

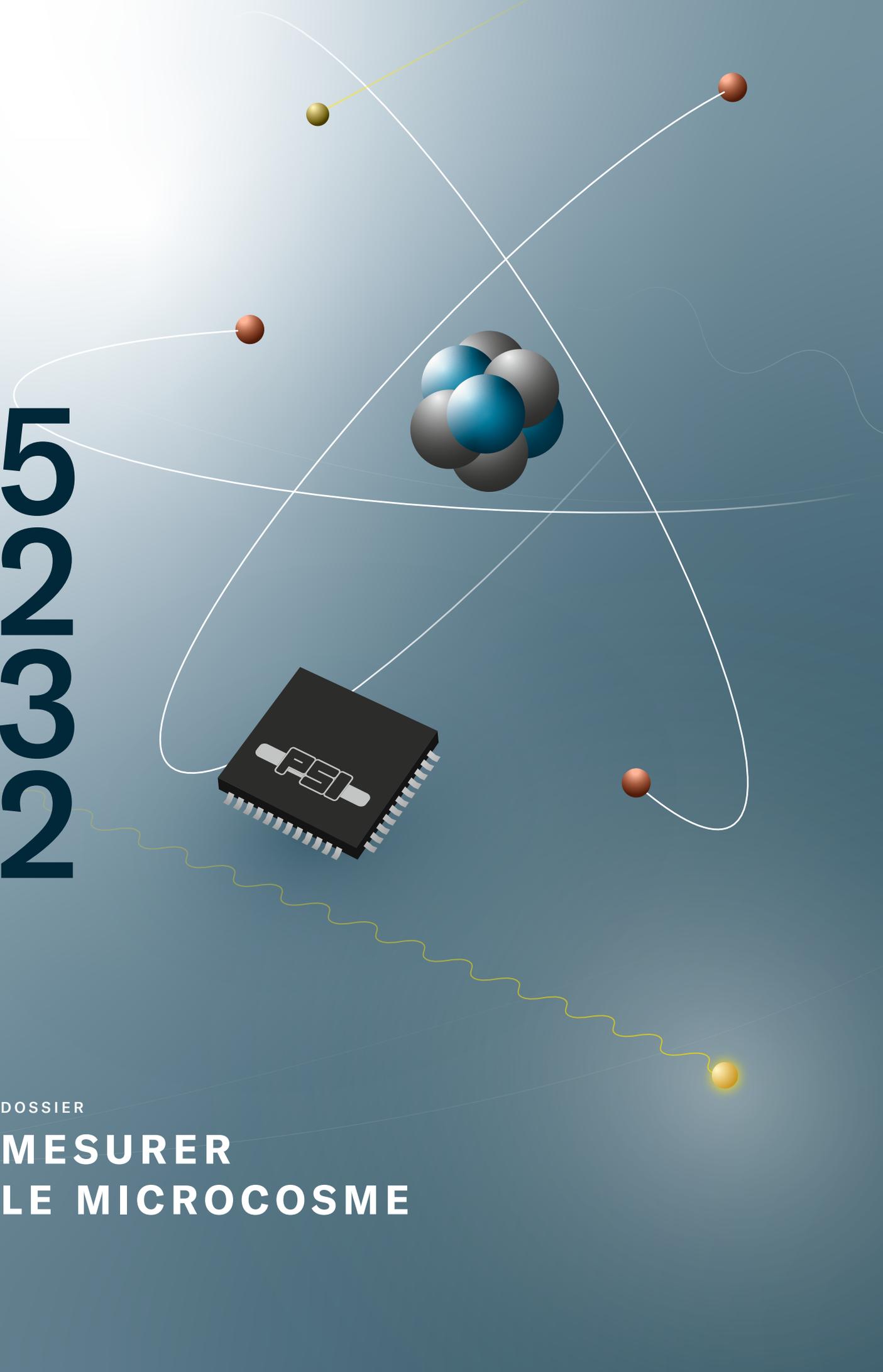
Le magazine de l'Institut Paul Scherrer

01 / 2023

2023

DOSSIER

MESURER LE MICROCOSME



DOSSIER: MESURER LE MICROCOSME



TOILE DE FOND

Plus de lumière dans l'obscurité

Des chercheuses et des chercheurs s'efforcent de repérer des lacunes dans la théorie du modèle standard de la physique des particules. Pour mener leurs expériences étonnantes, ils utilisent l'infrastructure de recherche du PSI, qui est unique.

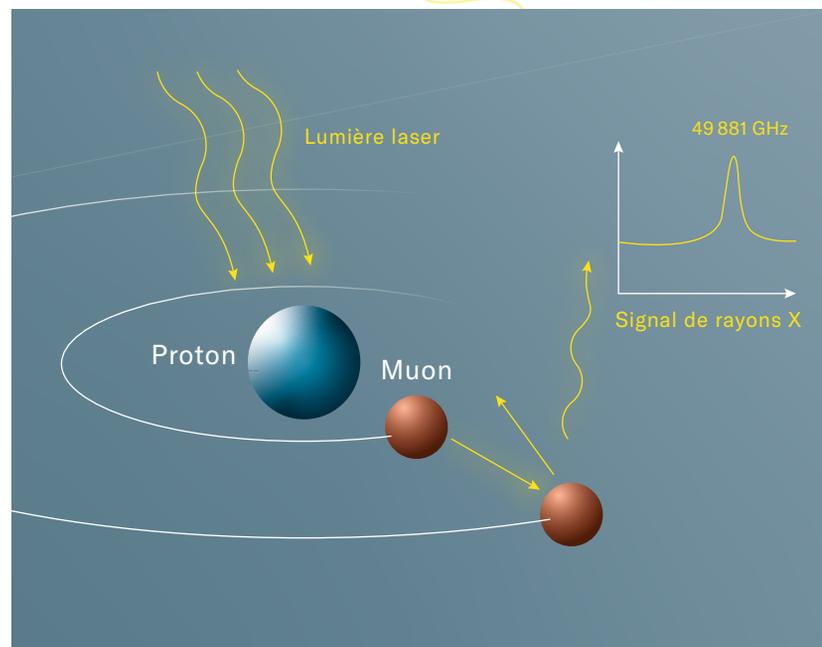
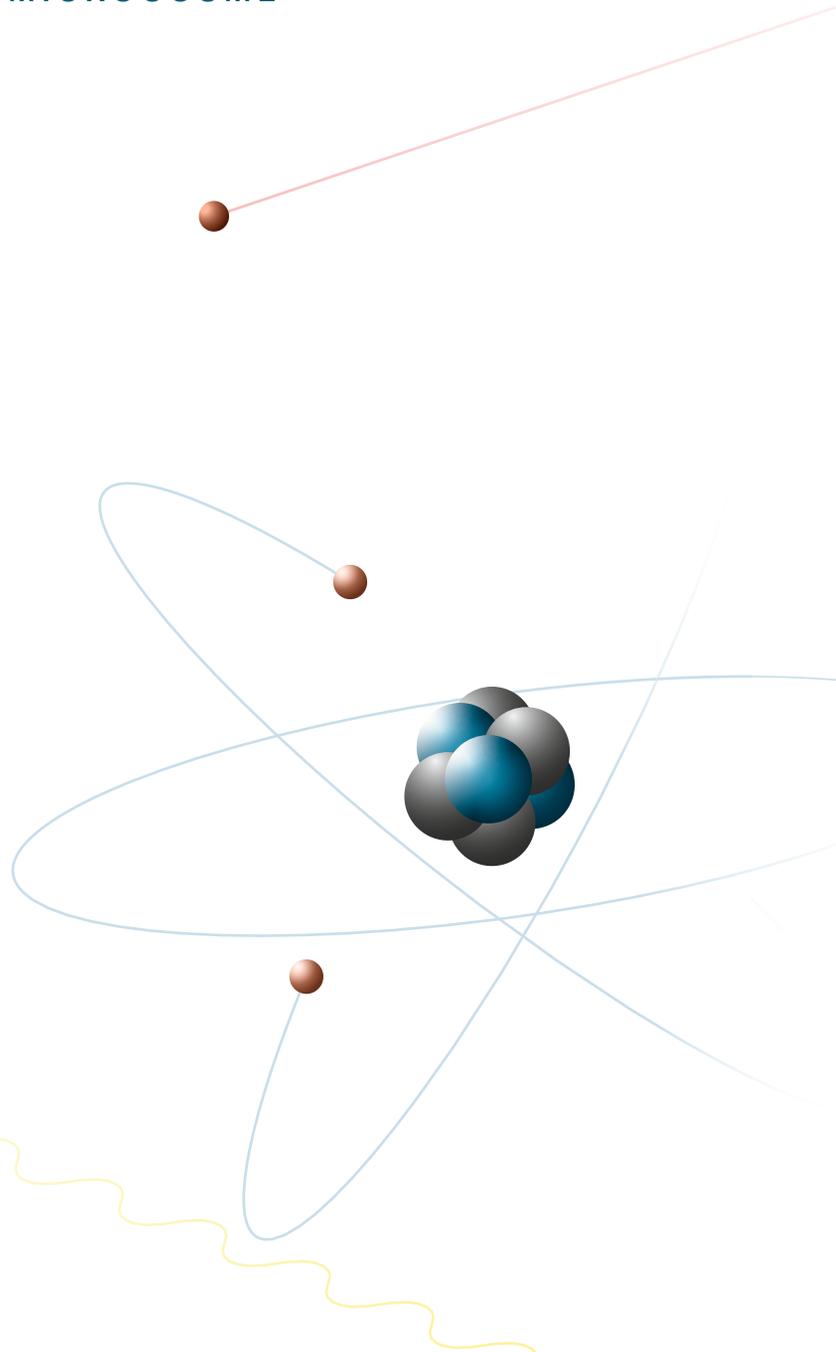
Page 10

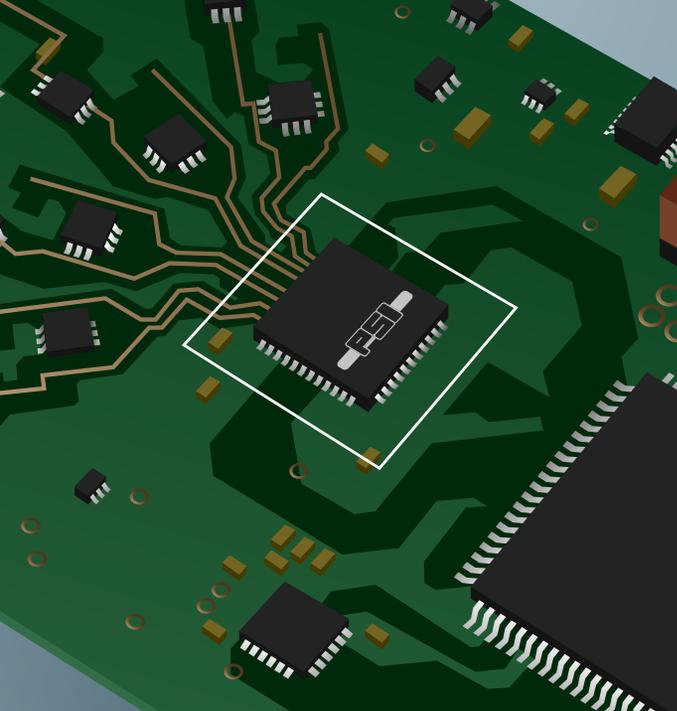
INFOGRAPHIE

Le modèle standard de la physique des particules

Les particules élémentaires sont les plus petits composants de la nature. Le modèle standard décrit leurs propriétés et leurs interactions. Mais parmi celles-ci, certaines énigmes attendent toujours d'être résolues.

Page 16



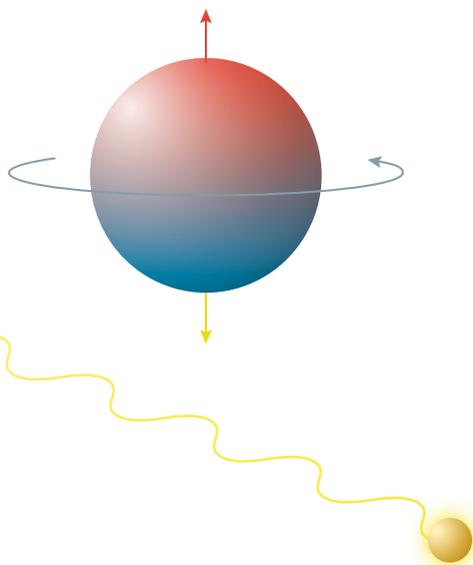


REPORTAGE

Développer soi-même ce qui est introuvable dans le commerce

Pour de nombreuses expériences aux limites du savoir, il n'existe encore aucune solution technique. Alors, les chercheurs du PSI les développent eux-mêmes, tout simplement. Et contribuent ainsi à améliorer bien d'autres applications scientifiques et industrielles.

Page 18



CONTENU

EDITORIAL	4
QUOTIDIEN	
On essuie et ça disparaît	6
RECHERCHE	
Se fixer et rester coincé	7
DOSSIER: MESURER LE MICROCOSME	8
TOILE DE FOND	
Plus de lumière dans l'obscurité	10
INFOGRAPHIE	
Le modèle standard de la physique des particules	16
REPORTAGE	
Développer soi-même ce qui est introuvable dans le commerce	18
EN IMAGE	
Focaliser des neutrons	21
EN SUISSE	
Du méthane pour stocker l'énergie	22
Comment faire pour stocker l'énergie lors des périodes où les installations éoliennes et photovoltaïques ne fournissent pas de courant? Des chercheurs du PSI et de la start-up AlphaSYNT avancent une réponse.	
EN BREF	
Actualité de la recherche au PSI	26
1 Un curieux fossile qui n'est pas notre ancêtre	
2 Diagnostiquer les tumeurs, tout en ménageant les reins	
3 Nanomatériaux du Moyen Age	
4 Des électroniciens du PSI récompensés	
GALERIE	
D'autres perspectives	28
Par analogie avec la recherche dans nos grandes installations de recherche, nous jouons dans cette galerie sur l'opposition entre le grand et le petit.	
PORTRAIT	
Une cuisine généreuse mais raffinée	34
Son apprentissage au restaurant du personnel du PSI a fourni à Michaela Frank les bases pour devenir l'une des plus jeunes cheffes de Suisse.	
QUI SOMMES-NOUS?	38
IMPRESSUM	40
DANS LE PROCHAIN NUMÉRO	41



Le directeur du PSI, Christian Rüegg

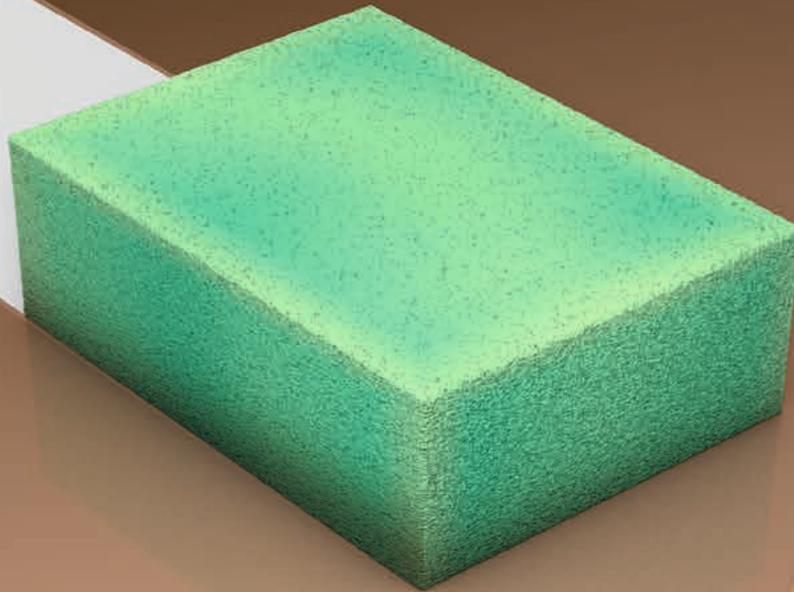
Produire des connaissances fondamentales

Je me trouve à l'une des installations-clés du PSI: le grand cyclotron, qui constitue une partie importante de notre accélérateur de protons. C'est là que les protons – ces petites particules chargées positivement qui sont un composant important du noyau atomique – sont accélérés à quelque 80% de la vitesse de la lumière. Ce faisant, nous produisons le faisceau de protons le plus puissant du monde. A son tour, ce dernier permet d'obtenir d'autres particules: par exemple, des neutrons, des pions et des muons, dont nous nous servons pour mener des analyses et des expériences exceptionnelles.

