

DOSSIER

LA SCIENCE DE LA GLACE ET DES NUAGES

Le magazine de l'Institut Paul Scherrer

02 / 2019

2025





TOILE DE FOND

En plein air et dans le smog

Les chercheurs du PSI contribuent à élucider les questions globales liées au changement climatique et à réduire la pollution atmosphérique.

Page 10

INFOGRAPHIE

Un laboratoire flottant

Pour étudier l'eau, la glace et l'atmosphère de l'Arctique, quarante scientifiques se sont rendus au pôle Nord, à bord du brise-glace *Oden*, durant l'été 2018. Deux chercheurs du PSI, spécialistes de l'atmosphère, étaient du voyage.

Page 16



REPORTAGE

La recherche au-dessus des nuages

A la station de recherche du Jungfrauoch, les scientifiques du PSI doivent s'accommoder du fait que le corps humain n'est pas conçu pour vivre à 3500 m d'altitude.

Page 18

CONTENU

QUESTIONS-RÉPONSES

Trois questions à Thierry Strässle 4

LE PRODUIT

Les smartphones 6

L'AUXILIAIRE

Une plaque de cuisson 7

DOSSIER:

LA SCIENCE DE LA GLACE ET DES NUAGES 8

TOILE DE FOND

En plein air et dans le smog 10

INFOGRAPHIE

Un laboratoire flottant 16

REPORTAGE

La recherche au-dessus des nuages 18

EN IMAGE

Rasmus Ischebeck 21

AILLEURS EN SUISSE

Une main à nulle autre pareille 22

Au PSI, des conservatrices scrutent l'intérieur d'un objet archéologique exceptionnel datant de l'âge du bronze.

EN BREF

Actualité de la recherche au PSI 26

- 1 Des protéines dans le faisceau du SwissFEL
- 2 Avec une lentille en mouvement
- 3 Moins de gaz à effet de serre avec la propulsion électrique
- 4 Mesure de sursauts gamma

GALERIE

De feu et de glace 28

Des chercheurs du PSI œuvrent au service de l'environnement avec un four à charbon chinois, une chambre à nuages et une chambre à smog mobile.

PORTRAIT

Dans la fabrique de cristaux de protéines 34

Florence Pojer prépare ses échantillons à Lausanne, mais c'est à la SLS du PSI qu'elle les radiographie.

QUI SOMMES-NOUS? 38

IMPRESSUM 40

DANS LE PROCHAIN NUMÉRO 41

Thierry Strässle, le PSI dispose d'installations de recherche uniques en Suisse. Pourquoi est-il nécessaire de mener des expéditions en d'autres endroits?

1

Le PSI étudie aussi les conséquences de la production et de la consommation d'énergie sur notre environnement et c'est là-bas, hors de nos murs, que nous collectons les échantillons pour les analyser ensuite au PSI. Nous utilisons par exemple la lumière de type rayons X de la SLS pour déterminer comment les gaz et les particules fines se comportent dans la neige et la glace. C'est important, parce qu'ils influencent l'absorption et la réflexion de la lumière des glaciers et des banquises. Ces connaissances permettent d'améliorer les modèles climatiques dont nos politiques ont besoin comme base pour élaborer des mesures de protection du climat.

Le PSI contribue donc aussi à améliorer la fiabilité des prévisions météo?

2

De manière indirecte, certainement, même si ce qui nous occupe, ce n'est pas le bulletin météo du lendemain. Quand nous étudions le climat et son évolution, c'est-à-dire les processus à long terme qui se jouent dans l'atmosphère, nous apprenons aussi des choses sur les conditions météorologiques au niveau régional et nous sommes plus à même d'estimer leur future évolution. Ce n'est que l'une des conséquences pratiques de notre recherche environnementale – parmi beaucoup d'autres. L'étude des polluants présents dans l'air en est un autre exemple. Nous la menons sur place et en laboratoire.

Les chercheurs du PSI étudient l'environnement sur toute la planète et notamment dans les régions polaires. Qu'est-ce que ces lieux reculés ont à voir avec notre environnement?

3

Dans la recherche environnementale, nous nous concentrons sur les processus liés à l'atmosphère. Or, cette dernière est toujours affectée par la production et la consommation d'énergie. Dans les zones polaires, nos chercheurs trouvent dans certains cas un air encore très pur et largement comparable à celui de l'ère préindustrielle. Cela nous permet d'établir des valeurs de référence, que nous comparons avec les valeurs mesurées dans l'air à d'autres endroits. Par ailleurs, la composition chimique nous permet de déduire quelles sont les contributions des différentes sources à la formation des particules fines. Nous sommes ainsi en mesure de mieux distinguer les changements dans l'atmosphère qui sont bel et bien dus à des activités humaines et ceux qui ne le sont pas. Ces connaissances permettront à notre société de prendre les bonnes décisions en matière de lutte contre la pollution atmosphérique.

A portrait of Thierry Strässle, a middle-aged man with short brown hair, wearing a dark grey blazer over a maroon button-down shirt. He is standing outdoors with trees in the background. The text is overlaid on the lower left of the image.

Trois questions à Thierry Strässle

QUESTIONS-RÉPONSES

Certains chercheurs du PSI escaladent des glaciers, d'autres voyagent en Arctique et d'autres encore se rendent dans des métropoles indiennes noyées sous le smog. Pourquoi? Thierry Strässle, directeur *ad interim*, nous explique quelle est la place de la recherche environnementale à l'Institut Paul Scherrer.



Certaines analyses menées au PSI pourraient servir un jour à améliorer des produits du quotidien. Exemple.

Les smartphones

Une caméra avant et arrière, avec quelques capteurs optiques pour mesurer la luminosité et assurer la reconnaissance faciale, par exemple: un smartphone moderne dispose de plusieurs systèmes optiques, eux-mêmes dotés de lentilles optiques qui permettent de focaliser la lumière pour chacune de ces tâches. Conçues de manière compacte, comme tout ce qui se trouve dans un smartphone, ces lentilles ont un diamètre de quelques millimètres seulement.

Pourtant, elles remplissent la même fonction que les lentilles optiques d'un appareil photo classique. Et, dans l'idéal, elles sont si lisses que leurs aspérités de surface n'excèdent pas quelques atomes.

L'exigence à laquelle les lentilles de smartphone doivent satisfaire est la même. Toutefois, ces lentilles ne sont pas fabriquées en verre mais à partir de plastiques spéciaux. Et leurs moules le sont par lithographie: des faisceaux lumineux concentrés forment le matériau, de sorte à obtenir les cavités nécessaires. Au laboratoire, les chercheurs ont réussi d'améliorer une étape de ce processus de fabrication pour obtenir des lentilles de smartphone ultralisses jusqu'au niveau des atomes.

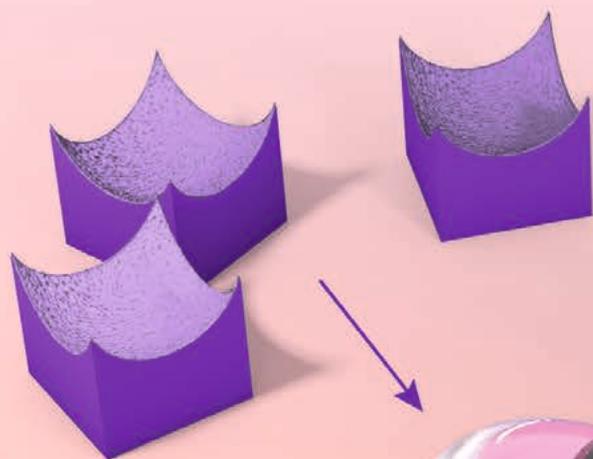
La recherche de pointe recourt parfois à des auxiliaires étonnamment ordinaires. Exemple.

Une plaque de cuisson

Pour fabriquer les minuscules lentilles optiques destinées aux smartphones, on utilise des moules. Si leur surface se révèle trop rugueuse, cela se reporte ensuite sur les lentilles. Or, des lentilles trop rugueuses produisent des selfies et des images de moindre qualité.

Les chercheurs du PSI se sont penchés sur le problème. Les petits moules sont d'abord créés à l'aide d'une technique complexe appelée «lithographie à deux photons». Il en résulte des cavités parfaites mais trop rugueuses. Pour en lisser la surface, les chercheurs du PSI ont chauffé le matériau. Résultat: seule la couche supérieure a fondu et s'est ainsi «autolissée».

Au bout de quelques essais, c'est un auxiliaire étonnamment simple et efficace qui permet d'atteindre cet objectif dans cette expérience: les plaques de cuisson ordinaires, comme celles des kitchenettes de studio.



