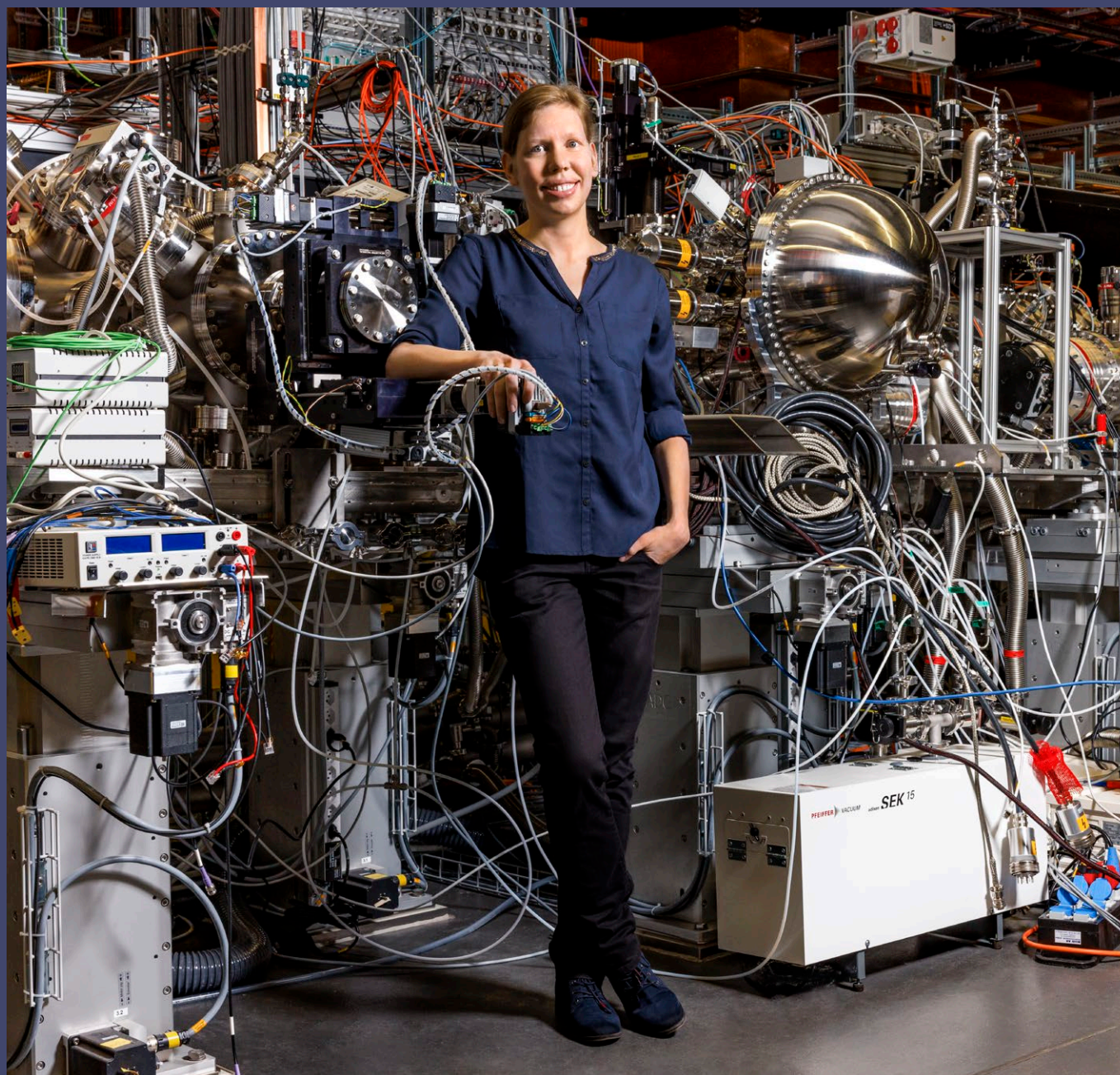
Cela vaut aussi pour la fabrication des composants de calculateurs quantiques novateurs qui sont

développés au Quantum Computing Hub. Ce centre, fondé conjointement par le PSI et l'ETH Zurich l'an dernier, est rattaché au Laboratoire des technologies nanométriques et quantiques. Il est également dirigé par Kirsten Moselund. «Nous avons deux groupes dans le domaine quantique, qui misent sur des concepts de qubits dits «supraconducteurs» et qui travaillent dans notre salle blanche», précise-t-elle. Les qubits sont à la base de tout ordinateur quantique. Contrairement aux bits binaires conventionnels, les qubits peuvent adopter simultanément plusieurs états et permettront à l'avenir de résoudre des problèmes mathématiques face auxquels les ordinateurs actuels sont dépassés. Il existe plusieurs possibilités pour réaliser pratiquement les qubits. L'une d'elles est la supraconductivité, qui permet de conduire l'électricité sans perte. Pour ce faire, les qubits sont construits comme des jonctions Josephson.