Pour beaucoup, probablement, le petit monde des particules, qui composent notre monde, paraîtra troublant. Mais il nous ouvre des perspectives et des connaissances uniques, allant de l'atomique et du subatomique à ce que nous connaissons de plus vaste, soit l'univers. Cela peut sembler théorique de prime abord, mais il s'agit d'un aspect décisif pour d'autres développements scientifiques et technologiques. Ainsi, les neutrons et les muons nous permettent de scruter la matière en profondeur. En nous servant de ce qu'on appelle les «neutrons ultra-froids» ou d'hydrogène muonique, par exemple, nous cherchons de nouvelles connaissances fondamentales sur les constituants de notre monde. En physique des particules, les chercheurs du PSI, ayant acquis des savoirs fondamentaux, ont réussi à mesurer le proton (que nous évoquons un peu plus haut) et le noyau de l'hélium avec une précision inégalée. Pour pouvoir mener maintes expériences, nous développons également, au PSI, de l'électronique très performante et des détecteurs de haute précision qui sont demandés dans le monde entier.

Nous n'avons pas encore percé les derniers secrets de la nature et les modèles à l'aide desquels nous nous efforçons de les déchiffrer restent incomplets. A chaque nouvelle connaissance acquise, nous effectuons un pas de plus vers la résolution de ces énigmes et faisons des découvertes qui, souvent, nous surprennent. Les chercheuses et chercheurs et leur curiosité, sur ce terrain inconnu, donnent une impulsion décisive pour surmonter tous les obstacles sur la voie qui mène à de nouvelles connaissances fondamentales.

Outre cet aspect quasi philosophique, les résultats de la recherche fondamentale ont toujours un impact direct sur la pratique. Ainsi, les connaissances issues de la théorie de la relativité ont eu une influence décisive sur le bon fonctionnement des systèmes actuels de navigation comme le GPS. Ce qui a été imaginé et reconnu au début du siècle dernier fait donc désormais partie de notre quotidien. Et c'est ainsi que les chercheuses et chercheurs du PSI travaillent à produire d'autres connaissances fondamentales afin de façonner de manière positive l'avenir du plus grand nombre d'individus.



On essuie et ça disparaît

Que celui à qui cela n'est jamais arrivé lève la main! Une tasse de café ou un verre de jus de baies qui se renverse, et voici la flaque qui s'étale. Si cela se produit sur une surface lisse et pas sur une nappe, c'est déjà bien. L'accident est facilement rattrapable, par exemple au moyen d'une éponge qui absorbe efficacement les liquides grâce à l'effet capillaire. C'est ainsi que l'on désigne le phénomène par lequel les liquides remontent dans de fines cavités. Mais cela ne fonctionne que si la force d'attraction entre la paroi de la cavité et les particules du liquide est plus importante qu'entre les particules du liquide. Plus les cavités seront fines, plus l'effet capillaire sera important et plus l'eau, par exemple, pourra monter haut. L'effet capillaire intervient également dans le cas des torchons, du buvard ou des plantes. Ces dernières l'exploitent, entre autres, pour lutter contre la gravité et acheminer l'eau en hauteur. C'est donc grâce à l'effet capillaire que les fleurs ne se dessèchent pas dans un vase rempli d'eau, que les céréales poussent dans les champs ou que nous pouvons profiter d'imposantes forêts. Les arbres parviennent notamment à transporter l'eau nécessaire à leur survie jusqu'à plus de 100 mètres de hauteur.



Se fixer et rester coincé

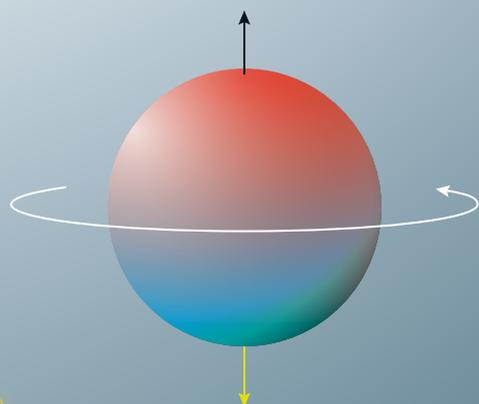
Les chercheurs du PSI exploitent l'effet capillaire pour développer un test rapide du virus Sars-CoV-2 et d'autres agents infectieux. Celui-ci se compose d'une petite plaque rectangulaire de plexiglas conventionnel, sur laquelle se trouvent de petits canaux. Ce qui se révèle décisif pour le test est un étroit passage en forme d'entonnoir, où la hauteur du canal se réduit de 3,4 micromètres à 0,8 micromètre. Pour procéder au test, on prélève une gouttelette de sang chez le sujet. Puis on le mélange à un liquide dans lequel flottent des nanoparticules spéciales. Leur surface présente la même structure que les protéines du virus Sars-CoV-2, auxquelles s'arriment les anticorps humains pour combattre l'agent infectieux. Des particules fluorescentes y sont ajoutées, qui se fixent aux anticorps humains contre le Sars-CoV-2. Si des anticorps sont présents dans le sang, les particules fluorescentes s'arriment d'abord à eux. Puis ils se fixent ensemble aux structures de type viral sur les nanoparticules. A lui seul, l'effet capillaire fait alors passer ce liquide par le canal et les nanoparticules avec les anticorps fluorescents restent coincés là où le canal est trop étroit. On peut équiper chaque fois des nanoparticules de tailles différentes avec l'antigène d'un virus donné. Selon l'endroit où sont détectées les particules fluorescentes, on sait par quel virus le sujet est infecté.



Mesurer le microcosme

DOSSIER

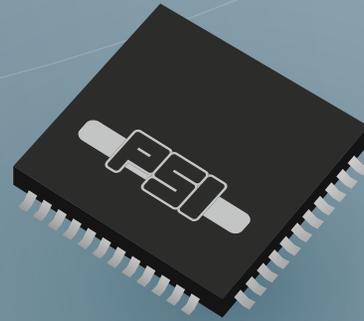
Les chercheurs du PSI s'efforcent de combler les dernières lacunes du modèle standard de la physique. Ils n'excluent pas que leurs nouveaux résultats puissent ébranler le modèle actuel. Pour obtenir ces connaissances fondamentales, ils utilisent les grandes installations de recherche du PSI. Et, assez souvent, de la technologie complètement nouvelle qu'ils construisent eux-mêmes, s'il le faut. Comme des puces à capteur spéciales.



1

TOILE DE FOND
Plus de lumière dans l'obscurité

Page 10



3

REPORTAGE

Développer soi-même ce qui est introuvable dans le commerce

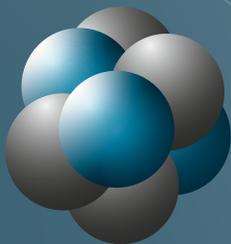
Page 18

2

INFOGRAPHIE

Le modèle standard de la physique des particules

Page 16



Plus de lumière dans l'obscurité

Le modèle standard de la physique des particules décrit notre univers visible avec une précision extraordinaire. Cependant, il ne satisfait pas complètement les chercheuses et les chercheurs, qui s'efforcent de repérer des lacunes dans cette théorie. Pour mener leurs étonnantes expériences, ils utilisent les infrastructures de recherche du PSI, qui sont uniques.

Texte: Bernd Müller

Imaginez une pièce sombre avec une estrade sur laquelle se trouve un objet d'art en or pur et orné de somptueuses pierres précieuses, peut-être le masque mortuaire du pharaon Toutânkhamon. Rien ne doit détourner votre regard de sa parfaite beauté. En physique, il existe aussi ce genre d'objet: le modèle standard de la physique des particules, qui décrit toutes les particules visibles et trois des quatre forces de la nature. Toutes les expériences qui ont été entreprises *sur* ou *avec* des particules élémentaires ont régulièrement confirmé cet édifice théorique. Faut-il en conclure qu'il n'y a aucune raison de jeter un coup d'œil dans les recoins obscurs du modèle standard?

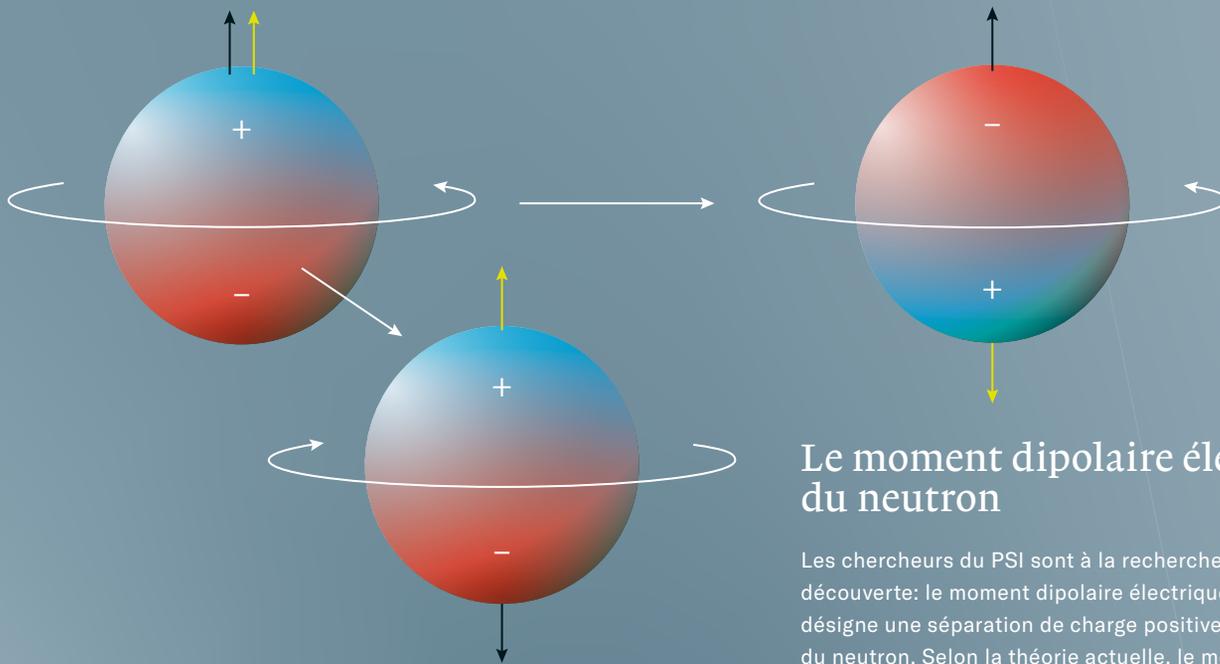
Tel n'est pas l'avis de Klaus Kirch. «Nous sommes très contents du modèle standard, explique le responsable du Laboratoire de physique des particules au PSI et professeur à l'ETH Zurich. Mais il n'est pas la panacée.» Une déclaration typique d'un physicien: aucune théorie n'est suffisamment parfaite pour ne pas être remise en question. Et le modèle standard est bien loin de la perfection. Il laisse quelques questions ouvertes, comme celle de savoir comment réconcilier la gravitation avec les trois autres forces de la nature. Et pourquoi le rien n'existe pas. Car, d'après toutes les théories, la matière et l'antimatière sont apparues dans les mêmes proportions après le Big Bang et se sont détruites l'une l'autre. D'où la question: pourquoi y a-t-il davantage de matière que d'antimatière? Tous ceux qui s'occupent intensément d'astrophysique trouvent intrigant que les étoiles, dans les galaxies, se déplacent comme s'il y avait une grande masse invisible qui les tirait. Pour désigner ce quelque chose – que personne ne connaît exactement –, ils ont choisi le terme de «matière noire». Cette dernière n'a encore jamais pu être observée, mais les chercheuses et chercheurs sont convaincus qu'elle existe.

Ce sont autant d'interrogations auxquelles le modèle standard ne fournit pas de réponse. «C'est pourquoi nous essayons d'amener de la lumière dans l'obscurité, là où les incohérences sont particulièrement importantes», explique Klaus Kirch. De nombreuses expériences servent de «lampes de poche» pour éclairer ces recoins. Mais cela reste difficile, car le modèle standard éclipse tout. Il faut donc disposer d'un regard particulièrement exercé pour apercevoir quelque chose au-delà.

Pour cela, il existe au fond deux voies complémentaires: au PSI, les physiciennes et les physiciens observent des particules de très faible énergie et essaient de détecter avec beaucoup de précision des événements transformateurs extrêmement rares. Ces expériences sont plus petites et coûtent souvent seulement quelques millions de francs. Les équipes sont composées de 50 à 100 chercheuses et chercheurs. Tout le monde



Klaus Kirch travaille, au PSI, sur les fondements de la physique en vue de mesurer – aussi précisément que possible – les propriétés des plus petits composants de la matière.



Le moment dipolaire électrique du neutron

Les chercheurs du PSI sont à la recherche d'une chose non encore découverte: le moment dipolaire électrique du neutron. Ce vocable désigne une séparation de charge positive et négative à l'intérieur du neutron. Selon la théorie actuelle, le moment dipolaire électrique du neutron ne devrait pas exister, car, vers l'extérieur, le neutron est électriquement neutre. Et, à ce jour, son existence n'a pu être démontrée. Si l'on réussissait à mesurer un moment dipolaire, même extrêmement faible, ce serait l'indice d'une nouvelle physique.

connaît tout le monde. Et, dans cette discipline, le PSI jouit d'une excellente réputation mondiale. Certaines expériences d'une telle précision ne sont d'ailleurs réalisables qu'ici.

La seconde voie est empruntée par les chercheuses et chercheurs du CERN. Ils font s'entrechoquer des particules de très haute énergie et observent si l'énergie concentrée fait apparaître de nouvelles particules lourdes. Ces expériences sont la spécialité du CERN et nécessitent des machines gigantesques, comme l'accélérateur circulaire LHC, avec son périmètre de 27 kilomètres, auquel plusieurs milliers de chercheuses et chercheurs travaillent.

Une chambre blindée hors du commun

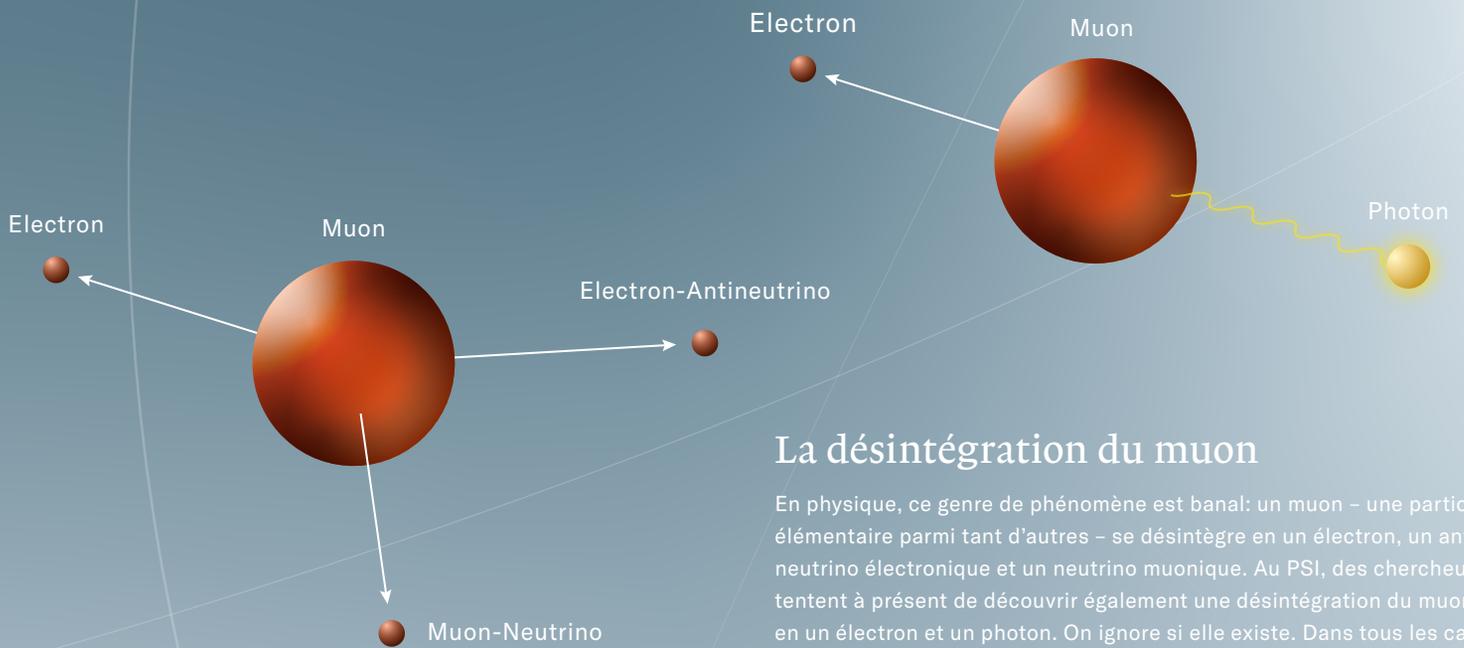
Le couronnement provisoire des expériences revient à n2EDM. Les chercheuses et chercheurs du PSI adorent ce genre d'abréviation: les initiés savent aussitôt ce qu'on y étudie. Dans le cas présent, c'est le moment dipolaire électrique du neutron. Le modèle standard dit en substance que le neutron ne possède pas de moment dipolaire électrique mesurable avec les moyens actuels. Toutefois, certaines théories autorisent son existence et supposent qu'il pourrait y avoir une minuscule séparation de charge à l'intérieur d'un neutron non chargé. Si l'on mesurait ce moment dipolaire dans le cadre d'une expérience, cette théorie permettrait également d'expliquer la domination de la matière sur l'antimatière, du moins en partie.