La science de la glace et des nuages

Se mettant au service de l'environnement, les scientifiques du PSI étudient les éléments traces dans les glaciers de haute montagne, où la nature les a archivés au fil des millénaires. Ils mesurent les concentrations de smog dans les métropoles. Et étudient, dans les régions polaires, les processus qui gouvernent la formation des nuages. Par leur recherche, ils contribuent à améliorer les prévisions climatiques et à réduire la pollution atmosphérique.

1

TOILE DE FOND

En plein air et dans le smog

Page 10



2

INFOGRAPHIE

Un laboratoire flottant

Page 16

3

REPORTAGE

La recherche au-dessus
des nuages

Page 18



En plein air et dans le smog

Les chercheurs du PSI forent, en haute montagne, dans des glaciers millénaires et analysent, à Delhi en Inde, les concentrations de poussières fines les plus élevées du monde. Ils contribuent ainsi à élucider les questions globales liées au changement climatique et à limiter la pollution atmosphérique.

Texte: Barbara Vonarburg

DANS LES ALPES

Coordonnées géographiques:
45°55'N 7°52'E

Des chercheurs du PSI ont installé leur campement au Colle Gnifetti, un glacier situé sur un col au sud-est de Zermatt, afin d'y prélever des carottes de glace.



«C'est vrai, notre recherche est très aventureuse», reconnaît Margit Schwikowski. Chercheuse au PSI et responsable du Laboratoire de chimie de l'environnement, cette chimiste voyage dans le monde entier avec son équipe et une tonne de matériel pour prélever des carottes de glace dans les glaciers de haute altitude. Leur glace, vieille de plusieurs siècles, renseigne en effet sur le passé de la planète. En 2018, Margit Schwikowski a passé deux semaines, en tant que chef d'expédition, sur le glacier du mont Béloukha, qui culmine à 4100 mètres d'altitude dans le massif de l'Altaï, en Sibérie: «Nous étions six personnes venues de Suisse – trois femmes et trois hommes –, avec deux membres du service de sauvetage russe», raconte-t-elle.

Avec son équipement de forage, le groupe a réussi à atteindre le lit rocheux situé tout en bas et à prélever une carotte de glace de 160 mètres. La glace des glaciers est une archive naturelle, car des particules en suspension s'y déposent lors de chaque chute de neige. Plus on fore profondément, plus on peut regarder loin dans le passé. «Je pense que cette nouvelle carotte de glace va nous permettre de remonter jusqu'à dix mille ans en arrière, explique Margit Schwikowski. Lorsqu'elle est située à une profondeur pareille, la glace est particulièrement amincie par la pression et par le temps. Du coup, les dépôts de différents siècles se succèdent à des intervalles de quelques centimètres.»

Les chercheurs du PSI soumettent les particules organiques disponibles dans la glace à ce qu'on appelle la «datation par le radiocarbone», une méthode surtout utilisée en archéologie et en paléontologie.



Margit Schwikowski et ses collègues rangent leurs carottes de glace dans la chambre froide du PSI.

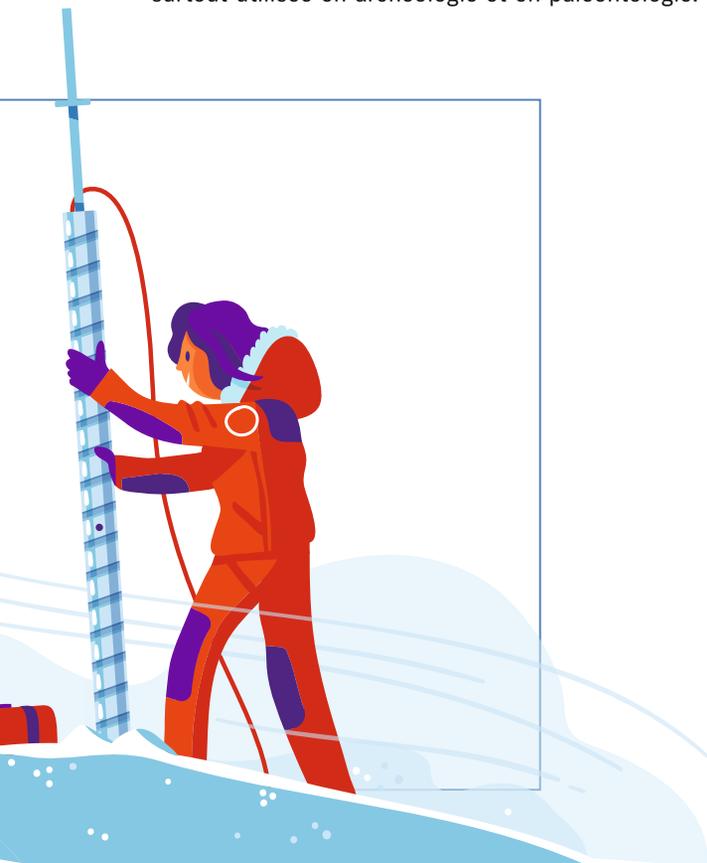
A cette fin, d'infimes quantités de carbone leur suffisent. «Nous avons développé cette méthode pour dater la glace et nous sommes toujours les seuls dans le monde à être capables de le faire, souligne la chimiste avec fierté. De ce fait, on nous envoie des échantillons de glace du monde entier.»

En 2001, le groupe de recherche avait déjà prélevé une carotte de glace plus courte sur le glacier du mont Béloukha. Elle avait permis de remonter sept cent cinquante ans en arrière et fourni pléthore de résultats. A partir de la composition des molécules d'eau, les chercheurs avaient réussi à reconstruire l'évolution des températures de la région au fil du temps. En concordance avec les études globales sur le réchauffement climatique, ils avaient montré que les fluctuations de l'ère préindustrielle s'expliquaient par les différences d'activité du Soleil, alors que ce n'était pas le cas de la forte augmentation des températures survenue après 1850.

De l'argent pour Catherine la Grande

Outre des informations sur le climat, la glace fournit des renseignements historiques: celle du mont Béloukha a permis aux chercheurs de mettre en évidence la présence, dès 1770, de polluants dans l'atmosphère, liés à l'extraction de l'argent. A cette époque, Catherine la Grande régnait sur la Russie. L'argent extrait dans le massif sibérien de l'Altaï était utilisé pour fabriquer les pièces de monnaie du pays.

Aujourd'hui, la glace du forage de 2001 est presque complètement épuisée, et les chercheurs se réjouissent de disposer du nouveau matériau. La carotte





Préparatifs en vue des expéditions de recherche: Julia Schmale étudie la formation des nuages dans les régions polaires.

de glace, d'une épaisseur de 8 centimètres, a été découpée en tronçons de 70 centimètres et répartie dans quinze caisses isolantes. Elle a été acheminée jusqu'en Suisse d'abord par hélicoptère, puis par camion frigorifique et enfin par avion. «Nous avons dû veiller à ce que rien ne reste coincé à la douane», raconte Margit Schwikowski, avant de décrire le précieux chargement avec enthousiasme: «Pour moi, en tant que spécialiste de l'analyse des traces, la glace est un supermatériau. Mais, actuellement, les glaciers reculent de manière dramatique et, avec eux, c'est notre objet de recherche qui disparaît.» Pour cette raison, la chercheuse participe à l'initiative Ice Memory, soutenue par l'Unesco. L'idée est de stocker en Antarctique des carottes de glace provenant des glaciers de haute montagne du monde entier afin qu'elles restent conservées pour les générations futures.

La surface de la glace à la lumière des rayons X

La glace et la neige sont aussi un objet de recherche au sein du groupe Chimie des surfaces, également rattaché au Laboratoire de chimie de l'environnement de Margit Schwikowski. Plus précisément, ces chercheurs se penchent sur les propriétés physiques et chimiques des couches supérieures de cristaux à la surface de la glace. A l'aide de la lumière de type rayons X de la Source de Lumière Suisse SLS au PSI, les chercheurs déterminent la structure et la composition des dix premiers nanomètres (millionnièmes de millimètre) des surfaces de glace. L'équipe s'efforce entre autres de découvrir comment les gaz et les particules fines s'y déposent, information cruciale pour l'analyse des carottes de glace. Autre aspect impor-

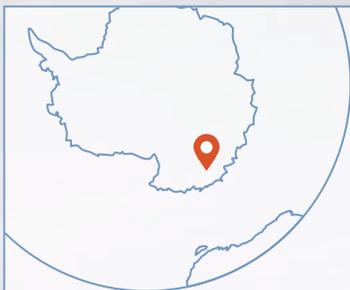
tant: la manière dont ces substances influent sur le pouvoir réfléchissant (albédo) de la surface de la neige, qui joue un rôle au niveau du climat, et sur les réactions chimiques dans l'atmosphère. «Nos résultats sont intégrés à une banque de données qui forme le corpus de connaissances sur lequel s'appuient les modèles climatiques», précise Markus Ammann, responsable du groupe de recherche.

