

203205



DOSSIER

DE L'ÉNERGIE PROPRE ET SÛRE POUR L'AVENIR

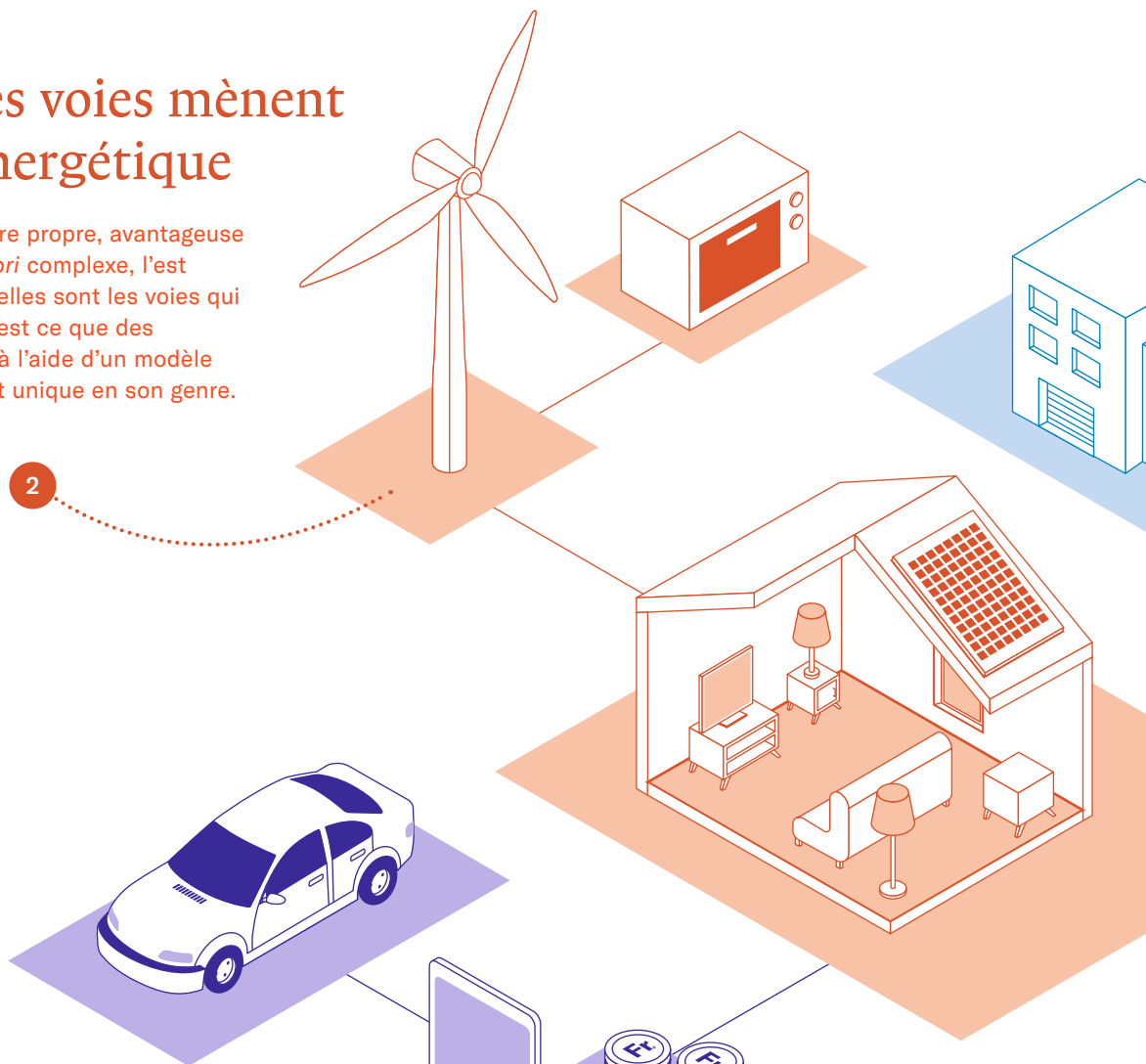
DOSSIER: DE L'ÉNERGIE PROPRE ET SÛRE POUR L'AVENIR

TOILE DE FOND

De nombreuses voies mènent vers l'avenir énergétique

La production d'énergie doit être propre, avantageuse et sûre. Cette entreprise, *a priori* complexe, l'est encore plus dans la réalité. Quelles sont les voies qui pourraient nous y conduire? C'est ce que des chercheurs du PSI ont calculé à l'aide d'un modèle informatique dont l'ampleur est unique en son genre.