Jouer avec différents matériaux

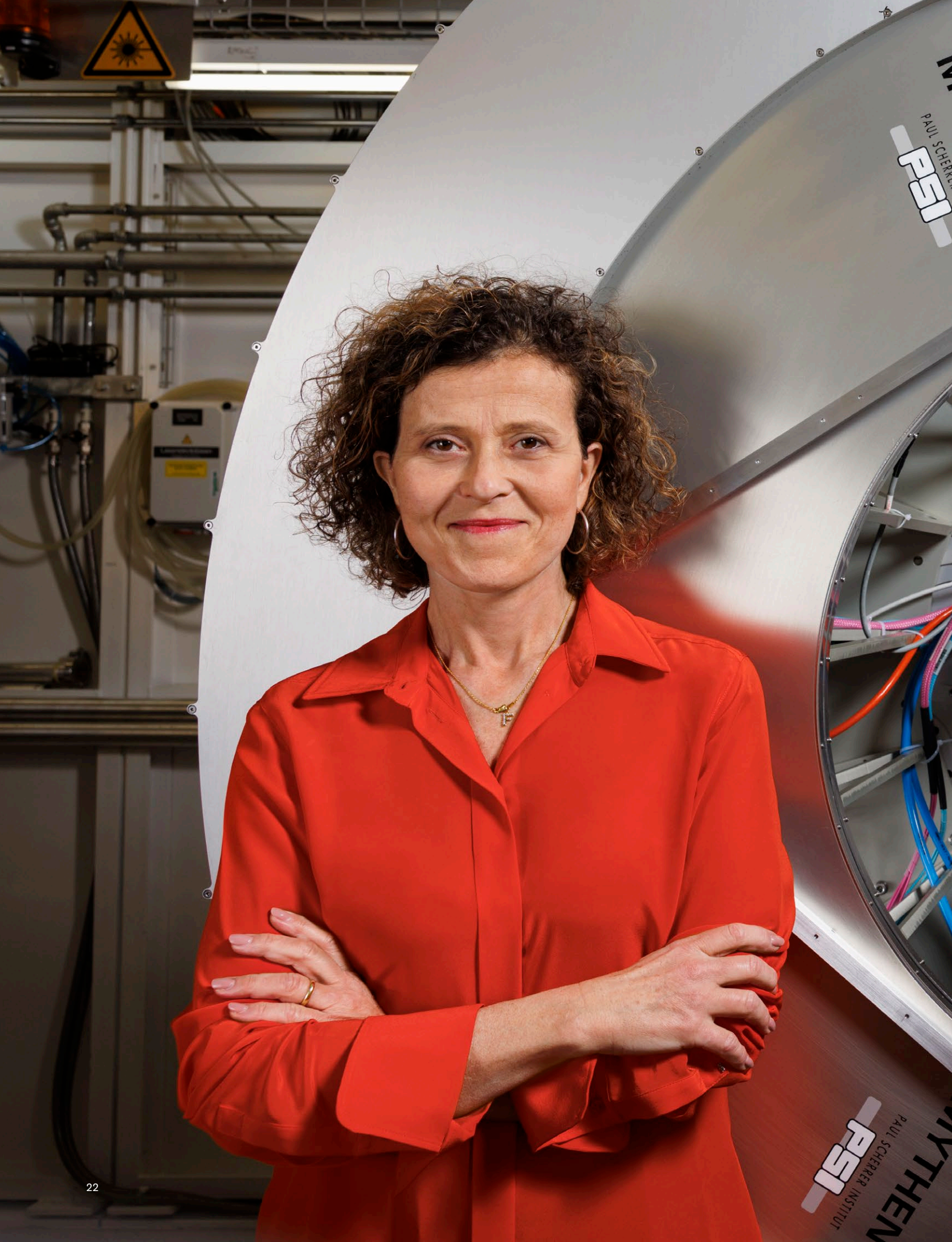
Une jonction Josephson est composée de deux minces couches de métal supraconducteur, entre lesquelles se trouve une couche d'oxyde encore plus fine et non conductrice. «On peut se servir de différents matériaux à cet effet», relève Kirsten Moselund. Aujourd'hui, on utilise le plus souvent de l'aluminium. Mais pour qu'il devienne supraconducteur, ce dernier doit être refroidi à une température extrêmement basse de moins 273,16 degrés Celsius, autrement dit presque au zéro absolu. D'autres métaux, comme le niobium ou le tantale, deviennent supraconducteurs à des températures un peu plus élevées. «Cela pourrait valoir la peine d'étudier différents matériaux et de jouer avec», note la chercheuse. La structure de la couche d'oxyde, composée par exemple d'oxyde d'aluminium ou d'oxyde de magnésium, joue aussi un rôle important. Des défauts dans cette couche peuvent perturber de manière décisive le fonctionnement des qubits supraconducteurs.

Kirsten Moselund se réjouit de la nouvelle salle blanche, beaucoup plus grande, qui est en construction au Park Innovaare, le parc de l'innovation situé près du PSI. La fabrication des jonctions Josephson et la recherche dans ce domaine y seront développées à l'aide d'un équipement de pointe. «Les nouveaux instruments nous permettront de mieux contrôler les processus de production», explique la chercheuse. La collaboration en cours avec l'industrie devrait être renforcée, elle aussi. Avec ses spécialistes, le PSI a l'opportunité d'établir de nouvelles technologies, estime-t-elle. «C'est ce qui rend la collaboration si intéressante, pour nous comme pour les entreprises, même si l'on ne pourra pas exploiter demain les résultats de recherche, relève Kirsten Moselund. Mais il est important de réfléchir à ce dont nous aurons besoin à l'avenir et de faire de la recherche avec clairvoyance.» ♦



Les nanoparticules sous une nouvelle lumière

Kirsten Schnorr est physicienne et cheffe de groupe. Avec son équipe, elle a conçu, construit et mis en service la station expérimentale Maloja à la grande installation de recherche SwissFEL, le laser à rayons X à électrons libres suisse du PSI. Aujourd'hui, elle y étudie les processus d'interactions chimiques et physiques entre les nanoparticules – notamment d'éléments lourds – et les rayons X. Ce projet est soutenu par le Fonds national suisse à hauteur de 1,3 million de francs. Les éléments lourds, tels que l'or, absorbent très efficacement les rayons X et une compréhension plus approfondie de tels processus pourrait augmenter l'efficacité de la radiothérapie en cas de cancer.



Fabia Gozzo, CEO d'Excelsus Structural Solutions, devant la station expérimentale de diffraction de poudres à la Source de Lumière Suisse SLS. La spin-off du PSI utilise cette installation, unique en son genre, pour analyser la structure cristalline de molécules complexes. Elle contribue ainsi, de façon importante, au développement de médicaments.

Des médicaments sûrs grâce aux rayons X

Depuis plus de dix ans, la spin-off du PSI Excelsus Structural Solutions épaulé des entreprises de l'industrie pharmaceutique ou chimique dans l'analyse précise de médicaments. Les chercheuses et les chercheurs scrutent en profondeur leur structure cristalline à l'aide de la Source de Lumière Suisse SLS.

Texte: Benjamin A. Senn

Imaginez un morceau de glace qui ne fond pas à température ambiante. Dans le roman de science-fiction de Kurt Vonnegut intitulé *Le Berceau du chat* et paru en 1963, le protagoniste découvre une substance de ce type. Elle a la même composition chimique que l'eau gelée, mais ne change pas d'état à une température supérieure à 0 degré Celsius. C'est l'arrangement cristallin de ses atomes qui est à l'origine de ce comportement paradoxal, de surcroît transmissible à l'eau ordinaire. Car dès que cette «glace-neuf» entre en contact avec l'eau, celle-ci gèle et se transforme à son tour en «glace-neuf». Un scénario apocalyptique, car il suffirait que cette «glace-neuf» atteigne les océans pour transformer la planète bleue en boule de glace.

Même si cette histoire est complètement inventée, la «glace-neuf» est fondée, comme nombre d'idées en science-fiction, sur un phénomène scientifique: le polymorphisme. Ce terme désigne la propriété selon laquelle l'arrangement cristallin des composants d'une substance peut exister sous diverses formes tridimensionnelles. Des changements de paramètres comme la pression ou la température peuvent modifier la disposition des atomes et transformer différentes formes polymorphes les unes dans les autres. Or, même si toutes ces formes ont exactement la même composition, elles peuvent présenter des propriétés physiques distinctes. Ainsi, la «glace-neuf» comprend, comme l'eau, deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène, mais son arrangement cristallin l'empêche de fondre à température ambiante.