Des aérosols qui influencent le climat

Quel est l'impact sur le climat et sur notre santé des particules qui flottent dans l'atmosphère et que l'on appelle aussi aérosols, poussière fine ou particules fines? Cet aspect, les chercheurs du Laboratoire de chimie de l'atmosphère au PSI l'étudient eux aussi. «Les aérosols influencent le climat de diverses manières», explique Urs Baltensperger, directeur du laboratoire. Les origines de ces particules sont nombreuses: les particules de suie, issues de la combustion, aussi bien que les cristaux de sel marin sont des aérosols. Il existe des aérosols solides ou liquides, et leur taille peut varier considérablement. De la même manière, les processus induits dans l'atmosphère sont très divers: certains aérosols absorbent la lumière du Soleil, ce qui les chauffe et contribue au réchauffement de l'atmosphère; d'autres réfléchissent la lumière vers l'espace et ont donc un effet refroidissant. Par ailleurs, les aérosols servent de support aux gouttelettes à l'origine de la formation des nuages. «Plus il y a d'aérosols, plus les nuages sont blancs et nombreux», résume Urs Baltensperger. Les nuages refroidissent eux aussi le climat, car ils protègent du rayonnement solaire.

S'ils veulent étudier l'impact des aérosols naturels – sans les effets des particules fines d'origine anthropique – sur la formation des nuages, les chercheurs doivent se rendre dans des régions très isolées. «Pour trouver de l'air complètement propre, il faut aujourd'hui aller dans les régions polaires», affirme Julia Schmale, responsable du groupe de recherche Processus moléculaires des clusters et des particules au laboratoire d'Urs Baltensperger. La chercheuse et ses collaborateurs participent à des expéditions internationales. Il y a deux ans, ils ont fait le tour du continent Antarctique à bord d'un brise-glace; le Swiss Polar Institute rattaché à l'EPFL avait organisé cette





EN ANTARCTIQUE

Coordonnées géographiques:
67°30'S 144°45'E

Des chercheurs du PSI ont fait le tour du continent Antarctique à bord d'un navire de recherche et étudié les aérosols présents dans cette atmosphère exempte de poussière fine d'origine anthropique.





EN INDE

Coordonnées géographiques:
28°39'N 77°14'E

Des chercheurs du PSI ont étudié la qualité de l'air à Delhi et mesuré les concentrations élevées de particules fines dans le smog de cette métropole.





Au moyen de la chambre à smog, Urs Baltensperger étudie ce que deviennent les émissions de gaz dans l'atmosphère.

expédition. A l'été 2018, en revanche, Julia Schmale et ses collègues se sont rendus en Arctique, où plusieurs groupes de recherche se sont partagés un navire qui leur a servi de «laboratoire flottant» (voir l'infographie aux pp 16-17).

Outre les effets des aérosols, les chercheurs du laboratoire d'Urs Baltensperger étudient l'origine des particules fines. Près de la moitié sont issues de ce qu'on appelle des sources primaires: il peut s'agir de moteurs à combustion comme de la nature elle-même. La suie, la poussière provenant de l'abrasion des pneus, la poussière minérale et le sel marin en font partie. L'autre moitié des aérosols apparaissent uniquement dans l'atmosphère, lorsque certains gaz forment des liaisons chimiques. Sur le sujet, trois publications – auxquelles le groupe de travail d'Urs Baltensperger a contribué de manière essentielle – ont fait parler d'elles en 2016: les chercheurs y montraient qu'une part considérable de liaisons organiques naturelles entraînait la formation de nouveaux aérosols dans l'atmosphère. «Nous avons découvert que les substances aromatiques émises par les forêts réagissaient, entre autres, avec l'ozone présent dans l'air et formaient ainsi de nouveaux aérosols», raconte Urs



Baltensperger. Les essais avaient été conduits dans une chambre spécialement construite au CERN, à Genève, baptisée CLOUD. Des mesures au Jungfraujoch (voir p. 18) ont confirmé que ce processus avait aussi cours dans la nature. «Depuis, il est clair qu'il faut prendre en compte cet apport dans les modèles climatiques», souligne Urs Baltensperger.

Mais il n'y a pas que le climat où les aérosols jouent un rôle important: les particules fines peuvent avoir aussi des effets considérables sur la santé humaine. Chaque année, sept millions de personnes dans le monde meurent prématurément des conséquences de la pollution de l'air. C'est pourquoi André Prévôt et son groupe de recherche étudient actuellement la qualité de l'air à Delhi, en Inde. Les concentrations de polluants qu'ils y mesurent sont vingt à trente fois plus élevées qu'en Suisse et principalement issues de sources humaines. Avec leurs appareils et leurs analyses, André Prévôt et son équipe sont en mesure de révéler ces sources et les processus qui produisent beaucoup de poussière fine ainsi que de déduire les mesures susceptibles de remédier à la situation.

Un four chinois dans la chambre à smog

«Il est de notre responsabilité de mettre à profit nos connaissances pour améliorer la qualité de vie sur la Terre entière, affirme André Prévôt. Et si nos résultats contribuaient à améliorer la qualité de l'air en Inde, l'un de mes grands objectifs personnels serait atteint.» En Chine, cela a fonctionné. Les chercheurs du PSI ont réussi à montrer que le smog à Pékin était constitué pour l'essentiel de particules fines secondaires, à la formation desquelles contribuaient aussi des sources très éloignées. Outre les mesures effectuées sur place, le groupe de chercheurs a mené des expériences dans la chambre à smog au PSI. «Nous avons importé un four chinois avec son charbon (voir p. 28) et nous avons étudié ce que les gaz produits induisaient au niveau de l'atmosphère», explique le chercheur, spécialiste des sciences atmosphériques. Ces connaissances ont conduit le gouvernement à Pékin à interdire l'utilisation des chauffages au charbon en ville et à fermer de nombreuses entreprises dans un rayon de 500 kilomètres. Avec pour résultat le recul de la concentration des polluants, qui a atteint 25 % en cinq ans seulement.

Pour mesurer le smog, les chercheurs ont construit un laboratoire mobile (voir p. 30) qui leur permet d'analyser sur place la composition de la poussière fine. Entre-temps, ils ont développé un nouvel appareil avec lequel ils peuvent notamment suivre d'autres réactions qui se passent dans les particules fines et qui sont susceptibles d'avoir un effet sur la santé. «Cela ouvre un champ de recherche complexe avec de nouvelles questions extrêmement importantes, souligne Urs Baltensperger. Cela nous fait plaisir et, pour nous autres chercheurs, c'est très gratifiant!» ♦

Un laboratoire flottant

L'été au pôle Nord: en août et en septembre 2018, le navire de recherche suédois *Oden* est resté amarré à une vaste banquise. Quarante scientifiques ont conduit, à bord et sur la glace, les projets de recherche les plus divers. Dans le «container suisse», évidemment de couleur rouge avec une croix blanche, Julia Schmale et Andrea Baccarini, tous deux chercheurs au PSI, ont analysé les aérosols de l'Arctique. Ces particules naturelles en suspension dans l'atmosphère sont produites, entre autres, par des micro-organismes qui vivent dans l'eau et la glace. Lorsqu'ils s'élèvent dans l'atmosphère, les aérosols entraînent la formation de nuages et jouent ainsi un rôle décisif dans le climat de la Terre. Ce projet de recherche contribue donc à mieux comprendre le changement climatique d'origine anthropique.



1 Banquise d'une superficie équivalente à environ 300 terrains de football et d'une épaisseur pouvant atteindre 6 mètres. Elle devait être suffisamment solide pour supporter le poids de tout l'équipement et en même temps suffisamment mince pour être percée et permettre le passage du **16** véhicule submersible et des **19** carottes de glace.

2 Ancre.

3 Sonde pour mesures en haute mer. Elle collecte des échantillons d'eau jusqu'à 1000 mètres de profondeur, entre autres pour étudier certains micro-organismes.

4 Plate-forme d'appontage pour hélicoptère, d'où le ballon-sonde météo est lâché dans l'atmosphère quatre fois par jour. Il recueille des données météorologiques à une altitude pouvant atteindre 25 kilomètres.