Pour ce faire, les chercheuses et chercheurs doivent bloquer tout champ magnétique perturbateur, notamment le champ magnétique terrestre, car le moment dipolaire électrique – pour autant qu'il existe – est extrêmement faible. L'équipe de Klaus Kirch a construit à cet effet une chambre blindée de plus de 25 tonnes, avec des parois constituées de plusieurs couches d'un alliage de nickel et de fer. Ce colosse de cinq mètres de haut abrite une autre chambre, qui réduit une nouvelle fois le champ magnétique. A l'intérieur, il est 100 000 fois plus faible qu'à l'extérieur. Cette chambre avec blindage magnétique est la meilleure du genre et de cette taille au monde.

L'expérience se trouve à l'intérieur: des neutrons ultra-froids – c'est-à-dire extrêmement lents – sont soumis à un champ magnétique qui imprime une rotation au moment dipolaire magnétique du neutron. Si l'on applique un champ électrique en plus,

«Nous essayons d'amener de la lumière dans l'obscurité, là où les incohérences sont particulièrement importantes.»

Klaus Kirch, responsable du Laboratoire de physique des particules



La désintégration du muon

En physique, ce genre de phénomène est banal: un muon – une particule élémentaire parmi tant d'autres – se désintègre en un électron, un anti-neutrino électronique et un neutrino muonique. Au PSI, des chercheurs tentent à présent de découvrir également une désintégration du muon en un électron et un photon. On ignore si elle existe. Dans tous les cas, elle est extrêmement rare. Si l'on réussissait à démontrer son existence, cela bouleverserait les fondements actuels du modèle standard de la physique des particules (voir aussi l'infographie à la page 16).

cette rotation devrait changer, mais seulement si le fameux moment dipolaire électrique existe.

L'expérience précédente, baptisée nEDM, a fourni un «résultat compatible avec zéro». C'est ainsi que les chercheuses et chercheurs déclarent, en forme de clin d'œil, qu'ils n'ont rien trouvé. Mais cela ne signifie pas que l'essai s'est soldé par un échec, souligne Klaus Kirch. Chaque expérience repousse les limites de la connaissance et éclaire un peu plus la pièce qui environne le modèle standard. n2EDM est dix fois plus sensible et allumera une lampe supplémentaire dans un recoin encore plus reculé, quelle que soit l'issue de l'expérience.

L'indice d'une nouvelle physique

Philipp Schmidt-Wellenburg emprunte une autre voie avec son expérience qu'aucun laboratoire au monde n'a tenté de mener à ce jour. Ce physicien

cherche lui aussi le moment dipolaire électrique, mais dans des muons qu'il contraint sur une trajectoire circulaire au moyen de puissants aimants et de champs électriques. Si, ce faisant, l'orientation des spins de muons devait changer – une propriété de mécanique quantique de la particule, que l'on peut se représenter comme une minuscule aiguille de boussole –, cela signifierait que le muon doit forcément avoir un moment dipolaire électrique. Ce serait également l'indice d'une nouvelle physique.

Klaus Kirch a 54 ans et donc encore au moins une décennie devant lui pour trouver des résultats qui ne soient pas compatibles avec zéro. Mais que se passera-t-il si toutes ces expériences ne révèlent pas de nouvelle physique au-delà du modèle standard, si les recoins restent vides et peu importe comment on les éclaire? Klaus Kirch est convaincu que ce serait positif, car cela démontrerait que le modèle standard décrit bien la nature, mais que cela n'arrivera pas: «Nous trouverons quelque chose, affirme-t-il. Il y a trop d'indices de l'incomplétude du modèle standard.»

Angela Papa partage cette vision. Cette physicienne des particules fait de la recherche sur les muons au PSI et est également professeure à Pise. Les lignes de faisceaux, au PSI, fournissent deux cents millions de ces cousins lourds de l'électron par seconde; ce sont donc les sources de muons continues les plus intenses au monde. Depuis 2019, la production de muons a été améliorée et fournit environ 50 % de plus de muons à plusieurs lignes de faisceaux. Depuis 2021, l'expérience MEG2

«S'il s'avérait qu'il existe une désintégration extrêmement rare du muon, ce serait la preuve d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard.»

Angela Papa, physicienne, spécialiste de la physique des particules

est en route à l'une d'elles. Elle a succédé à l'expérience MEG, achevée en 2013, mais en plus puissante. L'acronyme MEG signifie «Muon-Electron-Gamma» et décrit l'événement lors duquel, à l'inverse de ce qui se produit d'habitude, un muon se désintègre en un électron et en un photon (gamma), c'est-à-dire en une particule lumineuse de haute énergie. Cela se produit extrêmement rarement, voire jamais: jusque-là, personne n'a observé cette désintégration. Si elle existait, ce serait la preuve d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard. Et si ce n'était pas le cas? «Là aussi, ce serait intéressant, car cela nous permettrait d'exclure certaines théories et de nous concentrer sur d'autres modèles dans le cadre d'expériences futures», indique Angela Papa.

Si l'on ne trouve pas la désintégration MEG, cela renforcera le modèle standard de la physique des particules, qui considère cette désintégration exotique comme si improbable qu'elle ne pourrait jamais être observée. Il prédit en effet que seul un muon sur 10^{54} (un chiffre avec 54 zéros) emprunterait cette voie de désintégration. A l'heure actuelle, on peut détecter cet événement seulement si un muon sur 10^{14} (au moins) se désintègre de la sorte. Ce fossé gigantesque, même les expériences les plus performantes ne pourront jamais le combler, mais les chercheuses et chercheurs ont l'espoir que l'événement se produise plus tôt. Certaines variantes de la supersymétrie – une hypothèse selon laquelle il existe un superpartenaire lourd pour chaque particule du modèle standard – autorisent en effet la désintégration rare du muon au sein des limites de mesure qui seront atteintes ces prochaines années, lors de l'expérience menée au PSI.

Un sacré coup

Si les chercheuses et chercheurs du PSI trouvaient un indice des théories supersymétriques, ce serait un sacré coup! Alors que la supersymétrie pourrait élargir le modèle standard, il existe aussi des expériences qui pourraient ébranler sérieusement cette théorie. Vous connaissez certainement le truisme suivant: tout tombe toujours *vers le bas*, rien ne tombe jamais *vers le haut*. Lorsque votre tasse de café vous échappe des mains, elle se brise sur le sol et jamais au plafond. Mais est-ce vraiment toujours le cas? N'y a-t-il pas une autre forme de matière qui serait repoussée par un champ gravitationnel et tomberait vers le haut? Pour répondre à cette question, les chercheuses et chercheurs du PSI planifient une expérience avec du muonium, un atome exotique composé d'un antimuon chargé positivement et d'un électron. Il ressemble donc à l'hydrogène, mais le proton est remplacé par de l'antimatière sous la forme d'un lepton ponctuel,



Angela Papa, physicienne, spécialiste de la physique des particules, mène des recherches, entre autres, dans le cadre de l'expérience MEG2 du PSI, où elle cherche une désintégration extrêmement rare du muon (voir aussi l'illustration à gauche).

un autre type de particule élémentaire. A l'inverse de l'hydrogène, le muonium est composé de deux leptons ponctuels. De ce fait, il peut être calculé avec précision à l'aide de l'électrodynamique quantique («*quantum electrodynamics*» ou QED), qui décrit l'électromagnétisme en termes de théorie quantique. Dans le cadre d'une autre expérience, on peut mesurer le niveau d'énergie de cet atome et vérifier si la théorie QED et l'expérience donnent les mêmes résultats, ce qui serait utile pour prédire des expériences futures.

Toutefois, les mesures, durant les expériences, doivent être extrêmement rapides, car l'antimuon se désintègre en deux millièmes de seconde. Si, contre toute attente, il ne devait pas tomber vers le bas, selon le champ gravitationnel de la Terre, avec l'accélération de la pesanteur, ce serait plus que sensationnel: cela mettrait à mal la théorie générale de la relativité. «Je ne crois pas que cela se produira, explique Klaus Kirch. Mais nous ne pouvons pas nous permettre de ne pas éclairer ce recoin-là.»

Pour que cela fonctionne, il faut disposer d'une lampe de poche suffisamment puissante. Pour les chercheuses et chercheurs, cela signifie qu'ils doivent construire des machines toujours plus performantes, avec une intensité et une précision plus élevées. Dans le cas des expériences sur des événements très rares, les statistiques font toute la différence.

Il faut des quantités inimaginables de particules pour qu'un tel événement se produise enfin une fois. Conjointement avec l'Université de Zurich et l'Hôpital universitaire de Zurich, le PSI a donc déposé le projet IMPACT auprès de la Feuille de route suisse pour les infrastructures de recherche, pour la période de financement 2025-2028. L'une des deux stations cibles prévues par le projet sur l'accélérateur de protons fournit des faisceaux appelés HIMB pour High Intensity Muon Beam. Elle permettrait de produire dix milliards de muons par seconde. Le PSI pourrait ainsi renforcer sa position de leader mondial en physique des muons, juste à temps pour présenter des résultats complémentaires à comparer avec ceux de la prochaine phase de l'accélérateur de particules LHC du CERN à Genève.

Le Conseil des EPF vient de proposer le plan correspondant pour la prochaine Feuille de route suisse pour les infrastructures de recherche. La Feuille de route sera publiée au printemps 2023 mais de nombreux préparatifs battent déjà leur plein. Un élargissement du HIMB serait un appareil qui refroidit les muons et améliore la qualité du faisceau de plusieurs millions de fois. Le faisceau de muons existant au PSI doit être freiné dans une chambre contenant de l'hélium gazeux très froid.

La différence de densité dans le gaz ainsi que les champs magnétiques et électriques concentreront les muons sur un point en quelques millièmes de seconde et les amèneront par un trou dans un tube à vide. Là, le faisceau ne dépassera pas la minceur d'une fraction de millimètre et sera dix mille fois plus intense que le faisceau standard qui, lui, a la même épaisseur qu'un bras. Le fait de pouvoir enfermer du gaz dans une cuve dotée d'un trou est une prouesse technique de l'équipe. Aldo Antognini, chef du projet muCool au PSI et professeur à l'ETH Zurich, est optimiste: «Dans la simulation, cela fonctionne, dit-il. Notre objectif est de le démontrer en 2023, dans le cadre des tests de faisceau», dit-il.

Mesurer avec une précision inégalée à ce jour

Aldo Antognini a également joué un rôle décisif dans une autre expérience, qui a fait grand bruit dans la communauté scientifique: la mesure du rayon du proton. Son équipe s'est servie de l'accélérateur de protons du PSI pour produire des muons qui forment de l'hydrogène muonique où, en lieu et place de l'électron, un muon chargé négativement orbite autour du proton. Le PSI est le seul centre de recherche au monde capable de produire suffisamment de muons lents pour des expériences de ce genre. L'hydrogène muonique a la taille d'un deux-centième de l'hydrogène seulement. Les niveaux



Aldo Antognini, physicien, a notamment participé à la mesure du rayon du proton la plus précise à ce jour. Le résultat avait fait grand bruit dans le monde entier (voir l'illustration à droite et l'infographie page 17).

d'énergie de cet atome sont donc fortement influencés par la taille du proton. Si l'on excite précisément la fréquence de résonance entre les deux niveaux d'énergie dans l'hydrogène muonique avec un laser, on peut en déduire précisément le rayon du proton. Or, au début, les chercheuses et chercheurs du PSI n'ont rien trouvé. Car le 0,88 femtomètre (1 femtomètre = 1 millionième de milliardième de mètre), que des expériences de diffusion avec des électrons avaient donné pour le rayon du proton, ne semblait pas correspondre. En lieu et place, les mesures s'étaient stabilisées à 0,84 femtomètre. Nombre de chercheuses et chercheurs d'autres instituts refusaient d'y croire et mettaient en doute le résultat obtenu à partir de l'hydrogène muonique. Aujourd'hui, une dizaine d'années plus tard, les esprits se sont calmés et le rayon du proton plus petit a été confirmé à plusieurs reprises. Entre-temps, l'équipe a mesuré le rayon du deutérium et trouvé là aussi un rayon plus petit. Aujourd'hui, les mesures de l'hélium-3 et de l'hélium-4 sont terminées. Elles n'indiquent aucune divergence, mais les résultats obtenus avec des muons sont les plus précis qui existent.

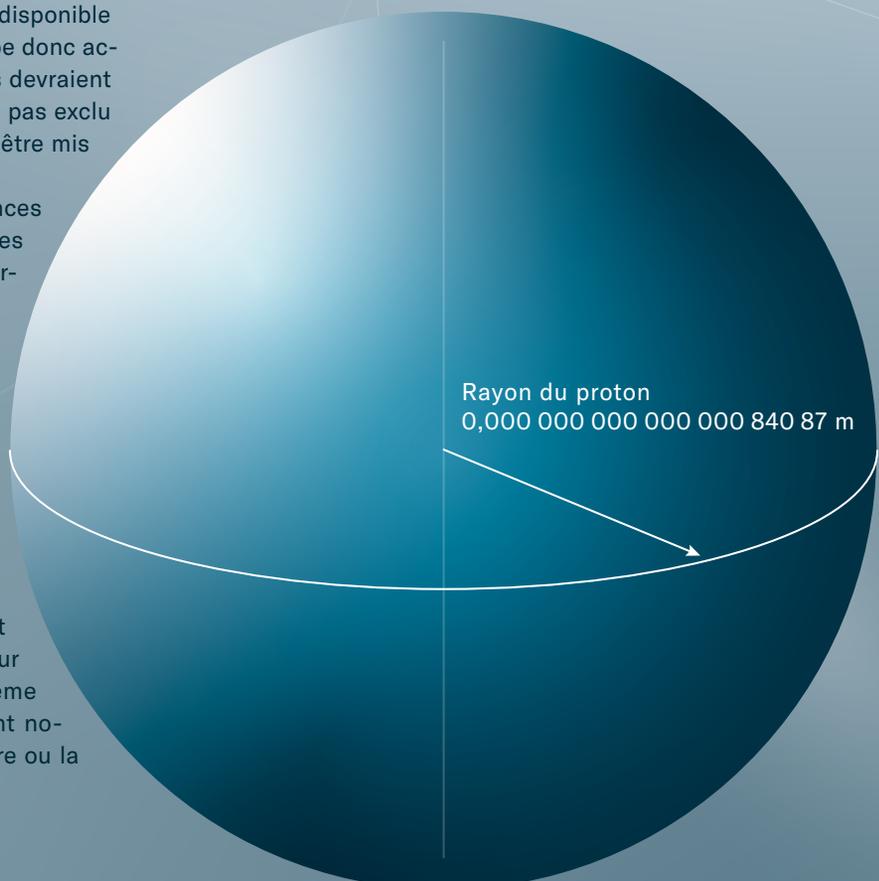
Lors de la première expérience, l'équipe emmenée par Aldo Antognini avait mesuré la répartition de charge électrique du proton. Mais le rayon magnétique du proton est intéressant, lui aussi. Pour le déterminer, il faut un laser particulier, avec une énergie d'impulsion élevée et une longueur d'onde spéciale, qui doit tirer en un millionième de seconde lorsqu'un atome d'hydrogène muonique se trouve en bonne position. Un tel laser n'est pas disponible dans le commerce. L'équipe le développe donc actuellement elle-même. Les expériences devraient commencer en 2024. Là encore, il n'est pas exclu que des résultats plus anciens doivent être mis au panier.