Dans le cas des médicaments, le polymorphisme peut être dévastateur, car des formes différentes présenteront des comportements de dissolution distincts et seront mal absorbées par l'organisme, voire pas du tout – et, finalement, elles n'auront pas d'effet. Comme dans l'hypothèse de la «glace-neuf», la forme indésirable peut se propager et contaminer toute la production de médicaments. Pour éviter de tels scénarios, Fabia Gozzo, fondatrice et CEO de la société Excelsus Structural Solutions, propose, depuis 2012, avec son équipe de six personnes, ses services afin d'analyser la structure cristalline des produits en question.

De Villigen à Bruxelles et retour

Le siège principal d'Excelsus est situé dans la zone ouest du PSI. Ce petit bureau confortable contient six postes de travail, une table de conférence ovale et blanche au centre ainsi qu'un réfrigérateur rouge à l'arrière-plan. L'ambiance y est cordiale et familiale. «C'est là que nous planifions et analysons les expériences que nous conduisons à la SLS pour nos clients», explique Fabia Gozzo avec fierté. Depuis 2016, Excelsus fait partie du Park Innovaare, le parc

de l'innovation sis à Villigen, dont le nouveau campus sera prêt fin 2023. Excelsus ainsi que d'autres entreprises innovantes et start-up travailleront alors à proximité immédiate des grandes installations de recherche, utilisables pour leurs propres développements.

C'est à Villigen également que l'histoire d'Excelsus a commencé. Fabia Gozzo est arrivée au PSI en 1998. A l'époque, la SLS était encore en chantier. Lorsqu'il s'est agi de mettre en place la station expérimentale pour la diffraction des poudres, Fabia Gozzo s'est rapidement chargée de cette tâche. Aujourd'hui, cette installation compte parmi les meilleures au monde. Pendant cette période, elle envisageait déjà de devenir indépendante et de proposer son expérience, acquise au PSI, à l'industrie pharmaceutique. Lorsqu'elle a quitté son emploi au PSI après douze ans d'activité et qu'elle a déménagé à Bruxelles avec sa famille, cette idée s'est concrétisée et a débouché sur la fondation d'Excelsus en 2012.

«Au début, je travaillais seule depuis Bruxelles, se rappelle Fabia Gozzo. Le budget était serré et, pour les mandats de mesure, je faisais l'aller-retour entre le PSI et Bruxelles en voiture.» Mais son équipe s'est agrandie avec la clientèle. Mathilde Reinle-Schmitt a commencé comme postdoctorante à Excelsus et officie aujourd'hui en tant que directrice adjointe. «Un an après Mathilde, Mickaël Morin a rejoint l'équipe, poursuit-elle. En 2022, il a été, lui aussi, nommé directeur adjoint. En 2017 devait suivre Pam Whitfield, comme chercheuse senior. Elle travaille, pour l'instant, depuis l'Angleterre. Ines Collings, qui est actuellement en congé de maternité, nous a rejoints en 2021, de même que Fanny Costa. Toutes et tous sont des chercheurs talentueux et expérimentés, qui épaulent Excelsus de leur savoir-faire.»

Aujourd'hui, Excelsus travaille principalement pour des sociétés pharmaceutiques. «La plupart du temps, nous recevons différents échantillons d'un médicament sous forme de poudre», explique Mathilde Reinle-Schmitt. Ceux-ci sont par exemple issus de diverses conditions de production et de stockage. Autant de facteurs potentiellement susceptibles de modifier la structure cristalline et donc l'efficacité d'un médicament. «Notre travail consiste à utiliser la SLS pour déterminer si des formes polymorphes indésirables sont présentes dans les échantillons», précise-t-elle.

La force de diffraction de la lumière synchrotron

«Dans l'industrie chimique et pharmaceutique, on utilise la plupart du temps des appareils de laboratoire conventionnels, appelés diffractomètres de laboratoire à poudre», explique Fabia Gozzo.



L'équipe d'Excelsus: Fanny Costa, Mathilde Reinle-Schmitt et Mickaël Morin (de gauche à droite) devant le deliveryLAB du Park Innovaare. Dès fin 2023, le nouveau parc d'innovation de Villigen sera prêt à être investi.

Ces appareils sont en principe constitués d'une source de rayons X et d'un détecteur. Les rayons X sont diffusés à l'entrée dans l'échantillon par le réseau cristallin et enregistrés à la sortie par le détecteur. L'interaction entre le rayonnement et l'échantillon permet d'obtenir des informations sur la symétrie cristalline et sur la disposition spatiale de chaque atome.

«Ces appareils de laboratoire sont parfaits pour des examens de routine, estime Fabia Gozzo. Mais ils ne permettent pas de différencier de petites quantités de formes polymorphes dans un mélange.» C'est la raison pour laquelle Fabia Gozzo et ses collègues se sont tournés vers la SLS et le rayonnement synchrotron qu'elle produit, une forme spéciale de rayons X. «Le rayon synchrotron de la SLS est environ 500 000 fois plus intense que les rayons X des meilleurs instruments de laboratoire, relève-t-elle. Associé à une haute résolution angulaire, il permet de détecter même les plus petites impuretés.»

Par ailleurs, le détecteur utilisé pour les mesures a un temps d'acquisition de quelques microsecondes seulement, ce qui permet de conduire les expériences de manière extrêmement rapide et ce qui réduit la dose de rayonnement, protégeant les molécules fragiles contre les dégâts éventuels de l'analyse. Fabia Gozzo se souvient: «A l'origine, Bernd Schmidt, physicien au PSI, a conçu avec son équipe le détecteur Mythen, à la SLS, comme appareil pour des mesures à résolution temporelle – semblables à un film de l'ordre de la microseconde.» Fabia Gozzo, qui travaillait à l'époque comme scien-

tifique au PSI, a eu l'idée d'utiliser ce détecteur pour les échantillons sensibles au rayonnement. «Avec le groupe Détecteurs du PSI, nous avons effectué une série de calibrages complexes, mais nous avons finalement réussi à obtenir un temps d'acquisition rapide avec une qualité de données fantastique!» se rappelle-t-elle.

Un mélange d'industrie et de recherche

En tant que prestataire de services, Excelsus achète directement au PSI le temps de faisceau nécessaire pour ses clients et, ce faisant, coopère avec les chercheurs à la ligne de faisceau de la SLS. «Notre étroite collaboration avec le PSI nous permet d'être très flexibles et de garantir à nos clients un accès rapide et facile à la SLS et à ses méthodes d'analyse uniques», souligne Fabia Gozzo.