5 Pont du bateau et local du météorologue.

6 Salle de réunion.

7 Container de recherche du PSI avec extracteur d'air.

8 Dortoirs.

9 Radar et Lidar: radar de nuages et radar de détection de particules par laser pour la télémessure de données atmosphériques, par exemple l'altitude des nuages.

10 Laboratoire humide où les échantillons marins sont analysés et où les carottes de glace sont fondues pour être étudiées.

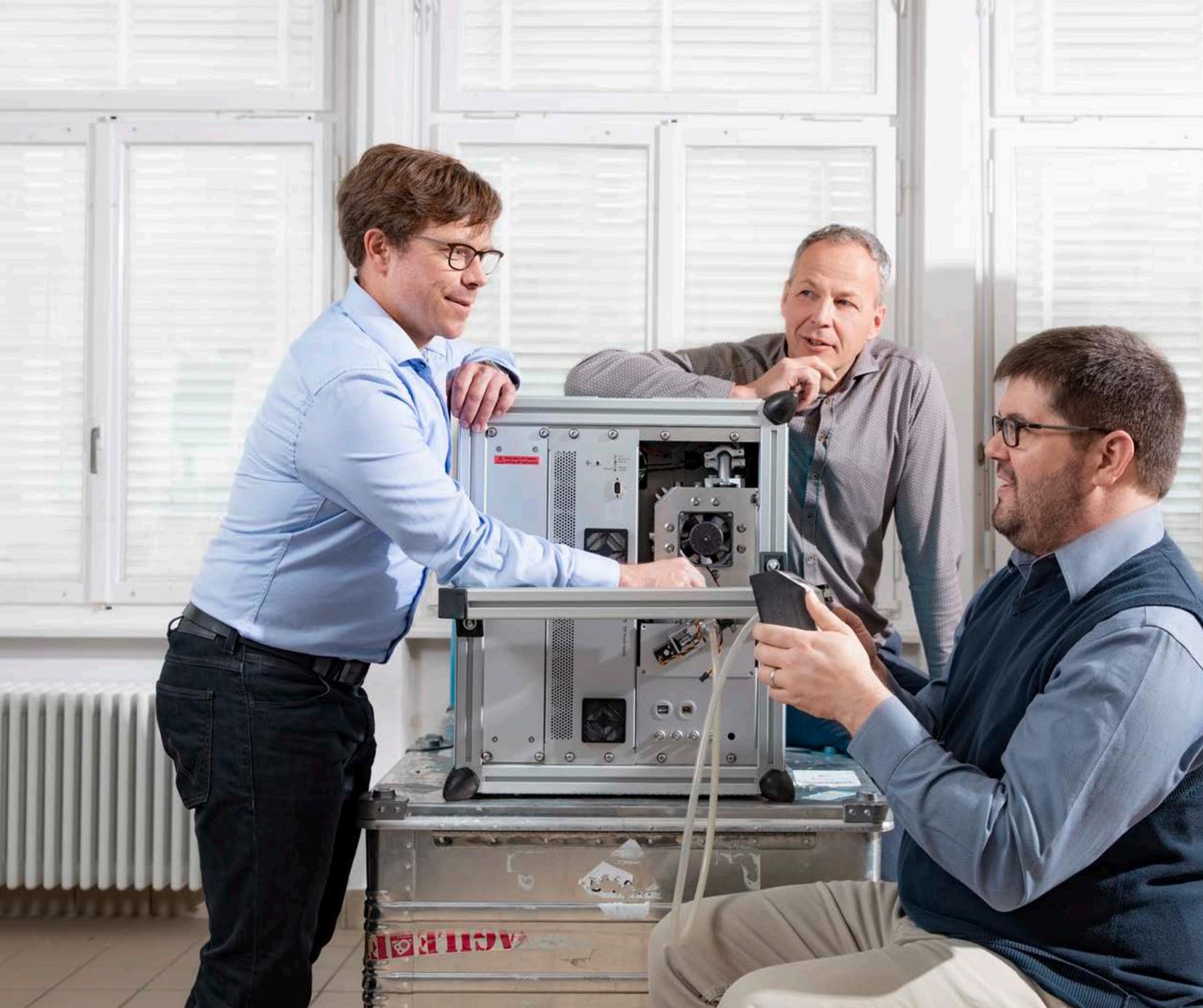
11 Salle commune «Odenplan».



12 Cantine: c'est là que sont pris les repas et qu'a lieu le briefing du météorologue chaque jour à 8 h 15.
13 Mât météorologique.
14 Passerelle que l'on retire durant la nuit pour éviter qu'un ours polaire ne se retrouve sur le bateau. En outre, tous les matins, à 6 heures, celle qui surveille officiellement les ours blancs effectue une ronde sur la banquise.

15 Aire de détente.
16 Véhicule submersible: une tente coupole protège le trou foré dans la glace, par lequel un véhicule submersible télécommandé est régulièrement descendu dans l'eau. Il recueille des données sur les quantités de lumière que la banquise laisse passer et sur les endroits où se forment les colonies de micro-organismes.

17 Ballon-sonde captif qui s'élève plusieurs fois par jour à 1,5 kilomètres d'altitude, entre autres, pour recueillir des données sur les aérosols.
18 Mesure, entre les banquises, des quantités de sel marin relâchées dans l'atmosphère.
19 Des carottes de glace sont prélevées dans la banquise pour être analysées à bord de l'Oden.



La recherche au-dessus des nuages

Au Jungfraujoch, les scientifiques du PSI étudient les particules fines. Et ils doivent s'accommoder du fait que le corps humain n'est pas conçu pour vivre à 3500 mètres d'altitude.

Texte: Joel Bedetti

A la station de recherche du Jungfraujoch, Martin Gysel, Günther Wehrle et Benjamin Brem (de gauche à droite) assurent, entre autres, la continuité d'une série de mesures à long terme portant sur les aérosols.

Sur les neuf derniers kilomètres que le train parcourt à travers un tunnel rocheux en pente raide, la tête du voyageur se fait légère. La pression atmosphérique qui diminue fait battre ses tempes. Martin Gysel sourit. «Même ceux qui ne font pas l'ascension pour la première fois ont souvent la nausée», assure-t-il.

Heureusement, il s'agit de la dernière ligne droite avant d'arriver au Jungfraujoch, situé à quelque 3500 mètres d'altitude entre le Mönch et la Jungfrau dans les Alpes bernoises. Martin Gysel, responsable du groupe de recherche Physique des aérosols à l'Institut Paul Scherrer, a fait le voyage avec Günther Wehrle, technicien, et Benjamin Brem, ingénieur en environnement. Hormis eux, le train transporte encore des touristes: chaque année, le Jungfraujoch draine près d'un million de visiteurs.

Le convoi finit par s'arrêter dans une petite secousse. Il vient d'atteindre la gare ferroviaire la plus haute d'Europe. Les touristes descendent du train et s'égaillent vers la plate-forme panoramique et le Palais des glaces, un parcours de couloirs et de halles, taillé dans la glace.

Martin Gysel, Günther Wehrle et Benjamin Brem attrapent leurs sacs à dos et se dirigent vers un portail discret qui ouvre sur une zone non accessible au public: la station de recherche de haute montagne du Jungfraujoch, dont l'exploitation a démarré en 1931, environ vingt ans après la mise en service des chemins de fer de la Jungfrau. Benjamin Brem, nouvel arrivant dans le groupe de recherche de Martin Gysel, est ici pour la première fois. Il doit se familiariser avec l'avant-poste le plus éloigné du PSI, car désormais, il est responsable du projet central de Martin Gysel au Jungfraujoch: une série de mesures à long terme des aérosols.

Avec le CO₂ et le méthane, les aérosols, plus connus sous le nom de particules fines, sont l'un des facteurs responsables du changement climatique d'origine anthropique. Mais alors que les deux gaz entraînent fondamentalement le réchauffement du climat, l'impact des aérosols est plus complexe, voire inverse. «La plus grande incertitude au sujet des prévisions climatiques découle des diverses propriétés des aérosols, explique Martin Gysel. C'est pourquoi nous avons encore besoin de beaucoup de recherche dans ce domaine-là.»

Les trois chercheurs se rendent d'abord aux logements de la station. Des scientifiques venus de toute l'Europe et des conducteurs de chemin de fer de la Jungfrau y passent souvent la nuit. Il y a assez de place pour héberger treize personnes en même temps. Le laboratoire de recherche de la station, qui est exploité par une fondation, est situé dans l'observatoire du Sphinx, le plus haut bâtiment qui forme l'emblème de la station du Jungfraujoch avec sa coupole et sa terrasse panoramique. Des scientifiques de l'Empa et de l'Université de Berne y mènent aussi des recherches. Les chercheurs du PSI ont régulièrement des collaborations scientifiques avec eux.