Même si ce foisonnement d'expériences peut être troublant, elles obéissent toutes à un plan directeur. «En physique des particules, tout est imbriqué, rappelle Aldo Antognini. L'édifice doit donc être totalement cohérent en soi.» Pour ce faire, il est indispensable d'avoir le contrôle sur les constantes naturelles. Avec ses expériences, le chercheur fournit une importante contribution dans ce sens. Ainsi, la connaissance aussi précise que possible du rayon du proton constitue la base pour déterminer la constante de Rydberg, qui est la plus précisément mesurée en physique. Elle est à son tour contenue dans les unités SI, le système international d'unités, dans lequel sont notamment définis le kilogramme, le mètre ou la seconde.

Mais ces constantes sont-elles vraiment... si constantes? Des chercheuses et des chercheurs n'excluent pas qu'elles changent sur de longues périodes. Cela voudrait dire que, dans la salle sombre où trône le rayonnant modèle standard de la physique des particules, les murs soient en caoutchouc et se déforment imperceptiblement. Ou de manière encore plus radicale: il existe peut-être, dans ce musée, d'autres pièces, c'est-à-dire d'autres univers gouvernés par d'autres constantes de la nature – et donc un autre modèle standard. «Nous ne pouvons pas l'exclure, dit Klaus Kirch. C'est pourquoi nous travaillons sur des expériences pour le découvrir.» ♦

«En physique des particules, tout est imbriqué. L'édifice doit donc être totalement cohérent en soi.»

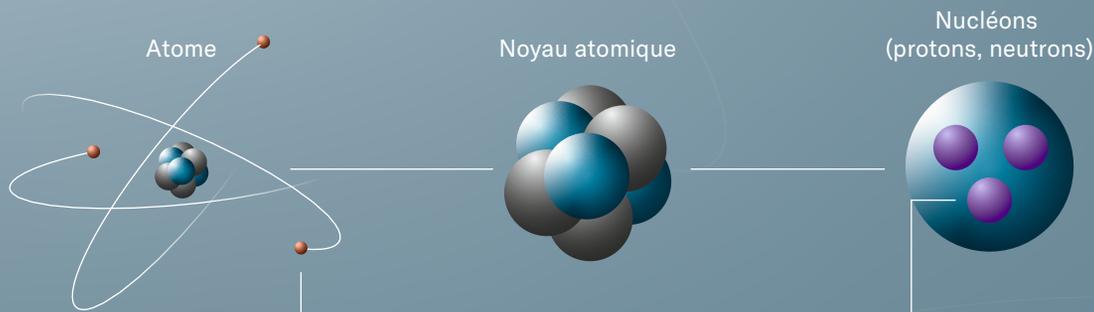
Aldo Antognini, chef du projet muCool au PSI



Le modèle standard de la physique des particules

Les particules élémentaires sont les plus petits composants de la nature. Elles se répartissent en deux groupes: les particules de la matière et les particules de force. Les particules de force transmettent les forces entre les particules de la matière. La plus connue d'entre elles est le photon, qui transmet la force électromagnétique. Le gluon transmet l'interaction forte qui empêche les noyaux atomiques d'éclater. L'interaction faible est transmise par les bosons Z et les bosons W. C'est elle qui est responsable de la désintégration de certains noyaux, à l'origine, par exemple, de la radioactivité. Pour la quatrième force, la gravitation, aucune particule de force n'est connue à ce jour. Le boson de Higgs fait partie du mécanisme de

Higgs, selon lequel les particules de matière acquièrent leur masse en interagissant avec le champ de Higgs. Les particules élémentaires, quant à elles, forment les composants du noyau atomique: les protons et les neutrons (voir en haut à droite). Chaque particule élémentaire existe sous deux formes: comme particule et comme antiparticule. C'est ce qui rend, entre autres, la compréhension du modèle standard de la physique des particules si complexe. Car, en fin de compte, toutes les comparaisons et images utilisées pour le décrire restent des constructions auxiliaires. Le modèle ne peut être entièrement décrit et compris que dans le langage mathématique.



MATIERE
(fermions)

Leptons

ν_e Neutrino électronique Masse: $< 1.0 \text{ eV}/c^2$ Charge: 0 Spin: $\frac{1}{2}$	e Electron Masse: $\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ Charge: -1 Spin: $\frac{1}{2}$
ν_μ Neutrino muonique Masse: $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ Charge: 0 Spin: $\frac{1}{2}$	μ Muon Masse: $\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ Charge: -1 Spin: $\frac{1}{2}$
ν_τ Neutrino tauique Masse: $< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ Charge: 0 Spin: $\frac{1}{2}$	τ Tauon Masse: $\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ Charge: -1 Spin: $\frac{1}{2}$

Quarks

d Down Masse: $\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ Charge: $-\frac{1}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$	u Up Masse: $\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ Charge: $+\frac{2}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$
s Strange Masse: $\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ Charge: $-\frac{1}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$	c Charm Masse: $\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ Charge: $+\frac{2}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$
b Bottom Masse: $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ Charge: $-\frac{1}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$	t Top Masse: $\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ Charge: $+\frac{2}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$

INTERACTIONS
(bosons)

Bosons vecteurs

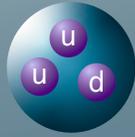
Z Boson Z Masse: $< 91.19 \text{ GeV}/c^2$ Charge: 0 Spin: 1	W Boson W Masse: $\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ Charge: ± 1 Spin: 1	γ Photon Masse: 0 Charge: 0 Spin: 1	g Gluon Masse: 0 Charge: 0 Spin: 1
Interaction faible		Electromagnétisme	Interaction forte

$?$ Graviton Gravitation

Bosons scalaires

H Higgs Masse: $\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ Charge: 0 Spin: 0 Mécanisme de Higgs





Proton

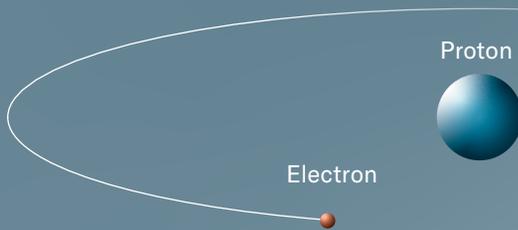
Charge +1 – est composé de deux quarks up (charge $2 \times +\frac{2}{3}$) et d'un quark down (charge $-\frac{1}{3}$) ainsi que d'un «lac» de gluons et de paires de quark-antiquark. 99 % de la masse provient de l'interaction forte.



Neutron

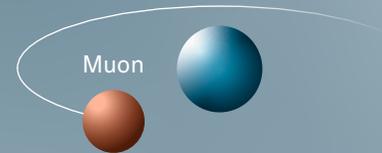
Charge 0 – est composé d'un quark up (charge $+\frac{2}{3}$) et de deux quarks down (charge $2 \times -\frac{1}{3}$) ainsi que d'un «lac» de gluons et de paires quark-antiquark. 99 % de la masse provient de l'interaction forte.

Hydrogène



Hydrogène muonique

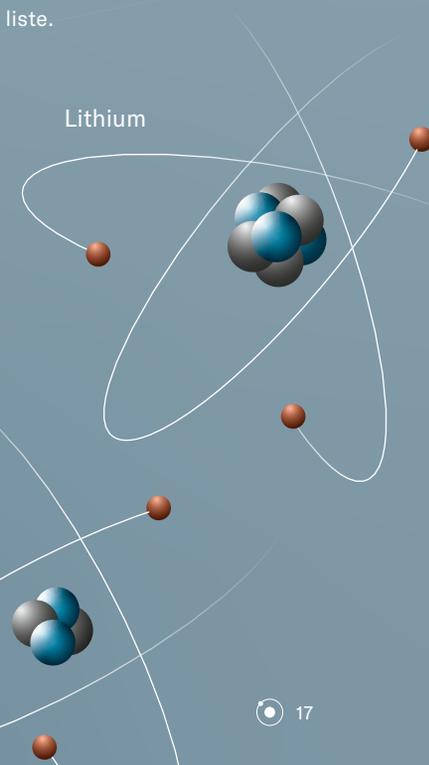
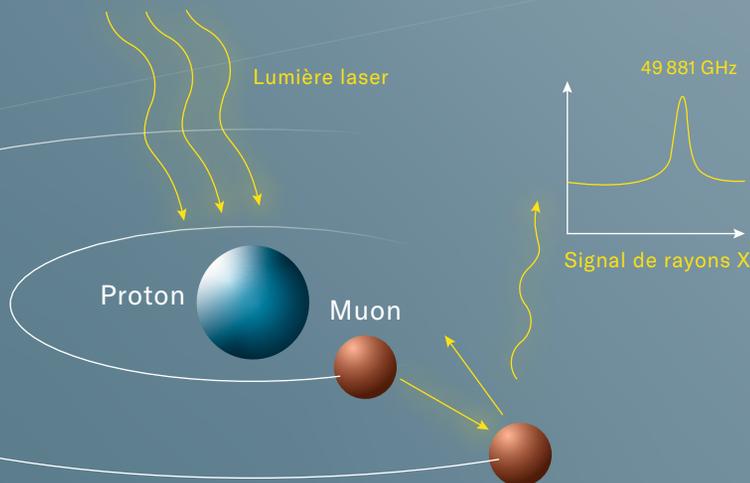
Est composé d'un proton et d'un muon
 – Durée de vie: environ 2 microsecondes
 – Diamètre: 186^e de l'hydrogène normal



Comment les chercheurs du PSI déterminent le rayon du proton

L'hydrogène muonique est parfait pour déterminer le rayon du proton. Les chercheuses et les chercheurs remplacent l'électron dans l'atome d'hydrogène par un muon chargé négativement. Ils envoient l'impulsion d'un laser infrarouge sur l'hydrogène muonique. Si la lumière laser a la bonne fréquence, elle élève le muon à un état énergétique plus haut. Lorsqu'il retombe à son état fondamental, le muon émet de la lumière de type rayons X, que des détecteurs enregistrent. Dans l'expérience, on varie la fréquence laser jusqu'à l'arrivée de nombreux signaux

de rayons X: c'est la fréquence de résonance. Elle est ici de 49 881 gigahertz, ce qui permet de calculer la différence entre les deux états énergétiques du muon dans l'atome. D'après la théorie, cette différence d'énergie dépend de la taille du proton. Les chercheuses et les chercheurs du PSI ont également exploité ce principe pour déterminer le rayon du noyau d'hélium. Pour ce faire, ils ont remplacé un électron de l'atome d'hélium par un muon. Le lithium est le prochain sur leur liste.



Développer soi-même ce qui est introuvable dans le commerce

Par leur travail, les chercheuses et les chercheurs du PSI repoussent les limites du savoir et du développement technologique. Nombre de composants nécessaires à leurs expériences sont introuvables dans le commerce. Alors, ils les développent eux-mêmes, tout simplement. Et contribuent ainsi à améliorer bien d'autres applications scientifiques et industrielles.

Texte: Bernd Müller

La physique des particules est onéreuse. Les grandes installations de recherche, comme l'accélérateur de protons LHC au CERN, avec ses quatre détecteurs, coûtent des milliards. Lorsqu'on leur demande à quoi cela sert, les chercheuses et les chercheurs ont quelques bonnes réponses toutes prêtes. Au-dessus de tout, disent-ils, se trouve le fait d'acquérir des connaissances et de repousser les frontières du savoir. Dans les grands laboratoires, on forme des milliers de spécialistes capables d'utiliser les toutes nouvelles technologies

et de travailler au sein d'équipes interdisciplinaires: une bénédiction pour l'économie high-tech – et pas seulement celle de Suisse. Autre argument avancé: nous développons de nouvelles technologies qui seront intéressantes, dans le futur, pour des applications industrielles.

Ce dernier point, notamment, est le cheval de bataille de Stefan Ritt. Ce chef de groupe de recherche au PSI est à la fois physicien et bricoleur enthousiaste. Lorsqu'une expérience au PSI a besoin d'un circuit électronique particulier et que ce dernier reste introuvable dans le commerce, il se saisit de son fer à souder et le construit lui-même. C'est ainsi qu'il y a dix ans il a posé un véritable jalon: le DRS4. Le *Domino Ring Sampler* est une micropuce qui, pour dire les choses simplement, unit un oscilloscope ultrarapide sur une surface de la taille d'un ongle. La résolution temporelle est inférieure à 10 millièmes de milliardième de seconde. Les chercheuses et les chercheurs s'en servent pour trouver des particules issues des processus de désintégration de muons. La haute résolution temporelle et l'énorme rapidité de la puce sont indispensables: dans les expériences au PSI, il se produit en effet 30 millions de désintégrations de ce genre par seconde, dont les signaux se superposent. C'est ce qui rend l'évaluation si délicate.

L'un des plus fidèles «clients» de Stefan Ritt est Aldo Antognini, qui mène des expériences pour déterminer le rayon du proton (voir page 15). Mais pas seulement: dans le monde entier, de nombreux laboratoires de recherche utilisent le DRS4. Des chercheuses et des chercheurs en médecine à Tübingen, en Allemagne, par exemple, pour localiser des tumeurs cérébrales aussi précisément que possible. 10 000 exemplaires du DRS4 ont été déjà vendus. En raison de la demande soutenue, la puce est aujourd'hui fabriquée à Taïwan et distribuée par la société RADEC GmbH, une spin-off du PSI, sise



Stefan Ritt, physicien, a réussi un coup de maître avec le développement de la micropuce *Domino Ring Sampler*, très demandée dans le monde entier.

à Koblenz, en Argovie. La société de Radoslaw Marcinkowski, ancien physicien au PSI, offre des services pour les missions spatiales et fournit la meilleure preuve du fait que le savoir-faire issu du PSI est apprécié et utilisé bien au-delà de ses portes.

En service dans le monde entier

Mais une chose est importante pour Stefan Ritt: «Nous ne poursuivons pas d'intérêts économiques, nous vendons ces puces – et les cartes électroniques qui en font partie – à prix coûtant.» La priorité numéro 1 est toujours le mandat de recherche du PSI. La même règle vaut pour l'électronique et le logiciel destinés à de nouveaux détecteurs de particules très rapides, que l'équipe de Stefan Ritt développe en ce moment. Par ailleurs, le physicien souhaite améliorer la puce DRS4 à l'avenir, pour qu'on puisse lire les données encore plus vite.

Même si le PSI développe son matériel et son logiciel pour atteindre ses propres objectifs, cela ne veut pas dire que cette recherche est toujours menée sur son site, à Villigen. Les chercheuses et les chercheurs du PSI participent également à des collaborations dans d'autres centres de recherche, surtout au CERN, à Genève. Le CERN met à disposition l'infrastructure avec le grand accélérateur de protons LHC, alors que des consortiums internationaux exploitent les détecteurs CMS, ATLAS, LHCb et ALICE. Rien qu'au CMS participent quelque deux cents instituts de recherche du monde entier, avec plus de 5800 chercheuses et chercheurs, collaborateurs administratifs et des techniciennes et des techniciens. Chaque partenaire apporte une contribution au détecteur et à son fonctionnement, et peut utiliser les données en échange.

Un composant extrêmement important du CMS – lui-même de la taille d'un immeuble et d'un poids de 12500 tonnes – est le détecteur à pixels en silicium. Situé tout à l'intérieur et relativement petit, il assume une fonction importante. A partir des particules chargées produites par les collisions de protons, il mesure au micromètre près l'endroit de la collision. Celui-ci sert de base pour les mesures des autres détecteurs, qui se succèdent en direction de l'extérieur comme les couches d'un oignon. Ce détecteur à pixels a été développé et construit au PSI.