Le portefeuille de services va de la détection de formes polymorphes à l'expertise scientifique dans les affaires juridiques portant sur des questions de brevets ou de contrefaçon de médicaments, en passant par le soutien aux entreprises pendant le développement et la production de médicaments. Dans ce contexte, l'équipe doit constamment s'adapter aux dernières avancées de la recherche. Cela implique des échanges réguliers lors des congrès scientifiques, mais aussi la conduite de travaux de recherche et la publication de nouveaux résultats. «Nous avons un pied dans l'industrie et l'autre dans la recherche, conclut Fabia Gozzo en souriant. Et c'est ce mélange qui rend notre exigeant travail si plaisant!» ♦

Actualité de la recherche au PSI

1 Encore optimiser les freins de voiture

Des chercheurs du PSI, des collaboratrices et des collaborateurs du centre de transfert de technologie ANAXAM et le partenaire industriel Audi Sport ont littéralement fait la lumière dans l'obscurité: ils ont radiographié avec des neutrons un étrier de frein en action et mis en évidence son potentiel d'optimisation. Lors des expériences, ils ont observé avec précision la façon dont les pistons pressent les plaquettes sur le disque de frein, mais aussi comment le processus de freinage se termine. L'expérience a été conduite à la ligne de faisceau Neutra de la source de spallation SINQ. Le détecteur utilisé à cet effet enregistrait les neutrons derrière le dispositif expérimental et a fourni, pour finir, une image bidimensionnelle de l'intérieur de l'étrier de frein. Au terme d'une optimisation de leur fonctionnement par le partenaire de l'industrie, trois pistons de l'intérieur de l'étrier de frein affichaient, sous le faisceau de neutrons, un jeu d'air agrandi, soit un meilleur comportement. Ainsi, le contact entre plaquette de frein et disque de frein s'interrompait de manière fiable quand le frein était desserré.

Informations supplémentaires:
<https://psi.ch/fr/node/55166>

Jusqu'à **100** bars: telles sont les pressions hydrauliques que le dispositif de test spécial permettait d'atteindre.

6 pistons de frein pressent les plaquettes de frein contre le disque de frein.

0,1 mm: c'est l'optimisation obtenue pour ce que l'on appelle le «jeu d'air».



2 Utiliser la lumière pour activer et désactiver des médicaments

A l'aide du laser à rayon X à électrons libres suisse SwissFEL et de la Source de Lumière Suisse SLS, les chercheurs de l'Institut Paul Scherrer PSI ont tourné un film qui pourrait donner une impulsion décisive au développement d'un nouveau type de médicaments. Ils ont réalisé ce progrès dans le domaine de la photopharmacologie, une discipline qui cherche à développer des principes actifs que l'on peut activer et désactiver de manière ciblée avec de la lumière. Les chercheurs ont utilisé le principe actif combrétastatine A-4 (abrégié en CA4), actuellement testé comme médicament contre le cancer dans le cadre d'études cliniques. Il se lie à la tubuline, une protéine dont sont constitués les microtubules. Ces derniers forment pour ainsi dire la structure fondamentale des cellules de l'organisme et favorisent également la division cellulaire. CA4 déstabilise les microtubules et peut ainsi enrayer la division incontrôlée des cellules cancéreuses et freiner la croissance tumorale. A la suite d'une modification chimique, le principe actif devient quasiment photosensible et peut être activé et désactivé par de la lumière. Les chercheuses et les chercheurs ont observé ce processus aux grandes installations de recherche ultraprécises du PSI. Filmer des principes actifs photoactifs au travail ouvre la possibilité d'acquérir de nombreuses connaissances importantes en médecine.

Informations supplémentaires:
<https://psi.ch/fr/node/55436>

3 Faire voler les avions de manière durable

L'Institut Paul Scherrer PSI et la start-up suisse Metafuels ont développé une nouvelle méthode pour fabriquer du carburant d'aviation durable, un carburant dit SAF (abréviation de l'anglais *sustainable aviation fuel*). A présent, ils réalisent conjointement la construction et l'exploitation d'une première installation-pilote sur le site du PSI, afin de valider la technologie et de l'utiliser commercialement à large échelle, dans un avenir proche. L'objectif est de développer puis de commercialiser un procédé efficace et bon marché de production de kérosène synthétique à base de ressources renouvelables. Il s'agit de fabriquer, avec de l'eau, de l'électricité verte et du dioxyde de carbone issu de sources durables, un carburant de haute qualité, avec lequel des modèles actuels d'avions pourraient voler – en complément du kérosène fossile ou même comme carburant principal. En collaboration avec l'équipe de Metafuels, les chercheuses et les chercheurs du PSI ont développé un procédé catalytique qui ne se contente pas d'éviter les matières premières fossiles, mais qui atteint aussi une sélectivité plus élevée – le rapport rendement-conversion – et une utilisation des énergies renouvelables plus efficace que les procédés SAF employés jusqu'ici. Cette technologie doit contribuer à réaliser l'objectif de zéro émission nette dans l'aviation.

Informations supplémentaires:
<https://psi.ch/fr/node/55853>

4 L'énigme du smog nocturne élucidée

Dans le cadre d'un vaste projet commun, les scientifiques du PSI ont élucidé la question suivante: pourquoi, à New Dehli, la capitale de l'Inde, le smog se forme-t-il la nuit, contrairement à toutes les règles de la chimie de l'atmosphère? L'équipe a découvert que ces taux élevés de poussières fines étaient dus aux vapeurs produites par la combustion du bois. Pour les quelque 400 millions de personnes qui vivent dans la plaine du Gange, en Inde, brûler du bois est une pratique courante pour cuisiner et se chauffer. Comme il n'existe pas de sévères restrictions à ce sujet, il n'y a pas que le bois qui sert de combustible, mais aussi parfois des plastiques et d'autres déchets. Lors de ce genre de combustion, un mélange gazeux avec d'innombrables liaisons chimiques apparaît. Ces molécules sont invisibles dans l'atmosphère à l'œil nu, même en fortes concentrations. Mais à la tombée de la nuit, la température chute si rapidement à New Dehli que certaines de ces molécules de gaz se condensent et s'agglomèrent en quelques heures, pour former des particules pouvant atteindre 200 nanomètres, qui sont alors visibles sous forme de brume grise.

Informations supplémentaires:
<https://psi.ch/fr/node/56398>

Tour du monde des saveurs

GALERIE

Au PSI travaillent des personnes de 64 nationalités différentes. Chacune d'elles a bien entendu ses préférences culinaires. Dans cette galerie, nous ne présenterons que cinq chercheuses et chercheurs et leur mets préféré. Le choix a été difficile. Néanmoins, ils nous offrent déjà un petit voyage gustatif autour du monde.

Texte: Christian Heid



Mexicain

Manuel Guizar Sicairos dirige le groupe de recherche Imagerie à rayons X assistée par ordinateur et travaille à la grande installation de recherche Source de Lumière Suisse SLS du PSI et, comme professeur, à l'EPFL. Son groupe se concentre sur le développement de nouvelles méthodes de prises de vue et de techniques de reconstruction avancées. Son plat favori? *L'aguachile de camarón*. Une délicieuse entrée mexicaine, épicée et rafraîchissante. Pour la réaliser, on utilise une méthode très répandue en Amérique latine, qui consiste à «cuire» les crevettes dans du jus de limette.