Dans la salle des machines

Pour rejoindre le Sphinx depuis les logements, il faut traverser le territoire des touristes. Après lors et tandis que Martin Gysel ouvre un autre portail, un visiteur curieux, armé d'une perche à selfie, cherche à entrer. «Sorry, only for scientists», lui dit Martin Gysel. Un ascenseur emmène le trio de chercheurs tout en haut du Sphinx. Puis ils se mettent au travail, alors qu'à l'étage inférieur les touristes photographient le panorama alpin ou achètent des tee-shirts et des montres de prix.

«Enlevez vos vestes», recommande Günther Wehrle. En dépit de la température glaciale qui règne de l'autre côté des vitres, la zone réservée aux chercheurs ressemble à une salle des machines en raison de la chaleur et du bruit ambiants, générés par les dizaines d'instruments de mesure et d'ordinateurs qui bourdonnent. Les trois scientifiques ne se disent donc que le strict nécessaire, lorsqu'ils vérifient les appareils et qu'ils en recalibrent certains.

Le corps humain n'est pas conçu pour travailler à 3500 mètres d'altitude: monter les escaliers est déjà épuisant; la concentration se dissipe vite. D'où la





«Dans le doute, passe un coup de fil au PSI. En bas, leurs cerveaux sont mieux oxygénés.»

Günther Wehrle, technicien au Laboratoire de chimie de l'atmosphère, PSI

fameuse histoire de ce visiteur qui, un soir, voulait préparer des spaghetti. C'est au moment où tout le monde prenait place à table, l'estomac dans les talons, qu'il avait réalisé qu'il venait de mettre l'eau à bouillir. Günther Wehrle connaît le phénomène pour l'avoir lui-même vécu: «Parfois, tu rumines pendant une demi-heure sur un problème que, normalement, tu résoudrais en une minute», raconte-t-il.

«Vous avez un conseil pour éviter ça?» demande Benjamin Brem, qui travaillait jusque-là à l'Empa, le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche, sis à 440 mètres d'altitude à Dübendorf. Günther Wehrle hausse les épaules: «Fais une chose après l'autre, lui conseille-t-il. Et, en cas de doute, passe un coup de fil au PSI. En bas, leurs cerveaux sont mieux oxygénés.»

De la recherche dans la troposphère

Pendant que les deux autres calibrent un instrument de mesure, Martin Gysel sort une palette de petits filtres avec lesquels les chercheurs collectent les aérosols. Le filtre du Jungfrauoch est légèrement beige, alors que celui du milieu urbain est tout noir. «Dans une ville, la concentration de particules de suie, par exemple, peut être mille fois plus élevée», relève Martin Gysel.

Grâce à l'altitude, le site du Jungfrauoch permet de bien étudier les modifications que subissent les particules éphémères lors de leur trajet de la surface

de la Terre aux couches supérieures de l'atmosphère, où elles finissent par influencer la formation des nuages. La tâche que Benjamin Brem assume désormais est donc lourde de responsabilités: depuis plus de vingt ans, la série de mesures du PSI sur les aérosols s'inscrit dans un réseau mondial qui compte trente autres stations de mesure. «Cela nous permet d'obtenir de larges aperçus, tout à fait uniques, sur les processus qui se jouent dans l'atmosphère et de fournir de meilleures bases à la recherche sur le climat», souligne Martin Gysel.

Cependant, les chercheurs doivent de moins en moins souvent effectuer de longs séjours à la station de recherche et subir le manque d'oxygène. L'automatisation permet en effet de contrôler en grande partie les instruments depuis le PSI à Villigen, et l'un des surveillants d'exploitation de la station de recherche répare les petites pannes. Les chercheurs du PSI se rendent sur place uniquement pour des travaux complexes ou pour reconfigurer les instruments, lorsqu'il faut répondre à une question spécifique.

Peu après 21 heures, Benjamin Brem et Günther Wehrle ont terminé leur première journée au Jungfrauoch et redescendent aux logements. Ils y retrouvent Martin Gysel, qui est en train de taper le rapport de maintenance sur son ordinateur portable.

Benjamin Brem a mieux géré le manque d'oxygène que d'autres avant lui. «Sauf que j'ai cherché ça toute la journée», avoue-t-il en riant et en tapotant le stylo à bille dans la poche de sa chemise à carreaux. ♦



Rasmus Ischebeck

La précision gouverne le quotidien professionnel de Rasmus Ischebeck. Ce physicien fabrique des instruments de mesure pour le SwissFEL du PSI, l'un des cinq lasers à rayons X à électrons libres du monde. Ces instruments lui permettent surtout de contrôler la densité des paquets d'électrons qui sont accélérés dans l'installation. Leur densité détermine en effet si la lumière de type rayons X émise par les électrons présente toutes les qualités requises et que le bon déroulement des expériences est donc garanti. Dans le SwissFEL, les électrons atteignent une vitesse proche de celle de la lumière. Pas étonnant qu'à cette cadence la plus haute précision soit de mise!



Une main à nulle autre pareille

Une sculpture en bronze de 3500 ans est analysée à la source de neutrons SING du PSI. Ce procédé offre aux restaurateurs un aperçu unique de l'intérieur de cet objet archéologique exceptionnel, ce qui est l'occasion d'en apprendre davantage sur sa réalisation.

Texte: Joel Bedetti

Elle a débarqué un lundi d'octobre au PSI, protégée par des coussins de polystyrène, emballée dans une caisse qui l'isole de l'air ainsi que des variations thermiques et transportée dans un coffre de voiture bien rembourré. Elle, c'est la sculpture d'une main en bronze plaqué or de 3500 ans d'âge, selon les estimations. Deux archéologues amateurs l'ont découverte à l'automne 2017, lors de fouilles dans le Jura bernois.

Sabine Brechbühl et Carole Schneider, du Service archéologique du Canton de Berne, apportent cet objet historique à l'Institut Paul Scherrer. David Mannes, scientifique au PSI, les accueille à l'entrée de la source de neutrons SINQ du PSI. Trois caisses sont ensuite prudemment transportées dans le couloir étroit qui mène à NEUTRA, une station de mesure de la SINQ: hormis la main et ses doigts cassés, elles contiennent une fibule et un poignard, trouvés sur le même site et qui attendent aussi d'être radiographiés.

Après des études en sciences forestières, David Mannes s'est retrouvé, au PSI, dans le domaine de la radiographie aux neutrons par le biais de sa thèse de doctorat. A NEUTRA, il étudie en principe des matériaux et des procédés issus de l'industrie et de la recherche fondamentale: des accumulateurs, des piles à combustible ou encore des procédés de congélation. Mais, voici quelques années, les archéologues ont eux aussi découvert la radiographie neutronique. Or, dans le monde, il n'existe qu'une douzaine d'installations où l'utilisation de cette méthode est possible. Hormis la SINQ, on en dénombre seulement quatre en Europe.

Pour des neutrons, les métaux sont pratiquement transparents. «Les atomes d'hydrogène, en revanche, apparaissent de manière particulièrement nette à l'imagerie neutronique, explique David Mannes. Cela permet d'identifier très clairement les zones qui contiennent de l'hydrogène, comme les matériaux organiques ou la corrosion des métaux.» Il y a quelques mois, le chercheur a radiographié aux neutrons une statue de Bouddha datant du ^{xv}e siècle. L'image générée a mis en évidence que l'intérieur de la statue abritait des morceaux de bois et des fleurs séchées, dissimulés aux regards.

Il se pourrait que l'examen de la main en bronze révèle également quelques éléments inattendus. Une reproduction aussi ancienne d'une partie du corps humain reste en effet un mystère pour les archéologues, même un an et demi après sa découverte. «Elle n'est pas en phase avec son époque, explique Sabine Brechbühl. C'est ce qui rend cette découverte si sensationnelle!» La radiographie classique, au Service archéologique de Berne, a permis de ne générer qu'une image trouble. «En radiographiant aux neutrons la structure de la main, nous espérons découvrir comment elle a été fabriquée», poursuit Sabine Brechbühl. Elle se réjouit notamment d'en apprendre davantage sur la colle qu'elle a remarquée au niveau du placage d'or de la main, en la notant: «Il doit s'agir d'une résine naturelle», avance-t-elle.