En principe, le détecteur est un appareil photo avec 124 millions de pixels de 150 fois 100 micromètres. Sauf qu'il ne mesure pas la lumière, mais des particules chargées: 40 millions par seconde, pour être précis. Le premier détecteur mis en service en 2008, au LHC, était composé de trois couches cylindriques. Actuellement, le deuxième stade d'évolution comporte quatre couches et de l'électronique plus rapide.

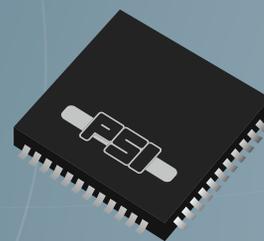


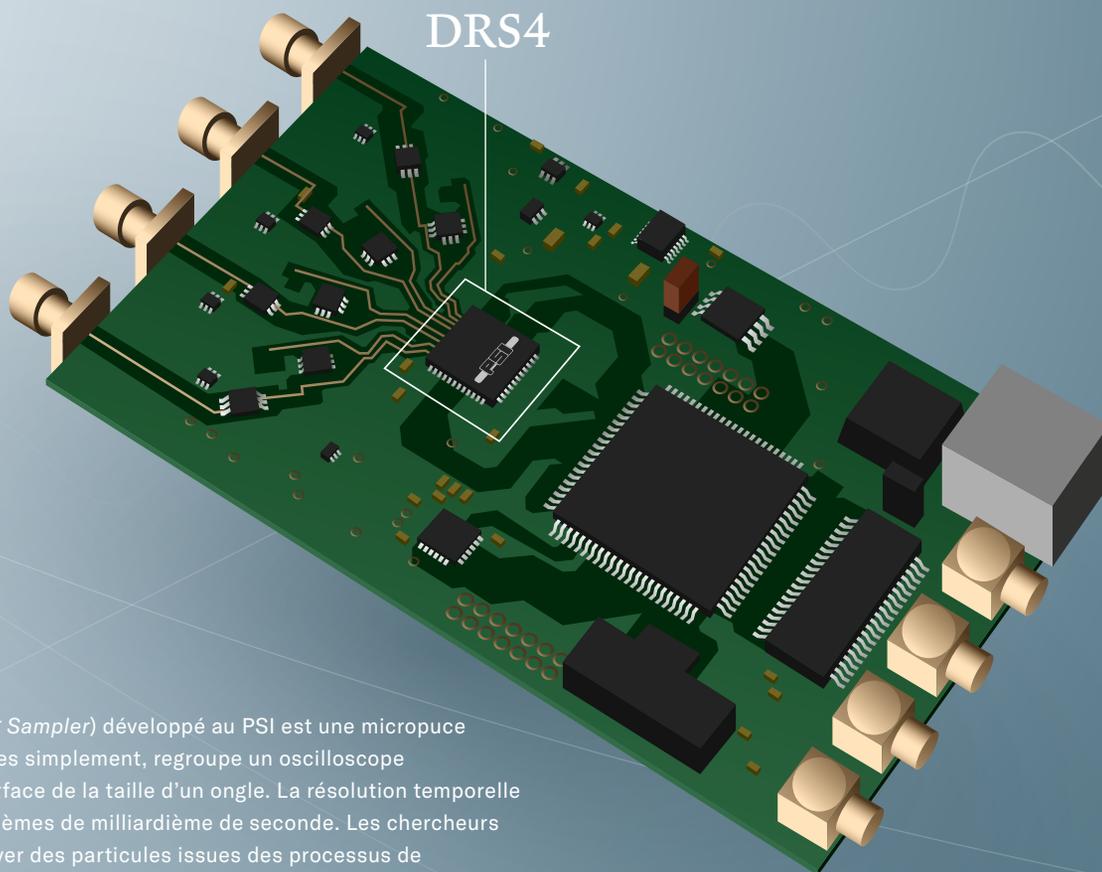
Lea Caminada, physicienne, développe une nouvelle génération de détecteurs à pixels qui devraient permettre de réaliser des mesures encore plus performantes.

Pour le prochain niveau d'équipement, qui doit démarrer en 2029, ce détecteur sera lui-même beaucoup trop lent. La luminosité – on pourrait aussi parler de «clarté» – du LHC va quintupler et le CMS devra traiter en conséquence une plus grande quantité de collisions de particules. Pour cette troisième génération du détecteur à pixels, Lea Caminada – qui chapeaute le groupe Physique de haute énergie au PSI, composé de dix personnes, et qui est professeure à l'Université de Zurich – a imaginé quelque chose de nouveau: le Tracker Extended PiXel System (TEPX). Le TEPX doit couvrir un angle encore plus grand et enregistrer les particules qui

«Nous vendons ces puces – et les cartes électroniques qui en font partie – à prix coûtant.»

Stefan Ritt, chef de groupe de recherche au PSI





Le DRS4

Le DRS4 (*Domino Ring Sampler*) développé au PSI est une micropuce qui, pour dire les choses simplement, regroupe un oscilloscope ultrarapide sur une surface de la taille d'un ongle. La résolution temporelle est inférieure à 10 millièmes de milliardième de seconde. Les chercheurs s'en servent pour trouver des particules issues des processus de désintégration de muons.

s'envolent dans la direction de ces faisceaux vers l'avant ou vers l'arrière. C'est un point important, car certaines particules exotiques – dont la fameuse particule de Higgs – présentent des signatures qui ne peuvent être mesurées qu'à ces endroits et qui ne sont pas couvertes pour l'instant. Comme la surface du détecteur sera beaucoup plus importante, avec bien plus de modèles à intégrer, l'équipe développe un robot qui automatisera le montage.

L'économie suisse en profite

Le développement maison de détecteurs à pixels profite également à d'autres champs de recherche, comme la spectroscopie de spin de muons, qui peut déterminer les propriétés magnétiques de matériaux prévus, par exemple, pour les futurs calculateurs quantiques. Pour ce faire, ce matériau est

bombardé de muons dans un champ magnétique, qui se désintègre en positrons au bout de quelques microsecondes. Les chercheuses et les chercheurs peuvent alors déduire la magnétisation du matériau à partir de la répartition temporelle des positrons. Une chose qu'ils ne pouvaient faire que si les muons arrivaient un à un. Le détecteur rapide du PSI permettrait d'effectuer des mesures avec beaucoup de muons à la fois, ce qui multiplierait le taux de mesure et fournirait une image en 3D de l'aimantation à l'intérieur du matériau.

Un équipement de ce genre pourrait également s'avérer intéressant pour des applications industrielles. Christian Brönnimann, autrefois doctorant au PSI et fondateur de DECTRIS AG à Baden-Dättwil, a participé au développement du premier détecteur à pixels au silicium pour CMS et en a fait un produit commercial couronné de succès. Les détecteurs de DECTRIS sont en tête dans le domaine de l'analyse des rayons X. Les détecteurs hybrides, qui comptent les électrons, sont l'une des spécialités de l'entreprise. «Grâce à la recherche fondamentale, cent places de travail hautement qualifiées ont vu le jour», rappelle Christian Brönnimann. Aujourd'hui encore, DECTRIS et le PSI collaborent étroitement. «Nous nous épaulons mutuellement dans le développement et la construction de nouveaux détecteurs, explique Lea Caminada. Notre recherche en profite, mais aussi l'économie suisse.» ♦

«Nous nous épaulons mutuellement. Notre recherche en profite, mais aussi l'économie suisse.»

Lea Caminada, cheffe de groupe de recherche au PSI et professeure à l'Université de Zurich



Focaliser des neutrons

Artur Glavic, physicien, développe des instruments innovants pour les grandes installations de recherche en vue d'analyser avec des neutrons les couches minces et les interfaces des matériaux. Le réflectomètre de neutrons, qu'il réalise actuellement, se compose de deux miroirs à neutrons elliptiques de sept mètres hauteur, installés en série. Cela permet de focaliser sur des échantillons ne mesurant que quelques millimètres. Par rapport aux réflectomètres existants, il atteint des intensités de faisceau 30 fois plus élevées, de sorte à prendre des clichés avec une résolution nettement supérieure. Pour sa performance exceptionnelle de construction et de développement, Artur Glavic s'est vu décerner, cette année, le Prix de l'instrumentation du comité Recherche avec des neutrons.

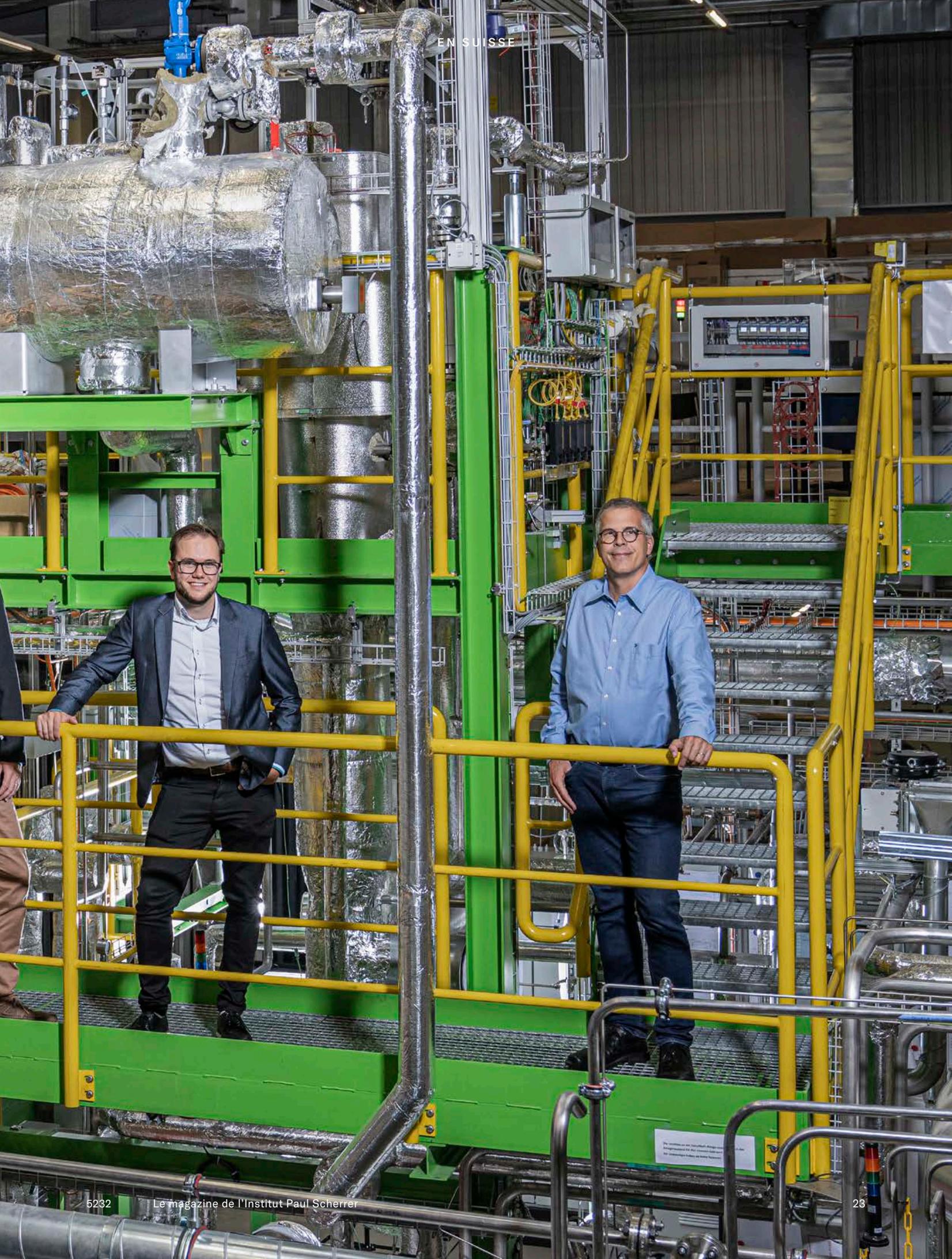
Du méthane pour stocker l'énergie

EN SUISSE

La transition vers un approvisionnement énergétique sans émission de gaz polluants pose la question suivante: comment stocker l'énergie lors des périodes où les installations éoliennes et photovoltaïques ne fournissent pas de courant? Des chercheurs de l'Institut Paul Scherrer et de la start-up AlphaSYNT avancent une réponse. Avec leur nouvelle approche de la conversion «power-to-methan», ils offrent une technologie – disponible à l'échelle industrielle – pour stocker l'énergie sous forme de méthane.

Texte: Benjamin A. Senn

Andreas Aeschimann et Luca Schmidlin d'AlphaSYNT ainsi que Tilman Schildhauer du PSI (de gauche à droite) devant l'installation-pilote GanyMeth, au PSI. De telles installations devraient être construites à l'avenir par AlphaSYNT – pour les stations d'épuration de biogaz et d'eaux usées – afin de stocker l'énergie sous forme de méthane.



Imaginons le scénario suivant: nous sommes en l'an 2050. Dans le cadre d'un événement caritatif, Roger Federer, âgé de 69 ans, répond à l'appel de ses fans du monde entier et ose à nouveau fouler le gazon pour affronter son adversaire de toujours, Rafael Nadal, le temps d'un match amical. Cet événement mondial est retransmis en direct de la halle Saint-Jacques à Bâle, sur les écrans nationaux et internationaux, ainsi que dans le cadre d'innombrables rediffusions publiques dans toute la Suisse. Ce samedi après-midi de juillet, l'atmosphère est étouffante. Les boissons sont rafraîchies à foison, les climatisations tournent à plein régime. Le ciel est couvert et le vent refuse de se lever.

Pour Roger Federer, qui n'est plus très jeune, cette météo n'offre probablement pas les conditions idéales pour faire du sport de haut niveau. Pour les spectateurs aussi, l'atmosphère oppressante est pénible. En 2050, il n'y a plus de centrales nucléaires reliées au réseau suisse et les nouvelles énergies renouvelables, comme le solaire et l'éolien, contribuent de manière importante à notre approvisionnement en courant. Mais si le soleil ne brille pas et si le vent ne souffle pas, les écrans restent noirs et le plus grand événement télévisé de l'année n'est pas retransmis.

Bien entendu, ce scénario semble tiré par les cheveux. Mais la problématique de fond est d'une actualité brûlante. Stocker utilement les nouvelles énergies renouvelables pour pouvoir les injecter dans le réseau en dehors des heures de pointe est un défi qui fait l'objet d'intenses recherches, également au PSI.

Utiliser l'infrastructure existante

Depuis près de dix ans, le Laboratoire de bioénergie et de catalyse développe des processus pour convertir de manière propre et efficace la biomasse issue de déchets agricoles et forestiers en combustibles ou en carburants liquides ou gazeux. Ce concept – baptisé «power-to-gas» – consiste à utiliser le courant excédentaire pour produire de l'hydrogène et, dans un second temps, convertir ce dernier en gaz naturel de synthèse.

La première étape se fait lors de ce qu'on appelle l'«électrolyse de l'eau». L'eau est scindée en hydrogène et en oxygène à l'aide de courant issu de sources renouvelables. L'énergie électrique est ainsi convertie en hydrogène, un vecteur chimique.

«Les piles à combustible permettent de reconverter l'hydrogène en électricité», explique Tilman Schildhauer, responsable scientifique de la recherche sur la méthanation au PSI. Les piles à combustible sont très performantes et propres. Comme elles ne nécessitent pas de combustion, leurs seuls sous-produits sont de la chaleur et de l'eau. «Mais

leurs coûts de production restent très élevés, poursuit Tilman Schildhauer. Par ailleurs, l'hydrogène est un gaz léger qui nécessite un énorme volume de stockage. Enfin, il n'y a pas encore l'infrastructure nécessaire en Suisse pour utiliser l'hydrogène de manière adéquate.»