Page 12



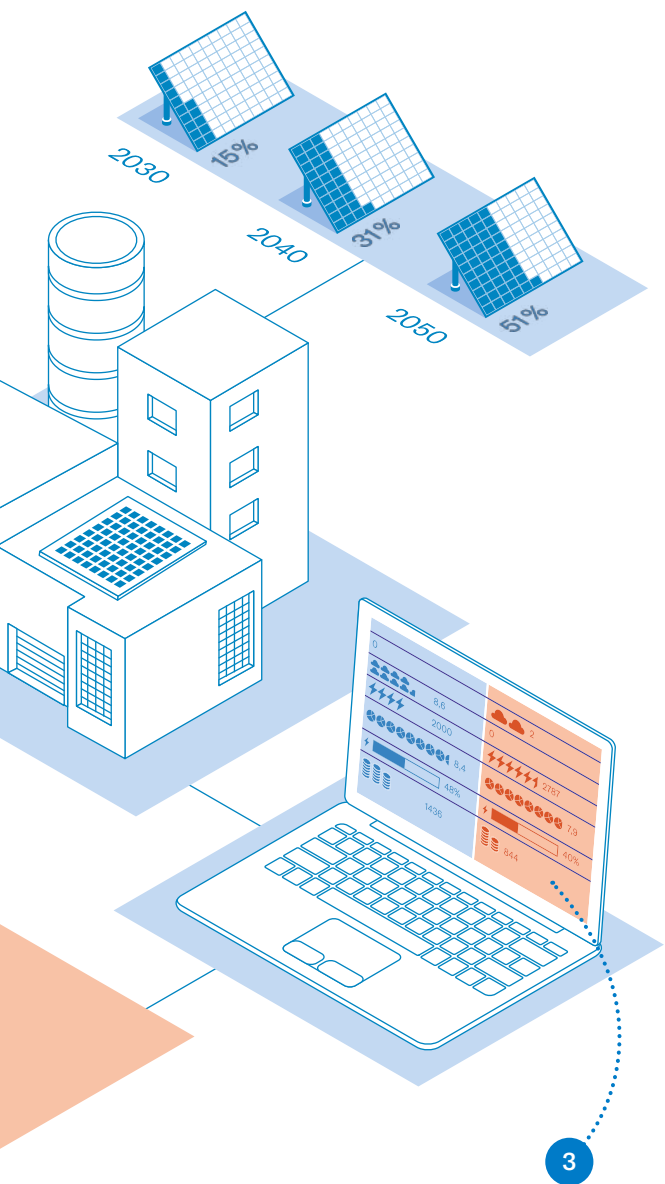
INTERVIEW

«Objectiver le débat serait extrêmement utile»

Thomas J. Schmidt, expert en énergies renouvelables, et Andreas Pautz, chercheur en énergie nucléaire, expliquent quelles sont les tâches à accomplir scientifiquement dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050.

Page 10





INFOGRAPHIE

Scénarios énergétiques

Les scénarios esquissés par les chercheurs du PSI peuvent élargir le regard sur les évolutions possibles des systèmes énergétiques.

Page 18

INHALT

EDITORIAL	4
QUOTIDIEN	
Ecrire et plus encore	6
RECHERCHE	
Objectif et source	7
 DOSSIER: DE L'ÉNERGIE PROPRE ET SÛRE POUR L'AVENIR	8
 INTERVIEW «Objectiver le débat serait extrêmement utile»	10
 TOILE DE FOND De nombreuses voies mènent vers l'avenir énergétique	12
 INFOGRAPHIE Scénarios énergétiques	18
 Recherche énergétique au PSI	20
EN IMAGE	
Détruire les cellules cancéreuses	21
EN SUISSE	
Réacteurs à fusion, piles à combustible et boîtes de conserve	22
Le centre de transfert de technologie ANAXAM propose une pluralité de méthodes d'analyse ultramodernes qui peuvent être conduites aux grandes installations de recherche du PSI.	
EN BREF	
Actualité de la recherche au PSI	26
<ol style="list-style-type: none"> 1 Une carte de la pollution due aux aérosols en Europe 2 En visite chez les chercheurs 3 Trouver des principes actifs contre le cancer 4 Aperçu de l'avenir magnétique 	
GALERIE	
Musique au PSI	28
Quand des musiciens couvrent le bruit de fond technique du PSI.	
PORTRAIT	
Le meilleur des deux mondes	34
La carrière d'Annalisa Manera l'a amenée à traverser la moitié de l'Europe et à voyager aux Etats-Unis. Aujourd'hui, elle est chercheuse en physique nucléaire au PSI et professeure à l'ETH Zurich.	
QUI SOMMES-NOUS?	38
IMPRESSUM	40
DANS LE PROCHAIN NUMÉRO	41

Nous avons besoin de chacun

Nous sommes face à d'importants défis. Avec la Stratégie énergétique 2050, la Suisse s'est fixé l'objectif ambitieux de travailler et de vivre sans plus émettre de gaz à effet de serre. Un objectif qui, au vu des événements actuels en Ukraine, est devenu plus urgent et plus difficile que jamais, puisque nous devons immédiatement réduire notre dépendance aux sources d'énergie fossiles et à leurs fournisseurs, tout en préservant localement la sécurité de l'approvisionnement.