La demi-vie est décisive

Mais si les conservatrices ont de la malchance, l'analyse sera terminée avant même d'avoir commencé. Car David Mannes va d'abord réaliser une radiographie de test de dix secondes avec le faisceau de neutrons. Il sera alors possible d'établir si les neutrons rendent radioactifs certains atomes de l'objet. «Si elle contient beaucoup d'argent, cela pourrait devenir délicat, explique le chercheur. Avec du cobalt, ce serait encore plus compliqué.» Si l'on réalisait, comme prévu, une tomographie complète à 375 images, il faudrait ensuite conserver la main dans le coffre-fort de la SINQ jusqu'à ce que le rayonnement radioactif diminue. Un buste romain, découvert sur le site archéologique d'Avenches, a dû rester entreposé plusieurs mois à la SINQ pour cette raison, précisément. Evidemment, Sabine Brechbühl préférerait ne pas avoir à renoncer si longtemps à la main en bronze.

Sabine Brechbühl enfle des gants de laboratoire et emballe précautionneusement la sculpture dans du papier d'aluminium afin de la protéger contre les particules de mousse florale qui rembourre le récipient cylindrique dans lequel la main va être entreposée. Elle décline l'offre de Jan Hovind, technicien au PSI, qui vient de les rejoindre et qui lui propose de porter le cylindre jusqu'à la station de mesure. En tant que directrice de l'unité Objets métalliques du Service archéologique du Canton de Berne, Sabine Brechbühl est responsable de l'objet. Comme elle l'explique, les objets antiques présentent souvent des zones fragiles: «Les cassures à ces endroits peuvent se produire facilement», dit-elle. C'est aussi une affaire de perspective: pour Sabine Brechbühl, cette main est une découverte irremplaçable, alors que pour Jan Hovind et David Mannes, elle n'est que le numéro de projet 20182293. «Nous parlons des langues différentes», admet David Mannes. Mais, avec le temps, chaque partie apprend à comprendre la langue de l'autre. Certaines années, David Mannes analyse plus de dix objets historiques; il a donc acquis entre-temps certaines connaissances sur les matériaux historiques. Inversement, de nombreux conservateurs sont aujourd'hui familiers de la méthode de radiographie neutronique.»

«En radiographiant la main aux neutrons, nous espérons découvrir comment elle a été fabriquée.»

Sabine Brechbühl, responsable de l'unité Objets métalliques au Service archéologique du Canton de Berne

Du papier d'aluminium en guise de protection: Sabine Brechbühl (à gauche) et Carole Schneider préparent la main en bronze pour la radiographie neutronique.



En une seule coulée?

A la station de mesure NEUTRA, l'équipe du PSI prend maintenant le relais. David Mannes est à son ordinateur, hors de la zone d'expérimentation protégée par d'épaisses parois de béton, et règle par commande à distance le focus de la caméra. L'image fixe qui apparaît à l'écran rappelle une radiographie. Puis il sourit et lâche: «Prêt.»

Sabine Brechbühl apporte prudemment le cylindre dans la station d'expérimentation. Une fois qu'elle s'est de nouveau retirée d'entre les parois de béton, David Mannes verrouille la porte qui mène à la zone. La première image radioscopique de la main en bronze apparaît peu après à l'écran: un contour avec des nuances; certains endroits sont plus clairs, d'autres plus foncés. «Ces zones sombres pourraient signaler de la corrosion», explique David Mannes. Mais ce qui importe dans un premier temps, c'est ce que dit la radioprotection.

David Mannes, Carole Schneider et Sabine Brechbühl traversent la halle de la SINQ en portant le cylindre et en formant une procession jusqu'à la salle de radioprotection, où Marco Müller les attend en blouse de laboratoire. «Cela peut prendre quelques minutes», avertit Marco Müller, une fois que Sabine Brechbühl a déposé le cylindre dans la salle d'expérimentation bétonnée. Mais, au bout de quelques secondes, des lignes bleues scintillent déjà sur son écran:

ce sont les métaux dont l'instrument de mesure a découvert le rayonnement. «Du gallium», identifie Marco Müller. Sur le tableau périodique accroché au mur derrière lui, il lit la demi-vie de cet élément: toutes les neuf heures, l'intensité du rayonnement diminue de moitié. C'est donc une valeur relativement faible et non problématique. Le manganèse et le cuivre ne posent pas de problème, ni le mince revêtement en or. Marco Müller acquiesce: «Vous devriez pouvoir récupérer la main dans trois semaines.»

Après qu'ils ont pris une brève pause-sandwich, la main retourne dans la salle d'expérimentation, puis le jour suivant ce sera le tour des doigts et de la fibule. Désormais, Sabine Brechbühl se sent en confiance: David Mannes est autorisé à transporter lui-même le cylindre.

Le résultat final de la tomographie neutronique réserve une surprise: «Il semblerait que la main ait été réalisée en une seule coulée, raconte Sabine Brechbühl au téléphone quelques jours plus tard. Pour cette époque, ce serait extraordinaire!»

Toutefois demeure une petite déception: les images neutroniques n'ont mis en évidence aucune trace de colle. «Soit elle n'a été utilisée que sur les bords, soit le matériau organique s'est déjà dégradé, avance Sabine Brechbühl. Nous ne le savons pas.» Du haut de ses 3500 ans, l'antique main en bronze garde encore certains de ses secrets. ◆

Actualité de la recherche au PSI

1 Des protéines dans le faisceau du SwissFEL

Pour la première fois, des mesures résolues en temps de protéines photosensibles ont été conduites avec succès au laser à rayons X à électrons libres SwissFEL, la nouvelle grande installation de recherche du PSI. Ces protéines jouent un rôle décisif, entre autres au niveau de la rétine. Les lasers à rayons X comme le SwissFEL produisent des impulsions ultracourtes de lumière de type rayons X d'une durée de quelques milliardièmes de seconde. Cela permet de mesurer des modifications extrêmement rapides de la structure des protéines. Cette expérience réussie prouve que le SwissFEL est désormais pleinement opérationnel pour les chercheurs du monde entier. Mais les scientifiques du PSI poursuivent à présent le développement de leurs méthodes, de sorte qu'il soit aussi possible de mesurer des modifications structurelles de protéines qui ne sont pas naturellement photosensibles.

2 Avec une lentille en mouvement

Les rayons X livrent des aperçus uniques de l'intérieur des matériaux, des tissus et des cellules. Des chercheurs de l'Institut Paul Scherrer PSI ont développé une nouvelle méthode pour améliorer encore ces radiographies: la résolution, plus élevée, permet de tirer des conclusions plus précises sur certaines propriétés des matériaux. Pour ce faire, les chercheurs ont déplacé une lentille optique et pris en même temps d'innombrables images individuelles, à partir desquelles ils ont calculé l'image proprement dite à l'aide d'algorithmes informatiques. Ils ont ainsi appliqué pour la première fois une technique appelée «ptychographie de Fourier» à des mesures réalisées avec de la lumière de type rayons X.

Informations complémentaires:
<http://psi.ch/y8Wd>

1600 barres de plastique spéciales ont capté le rayonnement des sursauts gamma dans le détecteur POLAR. L'appareil de mesure était à bord de la station spatiale chinoise Tiangong 2.

Parmi les données se trouvaient **5** sursauts gamma, enregistrés de manière optimale. Ce sont ceux que les chercheurs ont analysés en détail.

Ils ont comparé chaque ensemble de données avec **6060** courbes de simulation différentes afin de déterminer le degré et l'angle de polarisation de chaque sursaut gamma.

3 Moins de gaz à effet de serre avec la propulsion électrique

Les voitures propulsées par un accumulateur sont celles qui présentent le potentiel le plus important de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Tel est le résultat d'une étude conduite par les chercheurs du Laboratoire d'analyse des systèmes énergétiques au PSI en collaboration avec des collègues néerlandais. Ils ont analysé l'empreinte écologique de différents types de véhicules sur l'ensemble de leur cycle de vie: de la production au démantèlement, en passant par l'utilisation. Pour estimer les futures évolutions, les chercheurs n'ont pas comparé seulement les voitures de conception actuelle (état en 2017), mais aussi celles qui seront probablement produites en 2040. Les voitures propulsées par un accumulateur font surtout mieux que tous les autres types de véhicules, si le courant est produit de manière écologique.