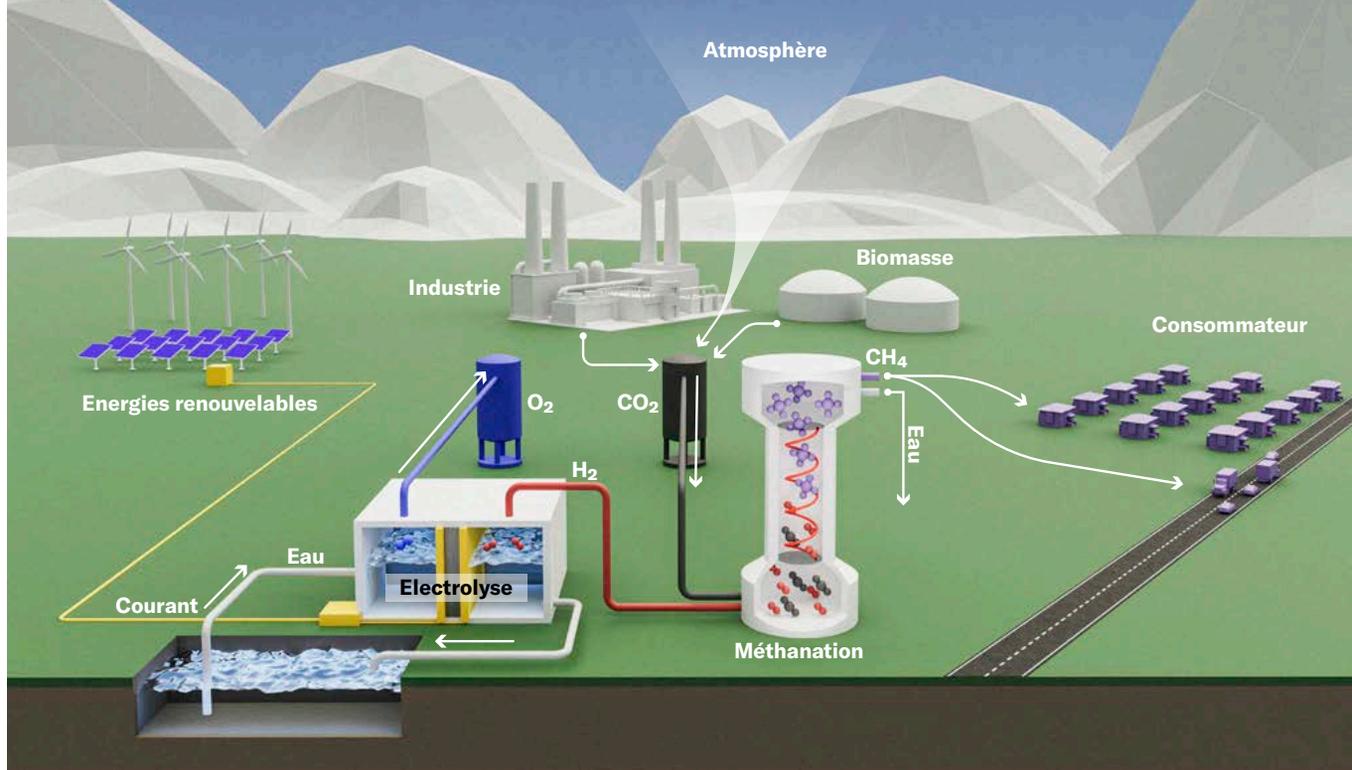
Les choses sont différentes avec le méthane. Pour une capacité énergétique similaire, ce gaz incolore et inodore ne nécessite qu'un tiers du volume de l'hydrogène et peut, dès aujourd'hui, être stocké et distribué *via* la même infrastructure que le gaz naturel. Tilman Schildhauer et son équipe utilisent donc l'hydrogène obtenu pour synthétiser du méthane lors d'une seconde étape.

De l'hydrogène pour produire du carbone et du méthane

En 1902, deux chimistes français, Paul Sabatier et Jean-Baptiste Senderens, avaient découvert que la réaction du dioxyde de carbone et de l'hydrogène produisait du méthane et de l'eau. Depuis, de nombreuses méthodes ont été mises au point pour rendre cette réaction aussi efficace que possible. Les chercheuses et chercheurs du PSI ont développé, pour leur processus de méthanation, un réacteur à lit fluidisé. Ce dernier contient des particules de nickel à grain fin, qui font office de catalyseur. Avec l'arrivée du dioxyde de carbone et de l'hydrogène, les particules sont soulevées en tourbillon et mises dans un état fluidisé par le flux ascendant. La réaction se déroule ainsi en continu sur toute la longueur du réacteur.

Hormis du méthane et de l'eau, cette réaction produit également des températures élevées. Pour maintenir le processus et obtenir des taux de conversion importants, le mélange doit être refroidi à la température de réaction optimale. Tilman Schildhauer et son équipe ont utilisé une astuce particulière à cet effet: «Nous faisons circuler de l'huile à travers le réacteur par un système de tuyaux, explique le chercheur. L'huile absorbe la chaleur à l'intérieur du réacteur et la restitue une fois à l'extérieur. Un peu comme dans un réfrigérateur.» Cette construction et la fluidisation des particules permettent un refroidissement particulièrement intense avec, pour résultat, un réacteur isotherme, compact et peu coûteux.

Ce réacteur peut être utilisé dans les installations de biogaz. Le biogaz est le fruit de la fermentation de la biomasse, comme le lisier, les végétaux ou les boues d'épuration. Il est composé de deux tiers de méthane et d'un tiers de dioxyde de carbone. Pour que ce mélange gazeux puisse être exploité efficacement dans le réseau de gaz, il doit atteindre un certain degré de pureté: au moins 96 % de teneur en méthane, telle est la règle. «Le mélange



Représentation schématique de la chaîne de création de valeur : à partir d'eau et d'électricité, l'oxygène (O_2) et l'hydrogène (H_2) sont obtenus par électrolyse de l'eau. L'hydrogène (H_2) et le dioxyde de carbone (CO_2) réagissent à leur tour pour former du méthane (CH_4), qui est finalement acheminé vers les consommateurs.

gazeux est introduit avec l'hydrogène obtenu dans notre réacteur à lit fluidisé et le dioxyde de carbone réagit pour produire du méthane supplémentaire», détaille Tilman Schildhauer.

Passer du laboratoire à l'industrie

La technologie fonctionne et, avec GanyMeth, un premier réacteur-pilote a été construit et testé au PSI (voir photo pages 22–23). A présent, il s'agit de réaliser cette méthode de méthanation à l'échelle industrielle. Pour ce faire, le PSI s'est associé avec la start-up AlphaSYNT. Ensemble, les deux acteurs veulent commercialiser leur approche. Toutefois, ce ne sera pas pour les ménages privés, car la technologie est trop complexe. Elle s'adresse plutôt aux grands fournisseurs d'énergie qui possèdent, par exemple, des installations de biogaz et pourraient profiter de cette technologie.

La start-up AlphaSYNT a été fondée en 2020 par Andreas Aeschimann (directeur) et Luca Schmidlin (directeur technique). D'une conversation démarrée par hasard lors d'une pause-café pendant un séminaire sur les technologies de mesure sont nés un partenariat fort et un objectif commun. «Alpha signifie "début", rappelle Andreas Aeschimann. Nous voulions tous les deux être aux avant-postes, oser quelque chose et investir pour contribuer à la transformation du système énergétique. Luca et moi-même, nous nous sommes compris d'emblée. La technologie du PSI est prête à l'emploi. Avec notre savoir-faire économique et technique, nous sommes à présent en mesure de réaliser cet objectif.»

La commercialisation de la technologie mise au point au PSI doit permettre de remplacer successivement les gaz fossiles par du méthane renouvelable. «Le stockage, flexible en été, du courant excédentaire issu de sources d'énergie renouvelables devrait par ailleurs contribuer à la stabilité du réseau», précise Andreas Aeschimann.

Perspectives d'avenir

Les installations de biogaz ne seront pas les seules à profiter du partenariat entre AlphaSYNT et le PSI. La technologie fonctionne avec n'importe quelle source de dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone peut par exemple être extrait de l'air ambiant ou provenir de stations de purification des eaux usées, d'usines d'incinération des ordures, de cimenteries ou encore d'installations de gazéification du bois. Pour cette dernière, AlphaSYNT et le PSI ont remporté, en mai 2022, le contrat pour la construction d'une installation de méthanation au Portugal.

Le réacteur-pilote fait partie intégrante de la plate-forme d'intégration des systèmes énergétiques (ESI) au PSI, où l'on étudie la faisabilité technique et économique de différentes variantes de la technologie *power-to-gas* en étroite collaboration avec AlphaSYNT et d'autres partenaires de la recherche et de l'industrie.

Plus rien ne devrait donc s'opposer à notre match de tennis du futur : son déroulement dépendra de la motivation de Roger Federer et de son adversaire, Rafael Nadal. ♦

Actualité de la recherche au PSI

535 millions d'années: tel est l'âge des roches où les fossiles ont été découverts.

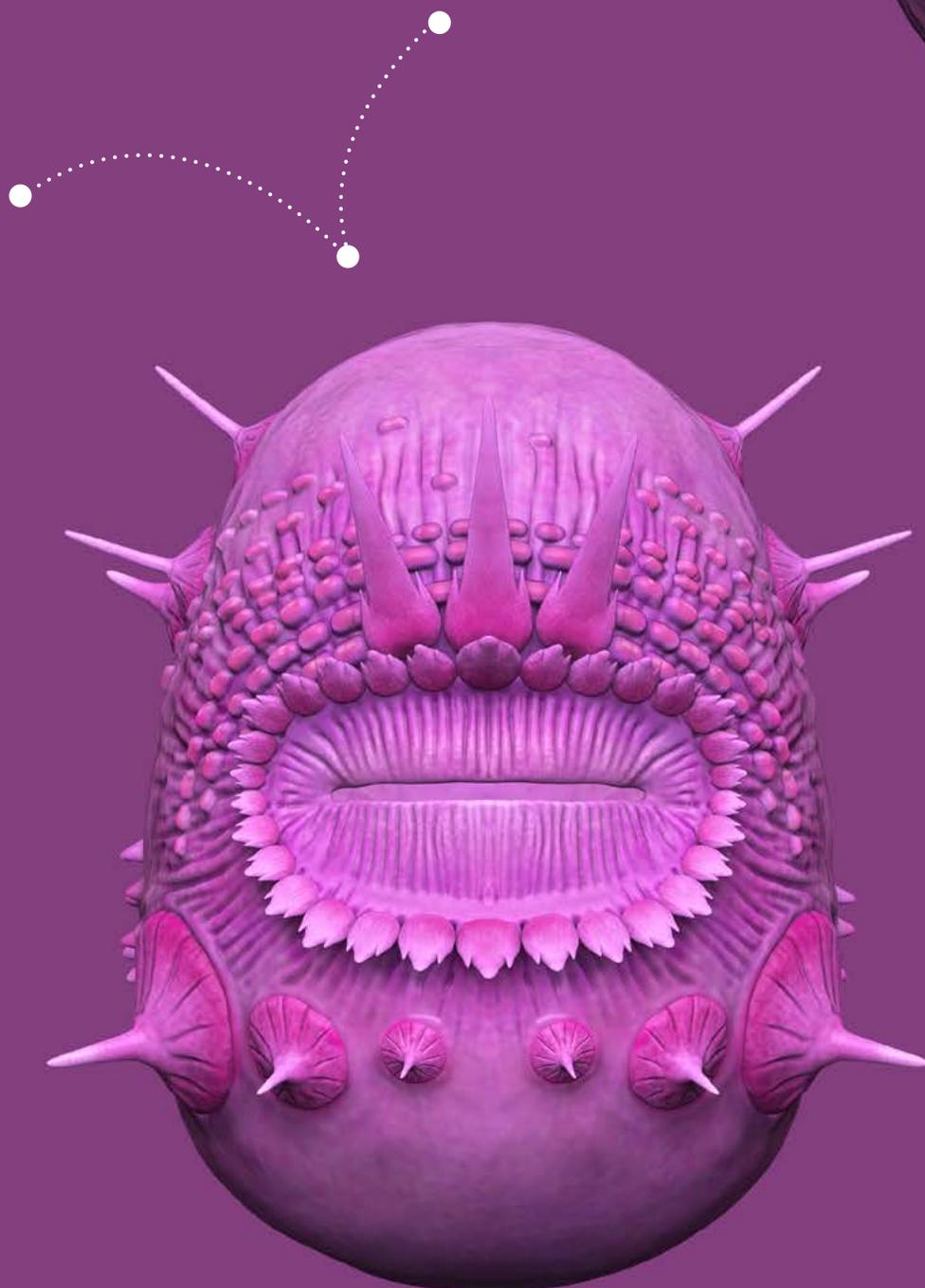
Environ **1** millimètre: c'est le diamètre de ces fossiles.

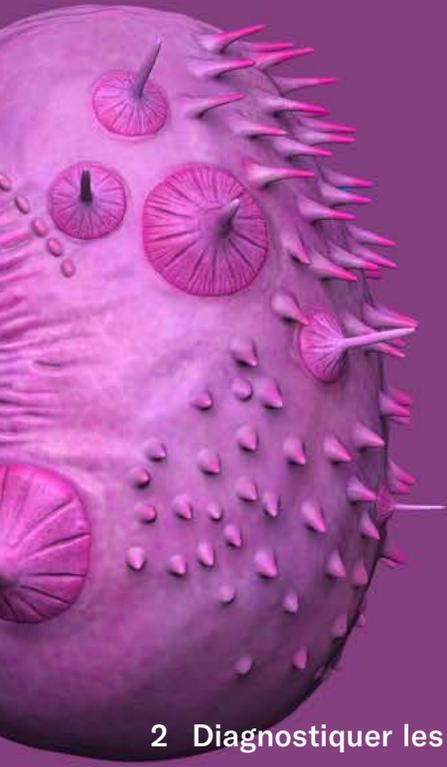
2017 : c'est la date à laquelle l'interprétation erronée avait été posée.

1 Un curieux fossile qui n'est pas notre ancêtre

Selon une hypothèse récemment formulée, les origines de l'homme pourraient remonter à un étrange être microscopique, doté d'une bouche mais dépourvu d'anus. Grâce à l'analyse de fossiles vieux de 500 millions d'années à la Source de Lumière Suisse SLS, nous savons désormais que ce n'est pas le cas: *Saccorhynchus* n'est pas un deutérostomien comme nous mais un ecdysozoaire. Ce curieux fossile ressemble à un sac épineux et plissé, avec une bouche entourée de piquants et d'orifices qui ont été interprétés comme des pores branchiaux. Or, ce sont précisément ces présumés pores branchiaux qui ont mis les scientifiques sur la fausse piste. Les nouvelles analyses à la SLS ont révélé qu'il s'agissait des bases des piquants – et le fossile a été biffé de notre arbre généalogique.

Informations supplémentaires:
<http://psi.ch/fr/node/52886>





2 Diagnostiquer les tumeurs, tout en ménageant les reins

En collaboration avec l'ETH Zurich, des chercheuses et chercheurs de l'Institut Paul Scherrer PSI ont optimisé une méthode pour diagnostiquer les tumeurs à l'aide de radionucléides. Une astuce moléculaire a permis de réduire notablement les effets indésirables possibles. Pour ce faire, les scientifiques ont modifié une molécule capable de détecter la tumeur. Elle comporte une structure de liaison spécifique qui lui permet de s'arrimer aux tumeurs et un radionucléide. Si la molécule s'arrime à la tumeur, le radionucléide peut être détecté. En revanche, si la molécule se retrouve dans les reins, elle est clivée grâce à cette astuce moléculaire. Le radionucléide passe alors directement dans les voies urinaires, où il est éliminé. Cela réduit nettement la durée des dépôts radioactifs dans les reins. Les radionucléides sont des atomes instables qui se désintègrent spontanément et, ce faisant, libèrent un rayonnement de haute énergie. Les chercheurs espèrent que leurs résultats de recherche seront utiles pour d'autres médicaments radiopharmaceutiques auxquels sont associés des effets indésirables analogues.

Informations supplémentaires:
<http://psi.ch/fr/node/53842>

3 Nanomatériaux du Moyen Age

Pour dorer les sculptures, les artistes de la fin du Moyen Age utilisaient souvent un film d'or extrêmement fin, porté par une couche d'argent. Appelé *Zwischgold* en allemand ou «or partiel» en français, il était beaucoup moins onéreux que les feuilles d'or pur, étant donné qu'il s'agissait de couches beaucoup plus minces. Toutefois, on ne dispose d'aucun document qui décrive son procédé de fabrication. Des chercheurs au PSI ont réalisé les premières images nanométriques en 3D de ce matériau. Leurs prises de vue montrent à quel point cette technique de fabrication moyenâgeuse était sophistiquée. Tout d'abord, l'or et l'argent étaient martelés séparément afin d'obtenir des feuilles minces, celle en or étant beaucoup plus fine que celle en argent. Les deux feuilles de métal étaient ensuite battues ensemble. D'après les analyses d'échantillons d'or partiel, la couche d'or avait en moyenne une épaisseur de 30 nanomètres, alors qu'une feuille d'or élaborée dans les mêmes régions et aux mêmes époques présentait une épaisseur d'environ 140 nanomètres. Ces résultats pourraient se révéler utiles, notamment pour développer de nouvelles techniques de conservation ou de restauration d'œuvres d'art anciennes.