Recette: <https://psi.ch/fr/node/57186#mexikanisch>





Brésilien

Camila Bacellar est une scientifique spécialisée dans les lignes de faisceau. Elle est cheffe de la station expérimentale Alvra à la grande installation de recherche SwissFEL, le laser suisse à rayons X à électrons libres, où elle épaulé notamment les scientifiques invités lorsqu'ils conduisent leurs expériences. Du côté culinaire, elle raffole des *pão de queijo*. Ces boulettes de pain au fromage sont très répandues au Brésil et consommées comme snack ou au petit déjeuner. Dans l'idéal, on les prépare avec de la pulpe de manioc fermentée, appelée *polvilho azedo*.

Recette: <https://psi.ch/fr/node/57186#brasilianisch>



Japonais

Takashi Ishikawa dirige le groupe de recherche Ima-gerie de structures cellulaires, où l'on utilise la cryo-tomographie et la microscopie électronique pour produire et analyser des images de macromolécules et d'organelles biologiques. Il nous a mis l'eau à la bouche avec du *tori no kara-age*, du poulet frit. Les morceaux de viande sont marinés dans de la sauce au soja, du saké, du gingembre ou de l'ail, selon les préférences de chacun. De nombreuses variantes de ce plat sont proposées lors du festival Karaage-Matsuri de la ville japonaise de Ōita.

Recette: <https://psi.ch/fr/node/57186#japanisch>



Hongrois

Fanni Juranyi est scientifique en instrumentation à la grande installation de recherche SINQ, la source suisse de neutrons à spallation. Elle étudie les mouvements de diffusion et de vibration dans les matériaux complexes et la manière dont ils sont liés aux propriétés des matériaux. L'un de ses plats préférés est le *lángos*, un pain plat très populaire en Hongrie. Traditionnellement, il est simplement enduit d'une pâte d'ail (ail pressé, eau et huile) et salé. Outre le *lángos* traditionnel, il en existe de nombreuses variétés. Par exemple, on peut aussi le déguster avec de la crème fraîche et du fromage râpé.

Recette: <https://psi.ch/fr/node/57186#ungarisch>





Indien

Kannan Ramachandran est scientifique dans le groupe Economie énergétique, qui fait partie de la division de recherche Energie et environnement ainsi que de la division de recherche Energie nucléaire et sûreté. Il se concentre sur le développement et l'application de modèles économiques pour la politique énergétique et l'atténuation du changement climatique. Son mets préféré est le *idli*, un classique du sud de l'Inde. Le *idli* est servi sur une feuille de bananier, notamment au petit déjeuner. La pâte est composée de haricots noirs et de riz. Une fois fermentée, elle est façonnée en galettes plates et rondes, cuite à la vapeur, puis garnie de sauce sambar à base de lentilles et de tamarin, mais aussi de chutney de noix de coco, dont le goût peut être aigre-doux ou piquant.

Recette: <https://psi.ch/fr/node/57186#indisch>

Précision suisse et tempérament grec

Iakovos Barmpadimos évalue les risques climatiques pour la société de réassurance SCOR. Ce physicien de l'atmosphère a acquis une bonne partie de ses connaissances pendant son doctorat au PSI. Une préparation idéale à son travail actuel, souligne-t-il.

Texte: Jan Berndorff

En ce jour de janvier, les nuages sont bas sur le lac du Zurich. Tout près du site zurichois de la société française de réassurance SCOR, la Bürkliplatz est très animée. En face, vers la gauche, l'opéra trône sur la berge. Et, au loin, au-dessus de la rive sud, le soleil perce à travers l'épaisse couche nuageuse. Difficile d'imaginer de meilleures conditions pour mettre en scène Iakovos Barmpadimos, physicien de l'atmosphère. Il apparaît très vite que cet employé d'assurances, dont le travail s'articule autour des chiffres, a aussi d'autres talents: par exemple lorsqu'il s'agit de tenir fermement son parapluie dans la tempête qui souffle sur les rives du lac. La polyvalence revêt une grande importance à ses yeux. Elle lui a déjà bien servi pendant son doctorat au PSI et à l'ETH Zurich. C'est là qu'il a acquis la confiance en soi nécessaire pour parler en public: «Avant, j'étais plutôt timide et très nerveux lors de telles occasions, se rappelle-t-il. Mais au cours de mes quatre années en tant que doctorant à l'ETH Zurich et chercheur au PSI, j'ai donné beaucoup de conférences et réussi ainsi à m'en libérer.» C'est également là-bas qu'il a développé sa capacité à travailler avec la précision toute particulière dont il a besoin aujourd'hui pour calculer des primes d'assurance réalistes, fondées sur les données des dommages climatiques passés et sur des projections futures. La soutenance de sa thèse de doctorat, notamment, a été une très bonne école.

Des catastrophes dans l'analyse

Nous retournons à son poste de travail, sis dans le nouveau bâtiment vitré où son employeur a emménagé il y a deux ans et demi avec ses quelque 250 collaborateurs zurichois. Un bureau paysager, de la moquette sombre, beaucoup de plantes en pot, une ambiance calme et raffinée. Sur le bureau de Iakovos Barmpadimos se dressent deux grands écrans avec des graphiques. A droite, une carte de France, sur laquelle la zone du Massif central est colorée en bleu foncé. A gauche, on aperçoit un

diagramme temporel où de nombreuses taches bleues de différentes tailles apparaissent sous une ligne transversale qui dessine des méandres. «Les deux graphiques résultent de notre travail sur une vague de froid qui s'est produite en France en avril 2021», explique Iakovos Barmpadimos. Après une période de chaleur inhabituelle à la fin du mois de mars, où les températures avaient atteint 25 degrés Celsius et où beaucoup de plantes s'étaient mises à fleurir, les températures avaient localement chuté à moins 8 degrés Celsius dans les régions cultivables importantes de la Bourgogne et du Beaujolais, pendant la nuit du 6 au 7 avril. «Pour les vigneron et les producteurs de fruits, c'était la catastrophe, dit-il. Ils ont perdu pratiquement toute la récolte de cette année-là.»

Bien entendu, nombre d'entre eux étaient assurés contre les dégâts occasionnés par le gel. Mais cet événement a poussé SCOR à recalculer les primes de réassurance avec lesquelles les sociétés d'assurances pour exploitations agricoles se prémunissent contre les dommages importants. Les primes doivent toujours être adaptées aux changements de circonstances. Et dans le domaine où Iakovos Barmpadimos est actif – les sinistres naturels –, il y a beaucoup à faire en raison du changement climatique.

Il fallait donc réunir, pour cette région, les données météorologiques et les données des sinistres de l'année précédente, faire des projections futures à partir de modèles climatiques actuels et calculer sur cette base des primes adéquates. Le problème des vagues de froid au printemps n'est pas qu'elles se multiplient. Au contraire, avec le réchauffement général, elles sont devenues plus rares. Mais les plantes fleurissent et bourgeonnent de plus en plus tôt, parfois en avance de plusieurs semaines. «Ainsi, malgré des gelées globalement moins fréquentes, il arrive plus souvent que les plantes gèlent», explique Iakovos Barmpadimos. C'est ce que montre le graphique sur son écran de gauche. «Et, évidemment, nous devons en tenir compte.»