4 Mesure de sursauts gamma

En septembre 2016, un détecteur développé au PSI et baptisé POLAR a été embarqué à bord de la station spatiale chinoise Tiangong 2 pour tourner en orbite autour de la Terre. De là-haut, POLAR a enregistré ce qu'on appelle des sursauts gamma (voir image en arrière-plan). Les sursauts gamma sont des éruptions extrêmement violentes de lumière de haute énergie qui apparaissent au fin fond de l'univers. Ces violents éclairs lumineux sont probablement émis au moment de la formation de trous noirs. Afin de mieux comprendre les sursauts gamma, POLAR a mesuré une propriété bien particulière de leur lumière, appelée «polarisation». Les données analysées entre-temps montrent que les sursauts gamma ont un degré de polarisation bas et que leur angle de polarisation peut changer. Par conséquent, les théories sur les sursauts gamma qui postulent un degré de polarisation haut et stable sont maintenant considérées comme moins probables. POLAR a été réalisé avec des chercheurs de l'Université de Genève ainsi que des scientifiques en Chine et en Pologne.

Informations complémentaires:
<http://psi.ch/sFWF>



Une recherche pleine de flamme

Cette image qui évoque l'apocalypse est en réalité le gros plan d'un feu dans un four à charbon chinois original. Des chercheurs du PSI l'ont fait venir d'Extrême-Orient, tout comme six variétés de charbon. Ils s'en servent pour étudier les conséquences pour l'atmosphère de la combustion de la houille dans de tels fours, et ce dans des conditions aussi proches que possible de la réalité.

De feu et de glace

GALERIE

Pour évaluer l'impact de la production et de la consommation d'énergie, les chercheurs du PSI recourent aux outils les plus divers: un four incandescent, une chambre à smog mobile ou encore une tête de forage pour la glace. Ils se concentrent sur les processus qui se jouent dans l'atmosphère. Leurs résultats contribuent à la protection de l'environnement.

Texte: Sebastian Jutzi



Environnement mobile

Cette bande de filtre fournit des renseignements sur l'environnement. Et plus précisément sur l'atmosphère. Les points sombres qu'on aperçoit sur le papier blanc sont des dépôts issus de l'air et qui ont été aspirés par les pores du filtre. L'appareil correspondant est l'un des nombreux équipements susceptibles d'être installés dans la chambre à smog mobile du PSI.



Chambre à nuages

L'installation expérimentale CLOUD se trouve au CERN, mais elle est aussi utilisée par les chercheurs du PSI. Cette construction d'environ trois mètres de haut, qui pèse plusieurs tonnes, leur permet d'étudier la formation des nuages ainsi que les processus voisins qui se jouent dans l'atmosphère. Quant aux points lumineux qui ressemblent à des étoiles, ils dégagent de la lumière ultraviolette (UV) pour garantir des conditions de test réelles.



Air vicié

Des sondes permettent de conduire certains gaz vers l'intérieur de la chambre à smog du PSI et de recueillir des données de mesure. La chambre est hermétiquement close par de minces feuilles de plastique. L'intérieur est éclairé d'en bas par de la lumière UV pour simuler les conditions réelles qui règnent par exemple en Inde ou en Chine. Les connaissances obtenues permettent d'améliorer la situation environnementale.



Froide élégance

Voici le tube carottier complet d'une tête de forage : c'est l'outil que les chercheurs du PSI utilisent pour extraire des carottes de glace des glaciers. Réalisé en aluminium et alimenté par moteur électrique, le tube carottier découpe une couronne dans la glace à l'aide de deux dents en métal. Le cylindre de glace, retiré de l'intérieur du tube, contient de précieuses informations sur l'atmosphère des siècles passés.

Dans la fabrique de cristaux de protéines

Depuis Lausanne, Florence Pojer contrôle des mesures qui se déroulent au PSI, à Villigen. En fabriquant et en analysant des protéines cristallisées, elle épaulé les chercheurs dans le développement de nouveaux médicaments.

Texte: Joel Bedetti

Depuis l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Florence Pojer contrôle par ordinateur ce qui se passe à 200 kilomètres de là: à la ligne de faisceau 3 de la Source de Lumière Suisse SLS de l'Institut Paul Scherrer PSI, à Villigen, où un bras de robot dépose avec précision un minuscule échantillon de cristaux de protéines entre le détecteur et le faisceau de rayons X. La chercheuse effectue un zoom avant sur l'image qui s'affiche à l'écran, et le cristal apparaît en gros plan granuleux. Elle détermine la mise au point à l'aide d'une croix jaune. D'un clic de souris, la mesure démarre: le faisceau de rayons X de la SLS rencontre le cristal, qui va diffracter selon son réseau cristallin. Le cristal effectue alors automatiquement une succession de rotations de 0,2 degré chacune, de sorte qu'un diagramme de diffraction est généré.

Florence Pojer est responsable de la Plateforme technologique de la production et de la structure des protéines, une unité de huit personnes à la Faculté des sciences de la vie de l'EPFL. Les protéines représentent son pain quotidien. Ces composants fondamentaux de l'organisme sont divers et extrêmement complexes. En avoir une connaissance précise permet d'étudier des maladies et de développer de nouveaux principes actifs. La chercheuse utilise les rayons X de la SLS pour analyser les structures des protéines. Pour ce faire, il faut amener ces dernières à s'assembler en cris-

taux réguliers. Cela nécessite du doigté, des connaissances spécialisées et beaucoup de patience. La production et l'analyse de protéines sont un service que l'équipe de Florence Pojer offre aux chercheurs de l'EPFL et de l'Université de Lausanne, située non loin de là.

Certes, il existe d'autres méthodes d'analyse, comme la microscopie électronique, par exemple, mais la diffraction des rayons X sur les cristaux de protéines reste la plus utilisée. Toutefois, les cristaux de protéines sont instables et ne se forment que dans certaines conditions. «Souvent, cela ne fonctionne qu'au centième essai, explique Florence Pojer. Mais, depuis le temps, nous connaissons certaines astuces qui permettent de les stabiliser.» Lors d'une deuxième étape, les cristaux de protéines sont scannés au laser à rayons X de la SLS à Villigen. «Là aussi, il faut plusieurs essais avant d'obtenir une bonne résolution», relève la spécialiste.

Aujourd'hui, elle scrute son écran avec déception. «Neuf ångströms. Encore pire que le cristal d'avant.» Un ångström équivaut à 100 milliardièmes de millimètre, soit à peu près la taille d'un atome. L'ångström est l'unité utilisée pour mesurer la résolution d'un diagramme de diffraction. Un ångström serait un résultat top; 10 ångströms, en revanche, c'est inutilisable. L'échantillon actuel est déjà le quatrième d'une série de plus de douze cristaux.





Florence Pojer prépare les cristaux de protéines pour leur transport au PSI. Elle sélectionne les cristaux un à un au stéréomicroscope et les congèle dans de l'azote liquide.

«La SLS remplit toutes les exigences et elle est gérée de manière extrêmement professionnelle. Pour mes expériences à distance, le contact personnel avec Villigen est utile aussi.»

Florence Pojer, responsable de la Plateforme technologique de la production et structure des protéines à l'EPFL



La protéine en question est candidate pour un traitement du cancer par immunothérapie.

A son ordinateur, Florence Pojer clique sur «Sample Change». Le bras de robot repose le cristal dans l'un des trois conteneurs disponibles et prélève l'échantillon suivant. Elle soupire: «Toute la série est probablement inutilisable.» Le diagramme de diffraction de la protéine suivante – un anticorps – présente lui aussi une résolution insuffisante. D'autres protéines attendent leur tour dans le conteneur à la SLS, mais Florence Pojer décide de changer de série pour l'instant. Elle n'a en effet qu'une date par mois réservée pour ses mesures à la SLS. Vient maintenant le tour d'un projet analogue dû à un professeur de l'Université de Lausanne. Son groupe de recherche a développé une protéine artificielle, censée s'arrimer aux cellules cancéreuses et les détruire.

Reprendre la pharmacie ne lui faisait pas envie

Peu avant midi, Florence Pojer s'accorde une courte pause dans le foyer vide du bâtiment des Sciences de la vie. «Il n'y a presque personne à cause des examens, explique-t-elle en souriant. Et à cause de la neige. Ils sont déjà tous partis skier.» Ce week-end, elle aussi partira avec ses quatre enfants dans son chalet en Valais pour skier. Elle vit avec eux près de l'EPFL. Cette Française de 45 ans a grandi non loin de son domicile actuel: dans le Jura français, près de la frontière suisse. Son père est mort lorsqu'elle était enfant. Sa mère, pharmacienne, gérait une pharmacie. Florence Pojer a également fait des études de pharmacie, mais n'a pas tardé à avouer à sa mère qu'elle ne souhaitait pas lui succéder.