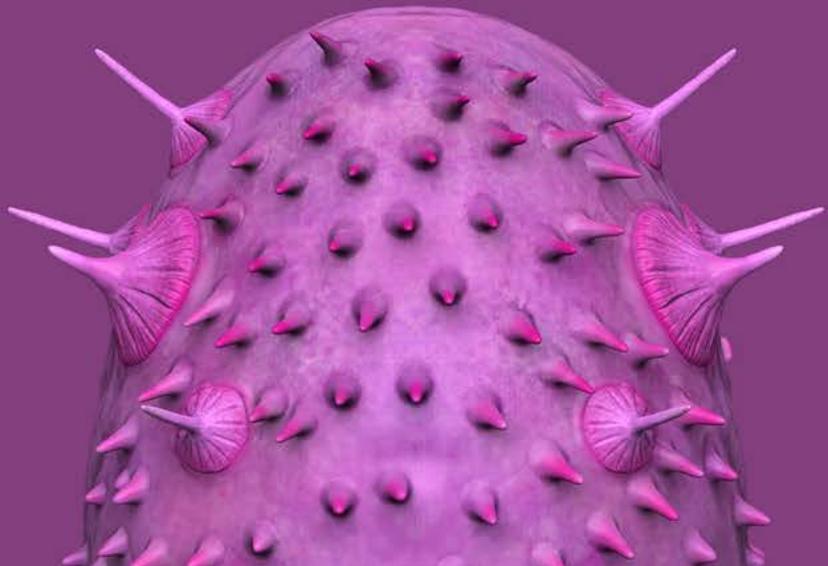
Informations supplémentaires:
<http://psi.ch/fr/node/53727>

4 Des électroniciens du PSI récompensés

Lors des championnats des métiers de l'électronique, deux jeunes électroniciens du PSI ont obtenu les deux plus hautes médailles: Melvin Deubelbeiss a remporté la première place lors des SwissSkills 2022 nationaux; peu après, lors des championnats du monde WorldSkills 2022, Mario Liechti a remporté la médaille d'argent pour la Suisse – et, officieusement, pour le PSI. Les deux électroniciens ont appris leur métier au PSI, dans le domaine de la recherche sur les neutrons et les muons. Ces médailles d'or et d'argent montrent que l'institut attire une relève talentueuse et qu'il peut offrir à ces jeunes à la fois des tâches stimulantes et une excellente formation.

Les WorldSkills se déroulent dans 62 disciplines: de la peinture automobile à la technologie du Web, en passant par la fleuristerie et la cuisine, les jeunes se mesurent les uns aux autres par le biais de leur savoir-faire. Selon la discipline, les concurrents ne doivent pas avoir plus de 22 ou 25 ans. Les SwissSkills sont une organisation nationale qui encourage les jeunes professionnels et qui leur permet de participer à des championnats internationaux comme les WorldSkills.

Informations supplémentaires:
<http://psi.ch/de/node/53619>
<http://psi.ch/fr/node/54278>



D'autres perspectives

GALERIE

Au PSI, les chercheurs scrutent les profondeurs de la matière à l'aide de grandes installations de recherche qui sont uniques en leur genre. Souvent, les détails qu'ils révèlent, jusqu'à l'infiniment petit, n'ont plus grand-chose en commun avec ce que l'on peut découvrir à l'œil nu, sans instrument. Dans cette galerie, nous jouons sur cette opposition entre grand et petit, en vous faisant passer devant les façades de l'Institut Paul Scherrer.

Texte: Christian Heid



Brouillard galactique

Peut-être que le brouillard galactique revêt cette apparence. Peut-être... D'autres y voient une piste de ski blanche ou de la lave refroidie qui s'étend du bord inférieur droit de l'image au bord opposé, en passant par un schuss abrupt et une petite vague au milieu d'un paysage de montagne brunâtre, laiteux et vaporeux. Pour d'autres encore, il s'agit d'un détail sur une radiographie de tissus.

En réalité, cette photo montre une portion du portail d'entrée marbré du SwissFEL, le laser suisse à rayons X à électrons libres, que l'on aperçoit joliment mis en scène sur la petite photo. Cette grande installation de recherche est la plus récente du PSI. Elle produit de courtes impulsions de rayons X ayant les propriétés du laser. Le SwissFEL permet aux chercheurs de suivre par exemple des processus extrêmement rapides, tels que l'apparition de nouvelles molécules lors de réactions chimiques.



Croûte de pain

Cette délicieuse «croûte de pain», aux flocons d'avoine finement répartis, où la cuisson a creusé un labyrinthe de fissures sombres et inextricables, n'a en réalité rien de savoureux: cette photo montre le carton goudronné qui protège de la pluie, du vent et du soleil le bâtiment en forme d'ovni de la Source de Lumière Suisse SLS, sur le site ouest du PSI. Contrairement au côté ombragé de l'édifice, le rayonnement solaire a créé, sur ce côté, une apparence de peau brûlée et vieillie.

La lumière synchrotron de la SLS – une lumière de type rayons X particulièrement intense – permet par exemple de déchiffrer des structures de protéines ou encore de visualiser, sur des images en 3D, la distribution d'un élément dans un alliage. L'installation fera l'objet d'une mise à niveau jusqu'en 2025, au terme de laquelle la qualité des rayons X destinés à la recherche sera améliorée de 40 fois par rapport à sa valeur actuelle.

Surface lunaire

Ce cliché pourrait montrer la vue d'un module lunaire en approche ou un autre relief bleuâtre avec des cratères, appartenant peut-être à un corps céleste étrange. Il pourrait aussi bien permettre de visualiser clairement la limite entre le jour et la nuit.

Cette frontière apparente entre le diurne et le nocturne est en fait un subtil dégradé du bleu foncé vers le bleu clair dans le tout nouveau graffiti situé sur la façade du psi forum, le centre de visiteurs du PSI. L'exposition – nouvellement conçue et accessible au public – forme un portail vers l'univers de la science, où les visiteurs pourront se laisser fasciner par les objets présentés et découvrir les thématiques qui occupent les scientifiques du PSI.





Pitaya

Les fruits de certains cactus ont une surface rugueuse et résistante, comparable à la grille métallique qui entoure un climatiseur à l'arrière de l'auditorium. Mais, contrairement à la plante, cette façade n'est pas censée être repoussante: le bâtiment doit inviter à l'échange et au dialogue. L'auditorium est notamment le lieu où les chercheurs rencontrent des scientifiques d'autres institutions et communiquent sur leurs univers de recherche. Des manifestations internes et externes s'y déroulent également, lorsque des délégations internationales ou des politiciens du pays visitent par exemple l'institut.

Fossile

Cet objet pourrait être l'indice d'une vie préhistorique: le fossile d'un tronç d'arbre. Mais il ne s'agit pas d'une minéralisation, où les éléments organiques sont transformés en composés inorganiques. Ce sont en fait les cernes d'un arbre qui ont été transférés du bois de coffrage sur cette surface en béton.

Derrière ce mur se trouve un accélérateur linéaire, appelé «accélérateur Cockcroft-Walton», qui est à l'origine du faisceau de protons du PSI. Les protons sont utilisés, d'une part, pour la recherche fondamentale, l'analyse des matériaux et le traitement du cancer et, d'autre part, pour produire des neutrons, des muons et des pions qui seront utilisés comme des sondes pour scruter les matériaux et les processus.



Une cuisine généreuse mais raffinée

Son apprentissage à l'Oase, le restaurant du personnel du PSI, a fourni à Michaela Frank les bases d'une carrière où elle s'illustre comme l'une des plus jeunes cheffes de Suisse. Vice-championne olympique avec l'équipe nationale junior de cuisine, cette Argovienne a également disputé avec succès de nombreuses compétitions individuelles. Aujourd'hui, à 26 ans, elle est cheffe au Rank, un restaurant culturel zurichois.

Texte: Barbara Vonarburg

A 10 heures du matin, on fait le ménage au Rank. Avant que les préparatifs pour le repas de midi ne démarrent, Michaela Frank nous fait visiter ce restaurant de la vieille ville de Zurich, sis dans la Niederdorfstrasse. «Là où se dressent nos tables et la scène de concert, il y avait autrefois le Calypso, un club de strip-tease, raconte-t-elle. Et un comptoir de vente à emporter de saucisses au curry bien connues en ville.» Aujourd'hui, le local rénové, au look moderne, abrite un restaurant qui propose des plats raffinés à base de produits régionaux et qui vend des sandwiches grillés à emporter. «Une cuisine zurichoise contemporaine, attachée à ses racines mais ouverte sur le monde. Généreuse, passionnante et bienveillante»: telle est la devise du restaurant.

Michaela Frank écarte un rideau. Les clients ont ainsi une vue dégagée sur le lieu où la jeune cheffe et son équipe de cinq personnes accomplissent leur travail. Le rideau n'est tiré que lorsque les musiciens – issus de la scène jazz suisse – jouent, du jeudi au samedi soir, pour ne pas détourner l'attention du concert. Car le Rank est plus qu'un restaurant, c'est «un lieu de rencontre artistique et gastronomique. Une fusion entre bonne chère et concert.» Ce concept a immédiatement séduit Michaela Frank, qui est entrée en fonction comme cheffe de cuisine en octobre 2021. L'établissement venait d'ouvrir ses portes.

Le PSI: un coup de chance

Elle a grandi à Nussbaumen, dans le canton d'Argovie, et, encore élève, elle tentait sa chance dans plusieurs restaurants des environs, dans l'espoir de décrocher un apprentissage de cuisinière. Mais on lui conseillait sans cesse: «Va donc au PSI.» «Je ne sais vraiment pas pourquoi, mais j'y suis allée et j'ai obtenu ma place d'apprentie, se souvient-elle. Un coup de chance, car le restaurant du personnel du

PSI avait et a toujours une très bonne réputation.» Christian Wandres, aujourd'hui responsable des établissements gastronomiques PSI Oase, était à l'époque chef de cuisine et maître d'apprentissage de Michaela Frank. Franz Jonke, ancien responsable de l'établissement, et Doris Vögeli, aujourd'hui cheffe de cuisine au PSI, ont remporté plusieurs concours internationaux grâce à leur cuisine de haut niveau. «Doris Vögeli a été mon mentor, confie Michaela Frank. Et elle a rendu possibles bien des choses pour moi.»

Ses supérieurs ont identifié le talent de leur apprentie et l'ont assurée de leur soutien, si elle voulait, elle aussi, participer à des concours de cuisine. Et elle le voulait: «J'aime les défis, explique Michaela Frank. Ces concours me donnaient un objectif sur lequel travailler.» Après avoir terminé son apprentissage, elle a même obtenu une place dans l'équipe nationale junior de cuisine et remporté le titre de vice-championne olympique. «Enfant, à l'école, j'étais plutôt silencieuse et réservée, raconte-t-elle. Ce que l'on retenait de moi, c'étaient surtout mes racines asiatiques.» Mais elle l'a remarqué en cuisinant: «C'est ce que je veux faire.» En raison de ses succès aux compétitions, elle a été perçue sous un nouveau jour, ce qui lui a donné un élan supplémentaire.

Plus tard, elle a pu également utiliser les cuisines du PSI pour s'entraîner avant des concours. Et, aujourd'hui encore, il lui arrive de passer à l'Oase en tant que cliente. Elle se souvient avec plaisir de ses années d'apprentissage et raconte en souriant comment, dès la première année, elle préparait elle-même 100 kilos de spätzle: «Je faisais la pâte, puis j'allais à l'énorme marmite à bascule et à la gigantesque passoire à trous. Ensuite, je poussais les spätzle à travers la passoire avec la corne à pâte, ce qui revenait à faire un work-out, parce que je suis plutôt petite.»





«Mon apprentissage a été un coup de chance,
car le restaurant du personnel de PSI
avait et a toujours une très bonne réputation.»

Michaela Frank, cheffe de cuisine au Rank, un restaurant culturel zurichois

Le saut vers la cuisine gastronomique

Vu d'aujourd'hui, son travail au restaurant du personnel était un «boulot en or» avec des horaires réglés comme dans nulle autre cuisine. «C'était un cadre où j'étais bien entourée et où j'ai acquis des bases solides», estime Michaela Frank. La nourriture pour le personnel du PSI devait être bien assaisonnée, bien chaude, mais aussi bien présentée. «Tout ce qui n'était pas à la hauteur de nos standards élevés, on ne le servait pas», souligne-t-elle. Cela n'a pas empêché le saut d'être impressionnant, lorsqu'en 2015, juste après son apprentissage, elle a démarré comme cuisinière dans un restaurant cinq étoiles à Flims, puis travaillé au Park Hotel Vitznau, dont le chef n'était autre que Nenad Mlinarevic, tout juste élu cuisinier de l'année.

Puis le moment est venu où Michaela Frank a remis en question son engagement dans la cuisine gastronomique et l'équipe nationale junior de cuisine. «J'ai eu un coup de mou, avoue-t-elle. J'ai commencé à m'interroger sur moi-même. Ça ne m'était jamais arrivé auparavant et j'ai compris que je devais vivre aussi.» Elle a abandonné les concours et travaillé pendant un temps comme barista. «Le contact avec le café était sympa, mais ce travail ne correspondait pas à ce que je recherchais», dit-elle. Elle a alors décidé de partir pour la Chine, à la recherche de ses racines. Elle a obtenu un certificat de langue à Shanghai, mais n'a pas tardé à sentir à quel point la Chine lui était étrangère. Elle a alors continué son voyage à travers l'Asie, avant de s'en retourner en Suisse, où elle ne savait toujours pas de quoi son avenir serait fait. Jusqu'à ce que le goût de son ancien travail lui revienne.

«J'ai voulu retenter ma chance dans la cuisine gastronomique étoilée et j'ai postulé pour une bourse auprès de la Fondation Uccelin», poursuit Michaela Frank. Cette fondation a été créée par Andreas Caminada, célèbre chef suisse, afin d'encourager la relève dans le domaine de la gastronomie. Les boursiers peuvent travailler pendant vingt semaines dans différents établissements d'excellence, en Suisse et à l'étranger. Michela Frank a décroché cette bourse. En octobre 2019, elle a commencé chez Caminada, à Fürstenu, dans les Grisons. Ensuite, elle a fait ses classes dans deux boulangeries spéciales du canton de Lucerne, où elle a appris à cuire un pain particulièrement savoureux. Puis elle est allée chez un chocolatier en Belgique, où tout tournait autour de la fabrication de pralines.

Gaz lacrymogènes au Chili

Parmi les étapes suivantes, il y a eu le célèbre restaurant Stucki à Bâle, mais aussi différents restaurants à Istanbul et à Santiago du Chili. «Au Chili, rien ne s'est passé comme prévu», raconte Michaela

Frank. Le prix des tickets de métro avait brutalement augmenté, déclenchant une vague de manifestations en novembre 2019. «Le fossé entre les riches et les pauvres est énorme au Chili», explique-t-elle. Les protestations étaient compréhensibles mais effrayantes: «Je me suis souvent retrouvée au milieu d'une manif que je devais traverser pour rentrer chez moi.» Heureusement, il ne lui est jamais rien arrivé, hormis d'avoir les yeux et la peau irrités par les gaz lacrymogènes. Mais elle a aussi ramené du Chili le conseil «méga cool» d'un cuisinier qui lui avait fait remarquer que le sol de la cuisine n'était pas propre et qui l'avait réprimandé: «Je me fiche de ce qui est écrit sur ton CV. Si ton sol est sale, tu ne peux pas travailler chez moi.» Depuis lors, Michaela Frank est convaincue que le lieu de travail en dit plus sur une personne que ses qualifications.