«Les gens oublient et refoulent très vite – jusqu’à la prochaine grosse catastrophe.»

Iakovos Barmpadimos, physicien de l’atmosphère

Bien entendu, il pense aux destinées des agriculteurs concernés, souligne-t-il. Et au fait que la situation ne sera pas plus facile pour eux, si les primes d'assurance augmentent au fur et à mesure que les phénomènes météorologiques extrêmes se multiplient. Mais il s'efforce de mettre cet aspect de côté dans son travail. «En principe, nous avons le même intérêt, dit-il. A savoir éviter les dégâts autant que possible.» C'est pourquoi, dans maintes régions où le risque de catastrophes naturelles ne cesse d'augmenter, la culture de plantes n'a plus de sens à un moment donné. C'est un aspect que les personnes affectées et les autorités responsables doivent prendre en compte. «Lors d'événements comme des vagues de froid ou des inondations, qui ne se produisent pas fréquemment, il est souvent difficile de convaincre les gens. Ils oublient et refoulent très vite – jusqu'à la prochaine grosse catastrophe.»

Des calculs dans le monde entier

Iakovos Barmpadimos conduit, chaque année, une cinquantaine de calculs de primes de ce genre dans le monde entier. Il travaille également pour des clients – c'est-à-dire des compagnies d'assurances – situés en Inde, au Pakistan, en Allemagne, en Turquie et aux Etats-Unis, principalement dans le domaine de l'agriculture. Il voyage souvent, avec d'autres collaborateurs de SCOR, pour les rencontrer, discuter des résultats du projet et négocier les primes finales.

A l'origine, il a fait ses études de physique à Athènes, sa ville natale. Il s'est spécialisé en chimie de l'atmosphère et en météorologie. Mais il s'est dit qu'il serait peut-être plus facile de trouver un emploi dans ce domaine dans d'autres pays d'Europe. Il a donc fait son master en météorologie appliquée à l'Université de Reading, en Angleterre. En 2007, il est parti en Suisse, où il a obtenu son titre de docteur à l'ETH Zurich. Il a mené ses travaux de recherche sur les aérosols dans différentes conditions environnementales au PSI, dans le groupe Chimie des phases gazeuses et des aérosols, sous la direction du chef de groupe André Prévôt, avec Urs Baltensperger, chimiste de l'atmosphère, comme directeur de thèse. «Iakovos était très fort en programmation et il savait se former rapidement à de nouvelles thématiques, se souvient André Prévôt. Son naturel méditerranéen, ouvert et chaleureux, a été un atout pour le groupe de recherche et le laboratoire.»

Lorsque Iakovos Barmpadimos est arrivé en Suisse, il ne parlait pas un mot d'allemand et encore moins de suisse allemand. «Aujourd'hui encore, je ne parle toujours pas le dialecte, dit-il. Mais mes collègues du PSI m'ont accueilli très chaleureuse-

ment et m'ont aidé chaque fois qu'ils le pouvaient. Même en dehors du travail, par exemple pour des démarches administratives et pour déménager. L'ambiance était familiale.»

On n'a pas seulement travaillé ensemble, on faisait aussi des excursions en montagne et du sport, raconte-t-il encore. Iakovos Barmpadimos était, entre autres, membre de l'équipe de basket du PSI et il a participé à quelques tournois entre institutions de recherche, par exemple à Berlin. Il s'intéresse beaucoup au sport. Fervent supporteur de l'AEK Athènes, le club de football de sa ville d'origine, il retrouve régulièrement une vingtaine d'autres supporteurs qui vivent à Zurich et il se rend au stade avec eux, lorsque l'AEK joue en coupe d'Europe dans les environs. «C'est là que mon tempérament grec reprend le dessus», sourit-il.

Il a même appris à skier pendant qu'il était au PSI. «En tant que Grec, le ski m'était complètement étranger, avoue-t-il. Mes collègues m'ont appris à en faire en déployant des trésors de patience. J'ai épousé une Suissesse entre-temps et fondé une famille. Si bien que, maintenant, je peux aller skier avec mes deux enfants. Ici, dans les Alpes, c'est une activité qui va de soi.»

Aujourd'hui, il a 42 ans et cela fait dix ans qu'il n'est plus au PSI, mais il a sporadiquement des contacts avec l'institut. Au début, il a même participé à quelques publications de recherche. «Mais je ne le fais plus, dit-il. Je me concentre maintenant sur mon travail.» Néanmoins, en plus des rapports personnels, certains contacts professionnels perdurent, par exemple lorsque l'ETH Zurich invite des actuaires, comme lui, à intervenir en tant qu'experts de la pratique à un séminaire destiné aux collaborateurs et aux étudiants.

Prendre racine en Suisse

Outre l'équipe du PSI, les cours de langue et sa famille lui ont permis de s'acclimater en Suisse. Iakovos Barmpadimos ne peut plus s'imaginer retourner en Grèce: «Je me sens parfaitement bien ici et j'y ai pris racine, note-t-il. J'aime beaucoup mon travail et la gestion de données, tout comme la ponctualité et la précision des Suisses. Et pas seulement pour des motifs professionnels.»

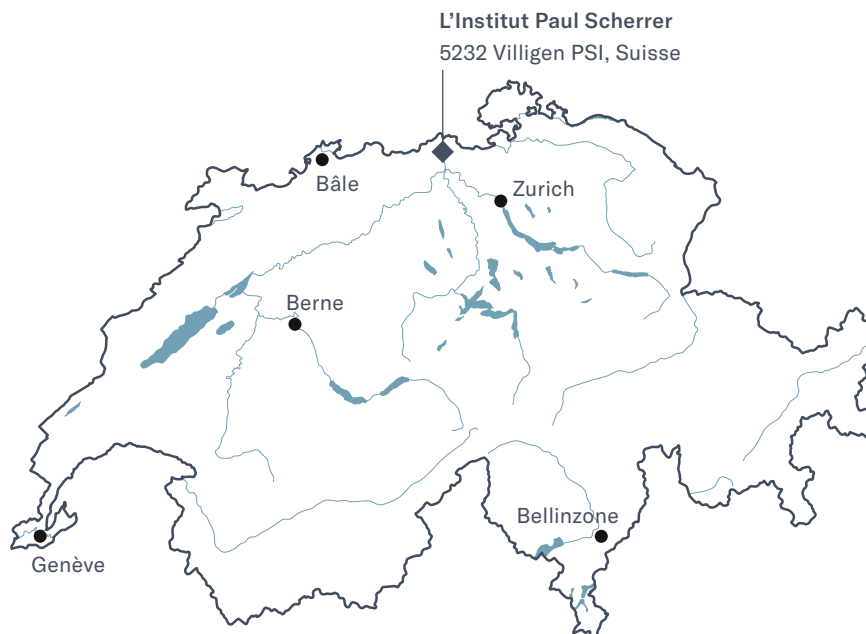
Mais, en tant que père de famille, n'est-il pas préoccupé par le fait que le changement climatique affecte aussi la Suisse? «Bien sûr, dit-il. Nous devons nous adapter. Et je ne veux pas seulement dire que ce ne sera pas drôle de skier sur de la neige artificielle, au milieu d'un paysage brun. Il y aura plus de tempêtes, de fortes pluies, de sécheresses et d'autres phénomènes météorologiques extrêmes. Mais faire l'autruche ne sert à rien. Nous devons tout essayer pour éviter le pire.» ♦



QUI SOMMES-NOUS?