Et une chose est claire: sans les nouveaux procédés, les nouvelles technologies et les nouveaux matériaux, nous ne réussirons pas à accomplir le tournant énergétique. C'est pourquoi les chercheurs du PSI s'engagent dans leurs domaines de spécialité respectifs pour contribuer à ouvrir de nouvelles voies. Nous étudions et nous créons de nouveaux matériaux et de nouvelles méthodes pour optimiser le stockage ou la conversion d'énergie. Comme au réacteur GanyMeth, derrière moi, qui forme une partie de notre plate-forme d'intégration des systèmes énergétiques ESI. Avec lui, nous étudions comment produire le plus efficacement du méthane, c'est-à-dire du gaz naturel artificiel, à partir d'hydrogène et de dioxyde de carbone. La plate-forme ESI n'est qu'un exemple de la manière dont nous développons des prototypes techniques destinés à être utilisés à large échelle, par la suite, dans l'industrie et l'économie. Ce faisant, nous trouvons souvent, en collaboration avec des entreprises, des solutions issues de la recherche fondamentale à des questions complexes. A l'aide de modèles informatiques onéreux et extrêmement sophistiqués, nous essayons de sonder en profondeur l'évolution future des systèmes énergétiques et celle de leurs coûts.

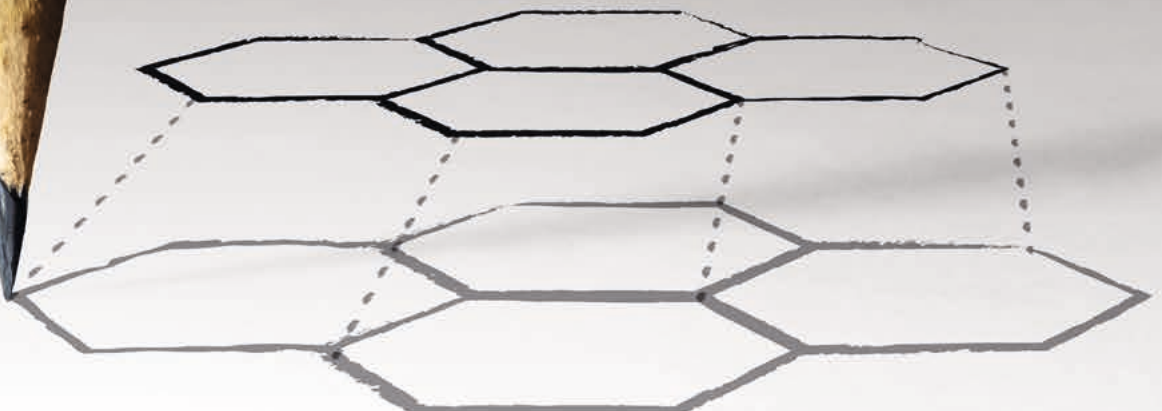
Comme la plupart du temps, les déclarations concernant les développements à venir sont entachées d'incertitudes. Et, suivant les différents scénarios que nous vous présentons dans cette édition de 5232, différentes voies se dessinent... Néanmoins, elles esquissent, dans une certaine marge de fluctuation, les progrès possibles. Nombre de nos résultats doivent également servir de base et d'orientation pour les décisions politiques, dans un contexte où les conditions-cadres géopolitiques se modifient fortement, par exemple en rapport avec les importations d'énergie. Par ces efforts et bien d'autres encore, nous tenons à contribuer aux objectifs de la Stratégie énergétique 2050 et à atteindre une plus grande indépendance et une meilleure sécurité d'approvisionnement. En dépit de tous les succès de la recherche, une chose est également claire: nous aurons besoin de toutes les composantes de la société, de la politique et de l'économie pour réaliser les changements nécessaires.