La bourse s'est achevée, suivie du confinement lié au coronavirus au printemps 2020. Michaela Frank était déjà rentrée de l'étranger et elle a savouré cette pause après cette période mouvementée. «Pour beaucoup de gens, ç'a été une époque difficile, reconnaît-elle. En ce qui me concerne, j'étais contente de rester à la maison et de cuisiner tous les jours pour mes parents.» Mais elle n'a pas tardé à reprendre le travail dans un restaurant haut de gamme. Et elle a décidé de suivre une formation continue pour devenir cheffe de cuisine. «Ç'a été une expérience particulière de retourner à l'école, reconnaît-elle. En cuisine, le rythme est très soutenu, c'est intense, il faut maîtriser le métier et être rapide. J'ai dû retrouver ma capacité de concentration pour apprendre.» Elle a réussi son examen final et réalisé divers projets avec son propre service de traiteur, avant de choisir de diriger l'équipe de cuisine du Rank.

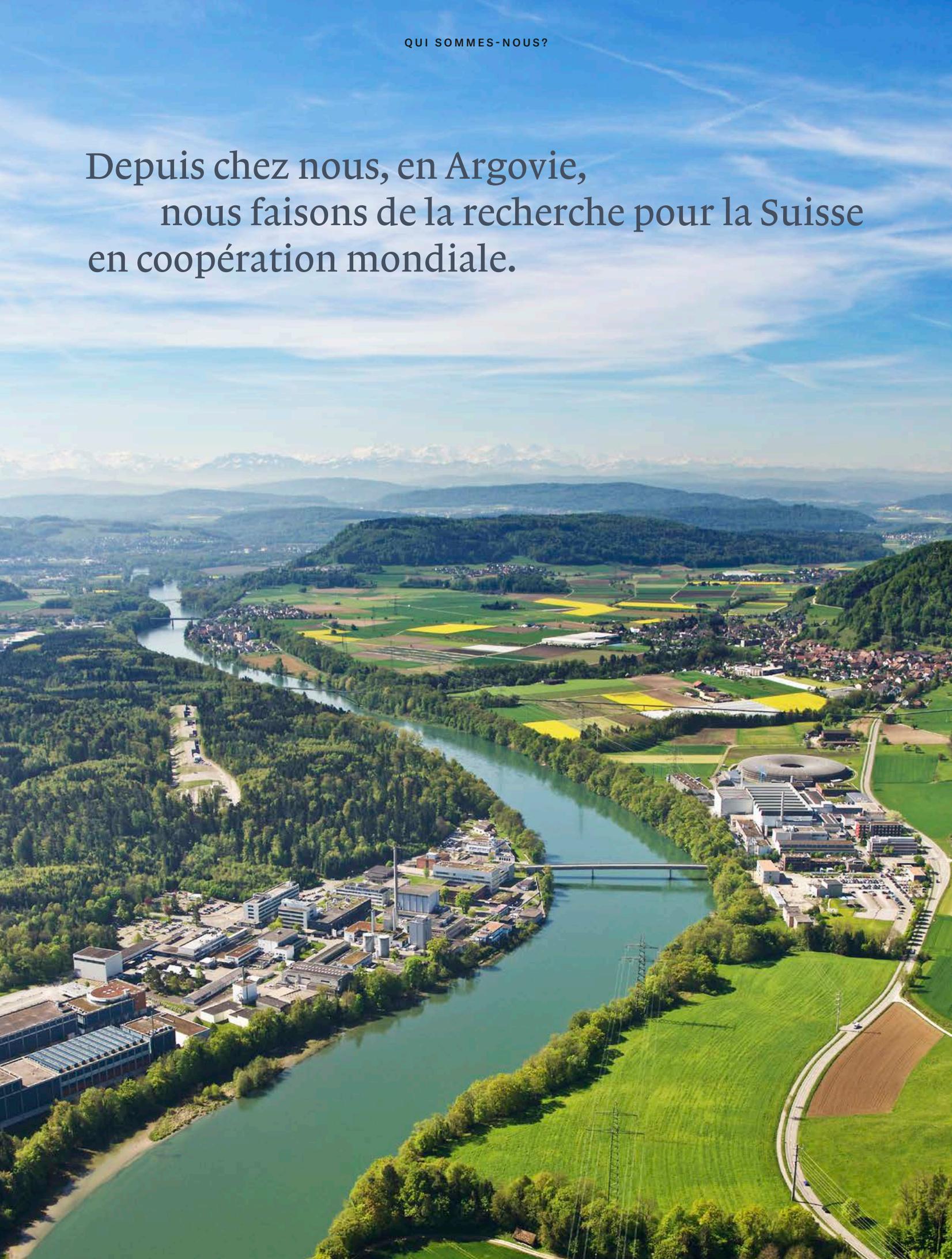
Beaucoup de légumes, peu de viande

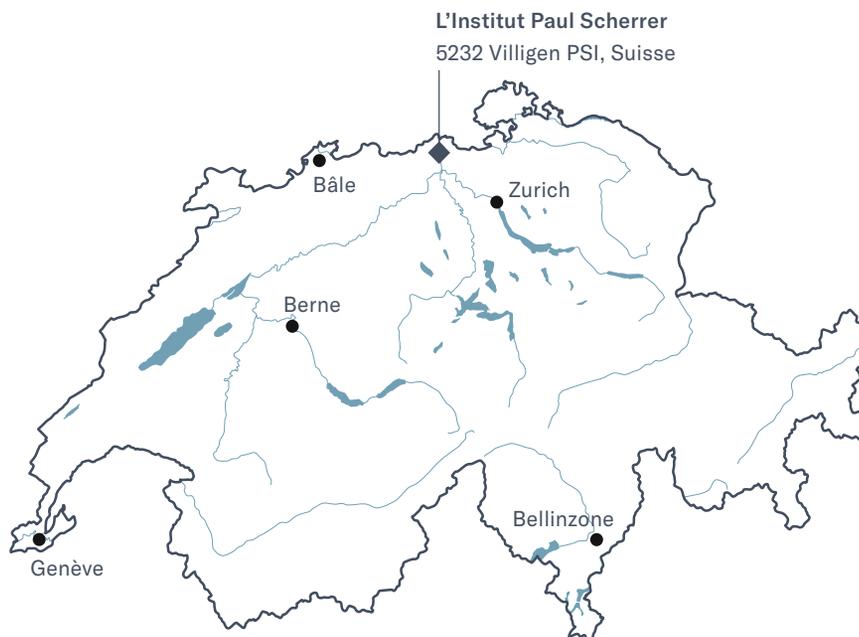
L'un de ses «plats de cœur» sur la carte est le *congee*, un gruau de riz chinois. «C'est la toile de fond pour tous les légumes qui nous parviennent tout frais de chez nos producteurs régionaux», souligne-t-elle. La durabilité compte à ses yeux. De ce fait, il y a souvent des quenelles au menu pour utiliser le pain restant des sandwiches grillés. En revanche, elle cuisine très peu de viande. «Les plats sont très axés sur les légumes, mais avec un certain raffinement, précise-t-elle. Ce n'est pas du "fine dining" du plus haut niveau, les gens doivent simplement manger quelque chose de bon, se sentir bien et revenir chaque semaine.»

Elle entend rester encore quelques années au Rank, dans le Niederdorf zurichois, et acquérir de l'expérience. «Un jour, le moment viendra pour moi de passer à autre chose, mais pour l'instant, il y a beaucoup à découvrir ici», dit-elle en riant. Et elle en est convaincue: «Quand l'heure sera venue, ce sera bon.» ♦

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

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 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 1/2023 (janvier 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, Dr Laura Hennemann,
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:
Pages 22–23, 38:
Institut Paul Scherrer/Markus Fischer;
Pages 35–37: Jürg Waldmeier.

Infographies

Studio HübnerBraun, sauf:
Pages 6–7: Daniela Leitner;
Page 25: Institut Paul Scherrer/
Mahir Dzambegovic;
Pages 26–27: Dinghua Yang;
Page 41: Alberto de la Torre,
Dante Kennes, Martin Claassen,
Simon Gerber, James McIver,
Michael Sentef.

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

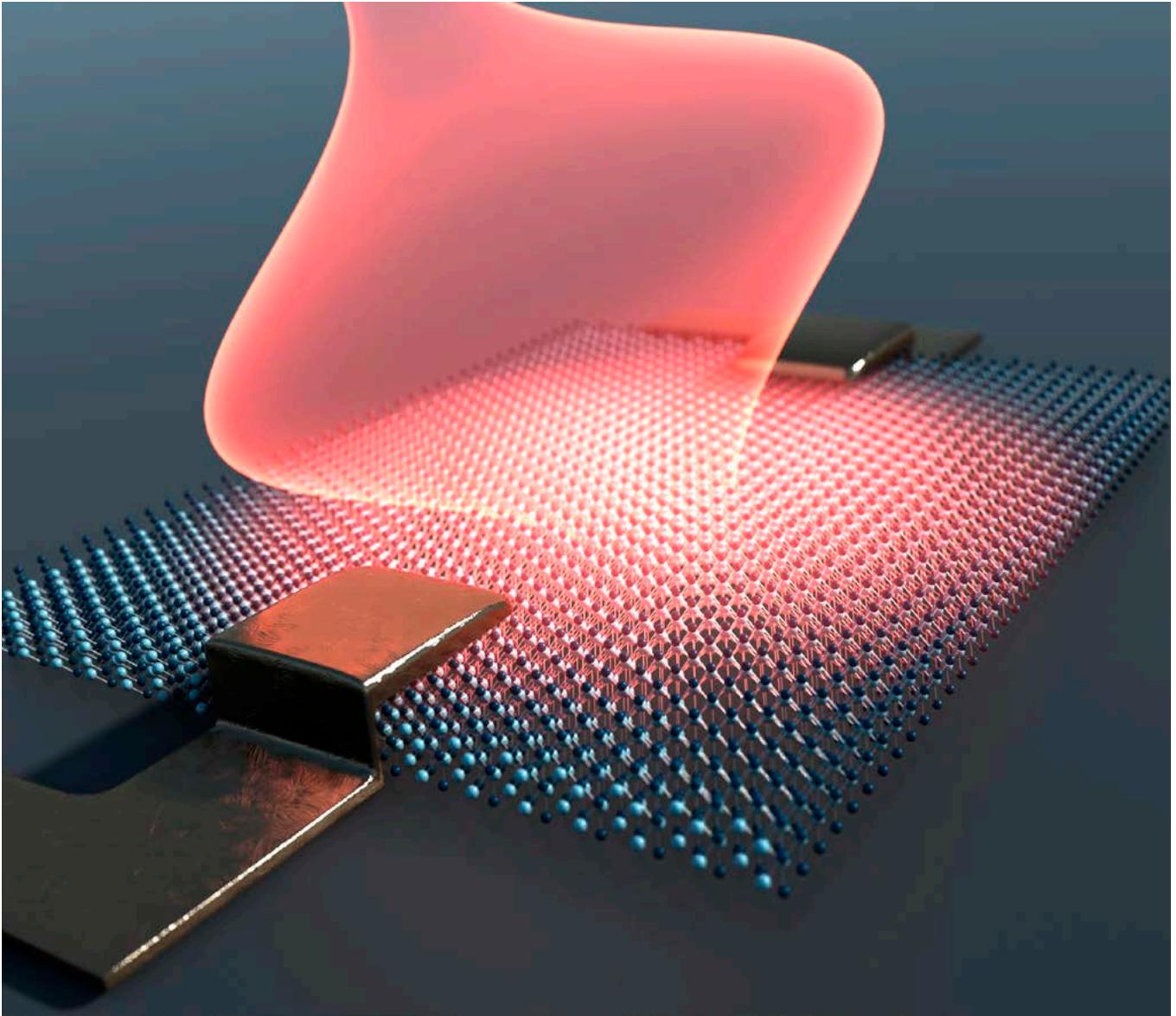
www.psi.ch/de/5232

www.psi.ch/en/5232

IMPRESSUM

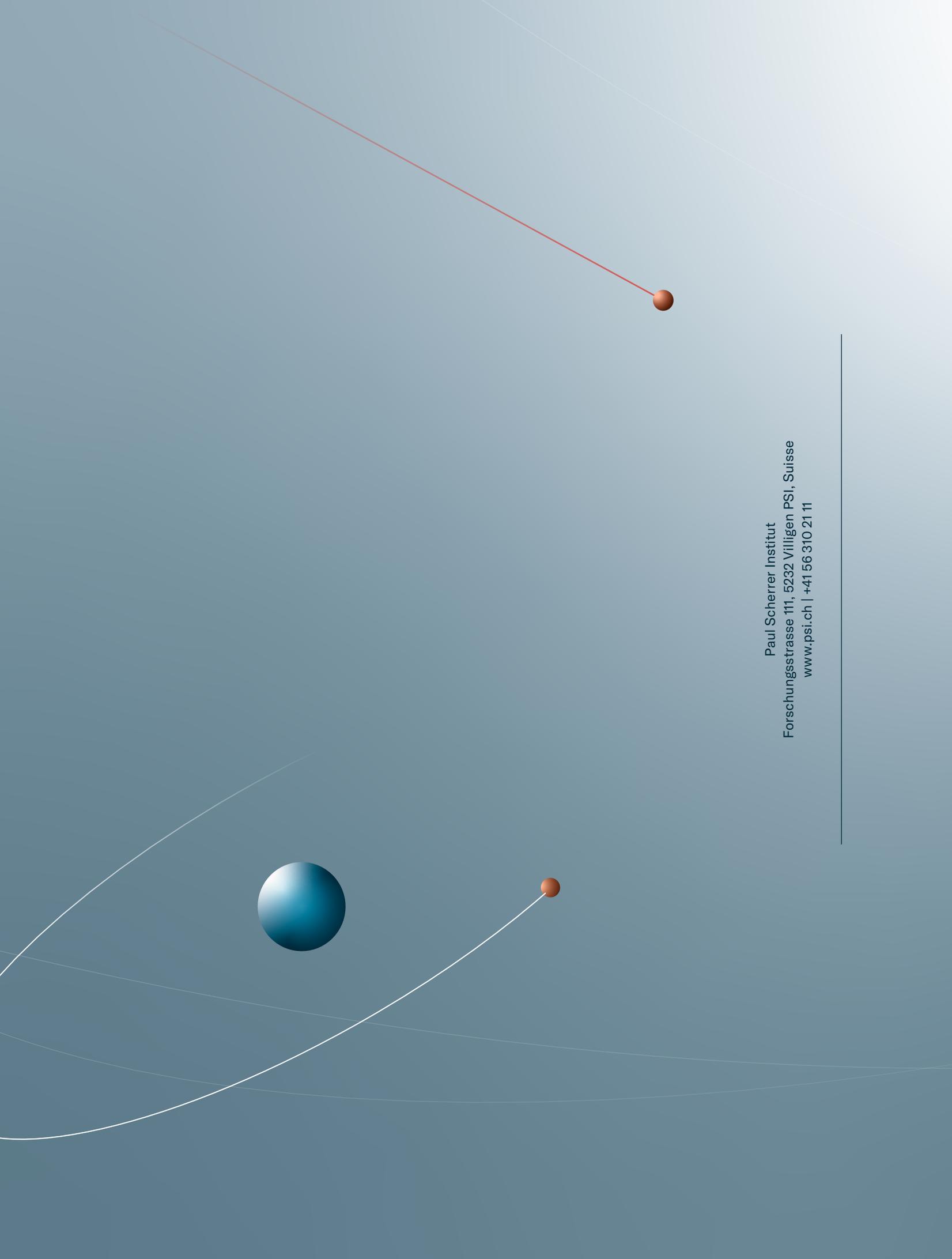
PAUL SCHERRER INSTITUT





Ce qui vous attend dans le prochain numéro

Depuis que les êtres humains ont appris à maîtriser le feu et à utiliser des bifaces, ils continuent d'améliorer les techniques et les technologies. Souvent, le progrès n'est possible que si l'on parvient à parfaire les matériaux impliqués. Avec, à la base, une connaissance précise de leurs propriétés. C'est pourquoi les chercheurs du PSI étudient le comportement des composants des matériaux, comment les recombinaison de manière neuve ou encore quels sont les procédés qui permettent d'en fabriquer de complètement nouveaux. Il en résulte par exemple des accumulateurs d'énergie plus performants, des matériaux innovants pour la construction de calculateurs quantiques et des méthodes de production plus efficaces.



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