Depuis chez nous, en Argovie,
nous faisons de la recherche pour la Suisse
en coopération mondiale.





L'Institut Paul Scherrer
5232 Villigen PSI, Suisse

5

grandes installations de recherche
uniques en Suisse

800

articles scientifiques publiés chaque
année dans des revues spécialisées
et qui reposent sur des expériences
menées aux grandes installations
de recherche

5000

scientifiques du monde entier
mènent chaque année
des expériences à ces grandes
installations de recherche

5232 est l'adresse où l'on fait de la recherche en Suisse à de grandes installations de recherche. Car l'Institut Paul Scherrer PSI a son propre code postal. Une particularité justifiée, d'après nous, pour un institut qui s'étire sur 342 000 mètres carrés, qui possède son propre pont sur l'Aar et qui compte 2200 collaborateurs, autrement dit plus d'employés que certains villages des environs n'ont d'habitants.

Le PSI est sis dans le canton d'Argovie, sur les deux rives de l'Aar, entre les communes de Villigen et de Würenligen. C'est un institut de recherche fédéral pour les sciences naturelles et les sciences de l'ingénieur, qui fait partie du domaine des Ecoles polytechniques fédérales (EPF), les autres membres étant l'ETH Zurich, l'EPF Lausanne, l'Eawag, l'Empa et le WSL. Avec notre recherche fondamentale et notre recherche appliquée, nous œuvrons à l'élaboration de solutions durables pour répondre à des questions majeures, tant sociétales que scientifiques et économiques.

De grandes installations de recherche complexes

Nous avons reçu de la Confédération suisse le mandat de développer, de construire et d'exploiter de grandes installations de recherche complexes. Ces dernières sont uniques en Suisse et certains équipements sont même uniques au monde, car ils n'existent qu'au PSI.

De nombreux chercheurs, actifs dans les disciplines les plus diverses, ont la possibilité de faire des découvertes essentielles pour leur travail en menant des expériences à nos grandes installations de recherche. En même temps, la construction et l'exploitation d'installations pareilles sont si complexes et coûteuses qu'au niveau de leur propre infrastructure les groupes de recherche dans les hautes écoles et dans l'industrie ne peuvent pas disposer de ce genre d'instruments de mesure. C'est pourquoi nos installations sont ouvertes à tous les chercheurs.

S'ils veulent obtenir du temps de mesure pour leurs expériences, les chercheurs de Suisse et de l'étranger doivent toutefois faire acte de candidature auprès du PSI. Le comité de sélection, composé d'experts, évalue ces demandes en fonction de leur qualité scientifique et recommande au PSI les scientifiques auxquels il faut véritablement l'allouer. En effet, même si le PSI dispose d'une quarantaine de postes de mesure auxquels des expériences peuvent être menées simultanément, il n'y a pas assez de temps disponible pour toutes les candidatures. Entre un tiers et la moitié des demandes doivent être refusées.

Chaque année, quelque 1900 expériences sont conduites aux grandes installations de recherche au PSI. Le temps de mesure au PSI est gratuit pour tous les chercheurs académiques. Les utilisateurs de l'industrie ont la possibilité d'acheter du

temps de mesure pour leur propre recherche dans le cadre d'une procédure spécifique et d'utiliser les installations de recherche pour leur recherche appliquée. Le PSI offre à cet effet des prestations spéciales de recherche et de développement.

Au total, le PSI entretient cinq grandes installations de recherche qui permettent de se plonger dans des matériaux, des biomolécules et des appareils techniques afin de sonder les processus qui se jouent à l'intérieur de ceux-ci. Lors de leurs expériences, les chercheurs «radiographient» les échantillons qu'ils veulent analyser au moyen de différents rayonnements. Ils ont à disposition des faisceaux de particules – neutrons et muons – ou de lumière intense de type rayons X – lumière synchrotron ou laser à rayons X. Ces divers types de rayonnements permettent d'étudier, au PSI, une grande variété de propriétés des matériaux. La complexité et les coûts de ces installations sont dus notamment au fait que, pour produire ces différents rayonnements, il faut de grands accélérateurs.

Nos quatre principaux domaines de recherche

Mais le PSI n'est pas seulement prestataire de services pour d'autres chercheurs; il a son propre programme de recherche et ce dernier est ambitieux. Les découvertes faites par les chercheurs au PSI permettent de mieux comprendre le monde qui nous entoure et établissent les fondements nécessaires au développement d'appareils et de traitements médicaux innovants.

En même temps, la recherche en interne est une condition importante pour assurer le succès du programme «utilisateurs» aux grandes installations. Car seuls des chercheurs impliqués dans les derniers développements scientifiques sont en mesure d'épauler les utilisateurs externes dans leur travail et de continuer à développer les installations pour qu'à l'avenir elles correspondent aux besoins de la recherche.

Notre propre recherche se concentre sur quatre points principaux. Dans le domaine Technologies d'avenir, nous étudions les multiples propriétés des matériaux. Avec ces connaissances, nous créons les bases de nouvelles applications – que ce soit en médecine, dans les technologies de l'information, dans la production

et le stockage énergétiques – ou de nouveaux procédés de production dans l'industrie.

Dans le domaine Energie et climat, nos travaux ont pour objectif de développer de nouvelles technologies pour un approvisionnement énergétique durable, sûr et respectueux de l'environnement. De plus, nous y étudions les interdépendances au sein du système climatique de la Terre.

Dans le domaine Innovation santé, les chercheuses et les chercheurs s'efforcent d'identifier les causes de certaines maladies et les méthodes thérapeutiques possibles. Par ailleurs, nous exploitons la seule installation de Suisse permettant de traiter des maladies cancéreuses spécifiques avec des protons. Cette méthode, particulièrement peu agressive, permet de détruire les tumeurs de manière ciblée, tout en préservant la quasi-totalité des tissus sains environnants.

Dans le domaine Fondements de la nature, les scientifiques cherchent des réponses à la question essentielle des structures élémentaires de la matière et des principes fondamentaux de la nature. Ils étudient la structure et les propriétés des particules élémentaires – les plus petits composants de la matière – et élucident des processus primordiaux chez les organismes vivants. Ces connaissances ouvrent de nouvelles pistes de réflexion en science, en médecine ou dans le domaine des technologies.