Ses études de pharmacie ont été suivies d'un master en biologie marine à La Rochelle, en France, et d'un doctorat à Tübingen, en Allemagne. En plus du français, Florence Pojer parle couramment l'anglais et l'allemand. Elle a consacré son travail de master à l'effet de certains extraits d'algues sur l'herpès et sa thèse de doctorat aux voies de biosynthèse de nouveaux antibiotiques. Plus tard, en tant que postdoc au Salk Institute for Biological Studies à San Diego, elle a appris à maîtriser les techniques d'analyse des structures cristallines de protéines et approfondi ses connaissances sur certaines protéines végétales. Lorsque son ex-mari a été nommé professeur à l'Université de Lausanne en 2007, toute la famille a déménagé en Suisse. Florence Pojer a décroché un poste à l'EPFL, auprès du professeur Stewart Cole, qui venait d'être nommé, pour contribuer au développement de médicaments antituberculeux.

Les cristaux sont expédiés par courrier et les problèmes résolus par smartphone

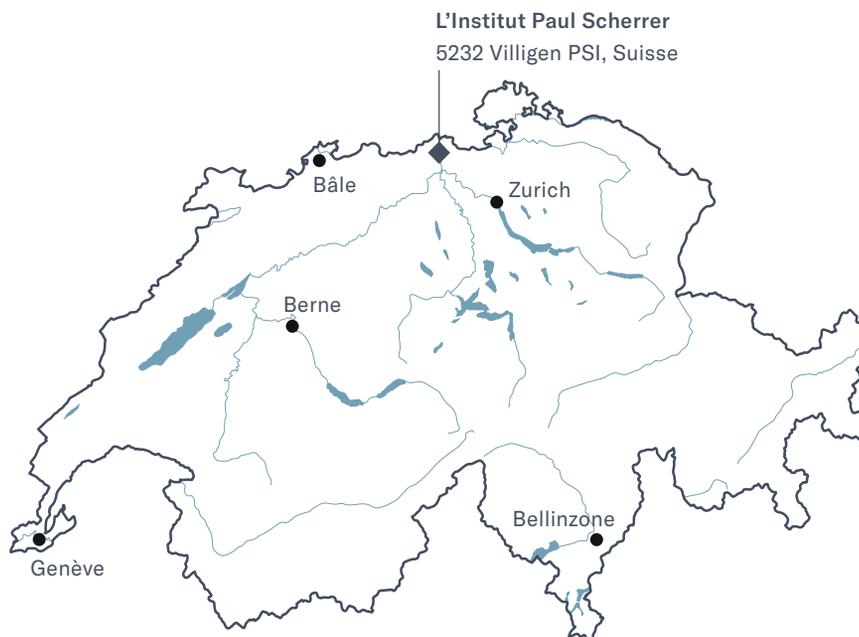
Entre-temps, elle avait acquis une telle expérience dans la fabrication et l'analyse de protéines cristallines que ses collègues sollicitaient sans cesse son aide. L'EPFL a donc fini par lui confier la direction de son propre groupe de scientifiques, dont le rôle est d'épauler les autres chercheurs par leur expertise. «Cette plateforme est unique en son genre, souligne Florence Pojer. Grâce à cette coopération, les chercheurs comprennent mieux aujourd'hui à quel point produire et étudier des cristaux de protéines est un travail complexe.»

Au départ, Florence Pojer étudiait les cristaux à des sources de rayonnement synchrotron situées dans toute l'Europe. Mais, depuis 2011, elle se cantonne à la SLS. «Elle remplit toutes les exigences et elle est gérée de manière extrêmement professionnelle», explique-t-elle. Depuis 2015, la chercheuse peut contrôler les expériences à la SLS depuis Lausanne. Elle envoie les cristaux par courrier, et les scientifiques du PSI les préparent pour le robot. Cela n'empêche pas Florence Pojer de se rendre au PSI plusieurs fois par an à quelques mois d'intervalle. «Echanger sur place avec les collègues sur les derniers développements à la SLS, c'est important», note-t-elle. Les contacts personnels sont également utiles pour les expériences à distance. Par exemple, si quelque chose ne fonctionne pas, le problème peut être rapidement réglé par le biais d'un message sur smartphone.

Florence Pojer termine sa pause et retourne dans son bureau pour poursuivre les expériences à la SLS. Au cours des cinq prochaines heures, elle devra mesurer encore plusieurs dizaines de cristaux. A peine s'est-elle assise qu'un chercheur du groupe ayant développé le nouvel anticorps pour le traitement du cancer vient la voir. Il veut savoir s'il est possible d'atteindre une résolution suffisante avec son cristal. «Oui, confirme la spécialiste. Votre meilleur résultat était de 2,8 ångströms.» Comme souvent dans la recherche, seul l'avenir dira si cette expérience débouchera sur un médicament. Mais une certitude demeure: le travail de Florence Pojer apporte une contribution importante au développement de nouveaux traitements. ♦

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





4

grandes installations de recherche
uniques en Suisse

800

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

5000

visites annuelles de scientifiques
venus du monde entier pour
mener 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 352643 mètres carrés, qui possède son propre pont sur l'Aar et qui compte 2000 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 la moitié et les deux tiers 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 quatre 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. 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 trois 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 trois domaines. Dans celui de la matière et des matériaux, nous étudions la structure interne de différentes substances. Les résultats aident à mieux comprendre les processus qui se jouent dans la nature et fournissent les bases de nouveaux matériaux destinés à des applications techniques et médicales.

Dans le domaine de l'énergie et de l'environnement, l'objectif des travaux menés est de développer de nouvelles technologies pour un approvisionnement énergétique durable, sûr et respectueux de l'environnement.

Dans le domaine de la santé humaine, les chercheurs s'efforcent d'identifier les causes de certaines maladies et les méthodes thérapeutiques possibles. Dans le cadre de la recherche fondamentale, ils étudient les processus généraux qui se jouent au sein des organismes vivants. Par ailleurs, nous exploitons la seule installation de Suisse permettant de traiter certaines 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.

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 post-docs.

IMPRESSUM

5232 – Le magazine de l'Institut Paul Scherrer
Paraît trois fois par an.
Numéro 2 / 2019 (mai 2019)
ISSN 2571-6891

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

Rédaction
Dagmar Baroke, Monika Blétry,
Christina Bonanati, Christian Heid,
Dr Laura Hennemann,
Sebastian Jutzi (resp.)

Traduction
Catherine Riva

Correction
Étienne Diemert

Design et direction artistique
Studio HübnerBraun

Photos
Scanderbeg Sauer Photography
sauf: Cover et pages 2, 20, 25, 38:
Institut Paul Scherrer / Markus Fischer;
Pages 8-9: Institut Paul Scherrer / Julia Schmale; Page 10: Institut Paul Scherrer / Michael Sigl; Page 12: Institut Paul Scherrer / Mahir Dzambegovic; Page 13: François Bernard; Page 14: shutterstock; Pages 22-23: Service archéologique du Canton de Berne / Philippe Joner; Pages 26-27: ESO / L. Calçada; Page 31: CERN; Page 32, petite image: Institut Paul Scherrer; Pages 35-37: Amélie Blanc.

Infographies
Studio HübnerBraun sauf:
Pages 2, 10-11, 12-13, 14-15, 19: Christoph Frei; Pages 6-7: Daniela Leitner; Pages 16-17: Bror Rudi Creative / Christoph Frei.

Pour en savoir plus sur le PSI
www.psi.ch/fr/

Pour lire 5232 sur Internet
www.psi.ch/5232/le-magazine-5232

Pour vous abonner gratuitement au magazine
www.psi.ch/5232/abonner-5232

5232 est également disponible en allemand
www.psi.ch/5232/magazin-5232

PAUL SCHERRER INSTITUT




Ce qui vous attend au prochain numéro

A l'Institut Paul Scherrer PSI, des scientifiques étudient et développent de nouvelles méthodes pour soigner les patients. La protonthérapie de certaines tumeurs permet de détruire de manière ciblée les tissus cancéreux, tout en ménageant les tissus sains, même dans des organes sensibles comme l'œil ou le cerveau. Depuis plus de trente ans, des patientes et des patients profitent du traitement par faisceaux de protons. La production de radio-nucléides spécifiques pour les cliniques situées non loin du PSI représente un autre point fort de la recherche clinique au PSI. Elle permet de traiter les personnes de manière individualisée. Dans ce processus, le facteur temps est très important, car, pour obtenir le meilleur succès thérapeutique, il faut que les principes actifs parviennent rapidement jusqu'aux patients et aux médecins traitants. Nous vous présenterons donc les chercheurs du PSI et les installations qui sont directement au service de la santé.



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