Les cerveaux derrière les machines

Le travail aux grandes installations de recherche du PSI est exigeant. Nos chercheurs, ingénieurs et professionnels sont des experts hautement spécialisés. Pour nous, il est important de préserver ces connaissances. Nous attendons donc de nos collaborateurs qu'ils transmettent leur savoir à des jeunes qui s'en serviront dans le cadre de différentes positions professionnelles, pas seulement au PSI. C'est pourquoi près d'un quart de nos collaborateurs sont des apprentis, des doctorants et des postdocs.

5232 – Le magazine de l'Institut Paul Scherrer

Paraît trois fois par an.
Numéro 2/2023 (mai 2023)
ISSN 2571-6891

Editeur

Paul Scherrer Institut
Forschungsstrasse 111
5232 Villigen PSI, Suisse
Téléphone +41 56 310 21 11
www.psi.ch

Rédaction

Monika Gimmel,
Martina Gröschl,
Christian Heid,
Sebastian Jutzi (resp.),
Benjamin A. Senn,
Dr Mirjam van Daalen

Traduction

Catherine Riva

Correction

Étienne Diemert

Design et direction artistique

Studio HübnerBraun

Photos

Scanderbeg Sauer Photography, sauf:
Page 25: Institut Paul Scherrer/
Mahir Dzambegovic;
Page 26: Adobe Stock;
Pages 28–33, 35–37: Jürg Waldmeier;
Page 38: Institut Paul Scherrer/
Markus Fischer.

Infographies

Studio HübnerBraun, sauf:
Pages 6–7: Daniela Leitner;
Page 41: Adobe Stock.

Pour en savoir plus sur le PSI

www.psi.ch/fr/

5232 est disponible sur Internet et sur abonnement gratuit

www.psi.ch/fr/5232

5232 est également disponible en allemand et en anglais

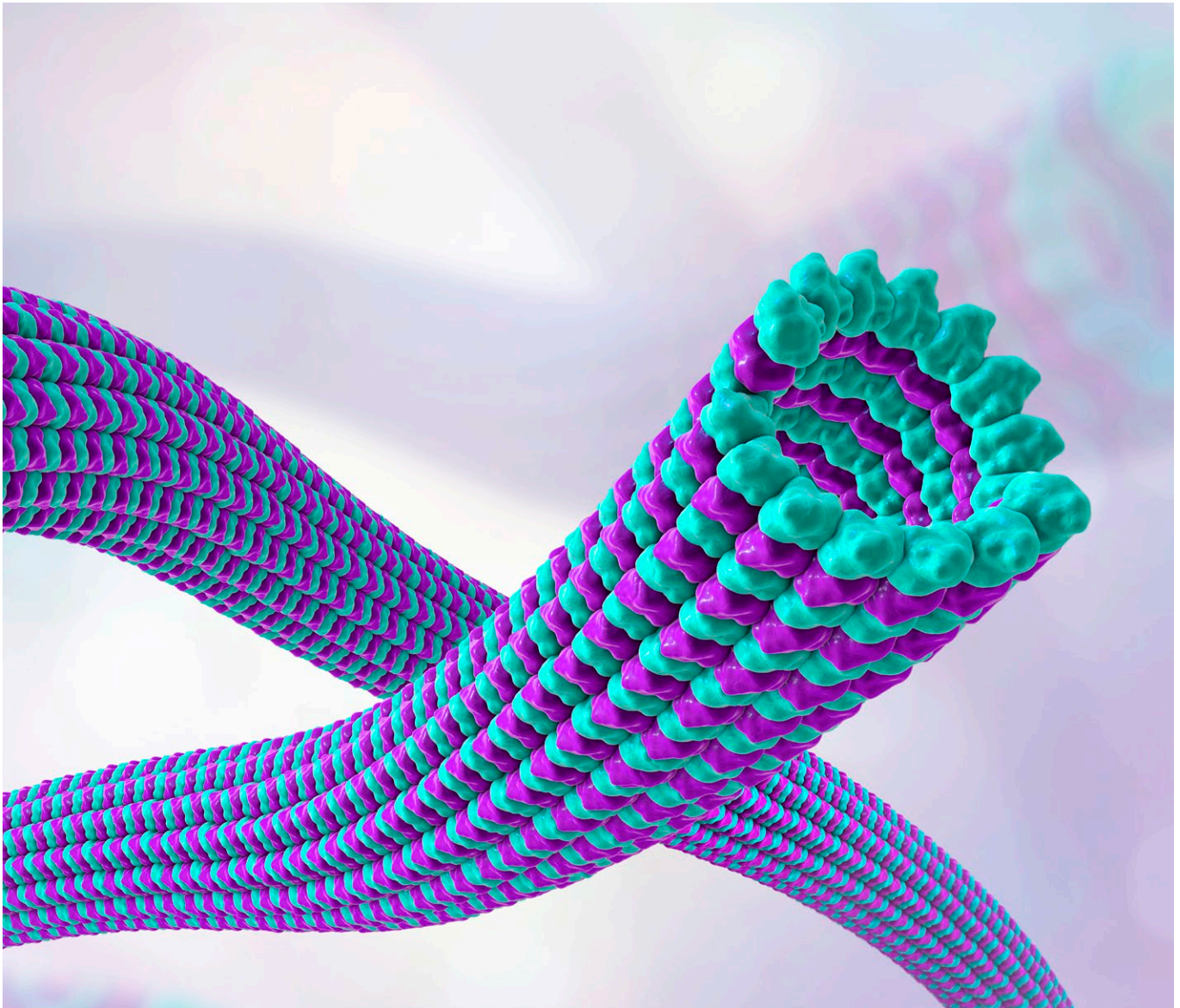
www.psi.ch/de/5232

www.psi.ch/en/5232

IMPRESSUM

PAUL SCHERRER INSTITUT





Ce qui vous attend dans le prochain numéro

Le cytosquelette est l'un des sujets les plus prometteurs de la recherche biologique actuelle. Contrairement à ce que son nom laisse supposer, il ne s'agit pas seulement d'une structure interne. Il joue également un rôle important dans les processus vitaux fondamentaux, par exemple la division cellulaire ou la mobilité des unités fonctionnelles internes d'une cellule, appelées «organelles». Des troubles dans ces processus peuvent provoquer des maladies neurodégénératives. D'autre part, les substances actives, qui s'attaquent de manière ciblée au squelette cellulaire, offrent des approches thérapeutiques intéressantes, par exemple contre le cancer. C'est pourquoi les scientifiques du PSI travaillent dans la recherche de pointe mondiale pour mieux comprendre les processus liés au cytosquelette et créer ainsi de nouvelles possibilités pour la médecine.



Paul Scherrer Institut
Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen PSI, Suisse
www.psi.ch | +41 56 310 21 11