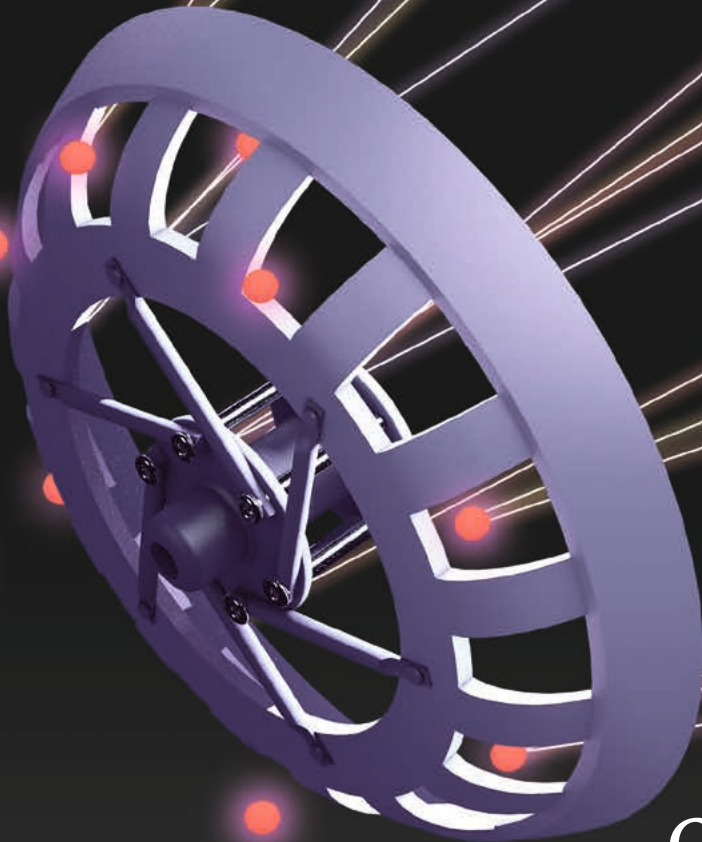


Le directeur du PSI, Christian Rüegg

Ecrire et plus encore

Qui n'en a jamais eu un en main? Malgré l'avènement du numérique, le crayon n'a pas disparu de notre quotidien. Il se peut que cela tienne à ses propriétés extraordinaires, car, grâce à lui, non seulement l'on écrit et l'on dessine bien, mais les lignes tracées s'effacent facilement à la gomme. Cette particularité, le crayon la doit à sa mine, qui est aujourd'hui en graphite, un matériau très spécial. C'est du carbone pur, l'élément qui forme aussi les diamants ou la structure centrale des hydrates de carbone, des protéines et des graisses dont notre corps est composé pour l'essentiel. A elle seule, cette liste suffit à donner une idée de la polyvalence du carbone. Dans le graphite, les atomes s'ordonnent en couches qui ne sont pas fixées les unes aux autres. Elles se laissent abraser et restent ensuite collées sur le papier. Si le graphite abrasé peut être de nouveau retiré, c'est parce qu'il adhère davantage au caoutchouc de la gomme qu'au papier. Jusqu'au XIX^e siècle, on utilisait des mines de plomb pour les crayons.



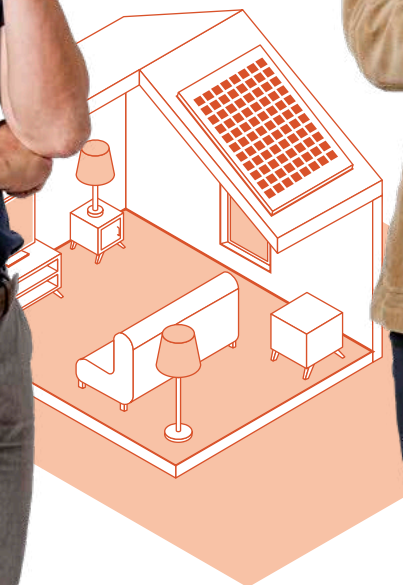


Objectif et source

Au PSI, le graphite trouve une utilisation tout à fait particulière. On s'en est servi pour fabriquer, entre autres, deux cibles dont la forme évoque un peu celle d'engoliveurs. Celles-ci sont bombardées de protons issus de l'accélérateur HIPA, qui les percent à environ 79 % de la vitesse de la lumière. Et, ce faisant, deviennent à leur tour une source de particules élémentaires. La première cible est appelée «M» pour «mince», car elle affiche une épaisseur de 5 millimètres seulement. Les protons rapides produisent des pions lorsqu'ils percent en salves les noyaux de carbone du graphite et ces pions se désintègrent peu après en muons. Ensuite, le faisceau de protons percute l'autre cible de carbone appelée «E» pour «épaisse», car elle présente une épaisseur de 40 millimètres. Bien davantage de pions, et donc aussi de muons, y sont créés. A l'aide de pions et de muons, les chercheurs mènent des expériences et des analyses sur la physique des particules ou explorent les propriétés de matériaux. C'est ainsi qu'au PSI on a pu mesurer le rayon du proton et celui d'un atome d'hélium avec une précision inédite jusque-là. Ces résultats permettent, entre autres, de tester de nouveaux modèles théoriques de la structure de noyaux atomiques pour mieux les comprendre. Les muons sont également utiles pour étudier de nouveaux matériaux pour batteries ou décrypter la composition de pièces archéologiques.

Tom Kober, responsable du
groupe Economie énergétique

Russell McKenna, responsable
du Laboratoire d'analyse
des systèmes énergétiques



1

INTERVIEW
«Objectiver le débat serait
extrêmement utile»

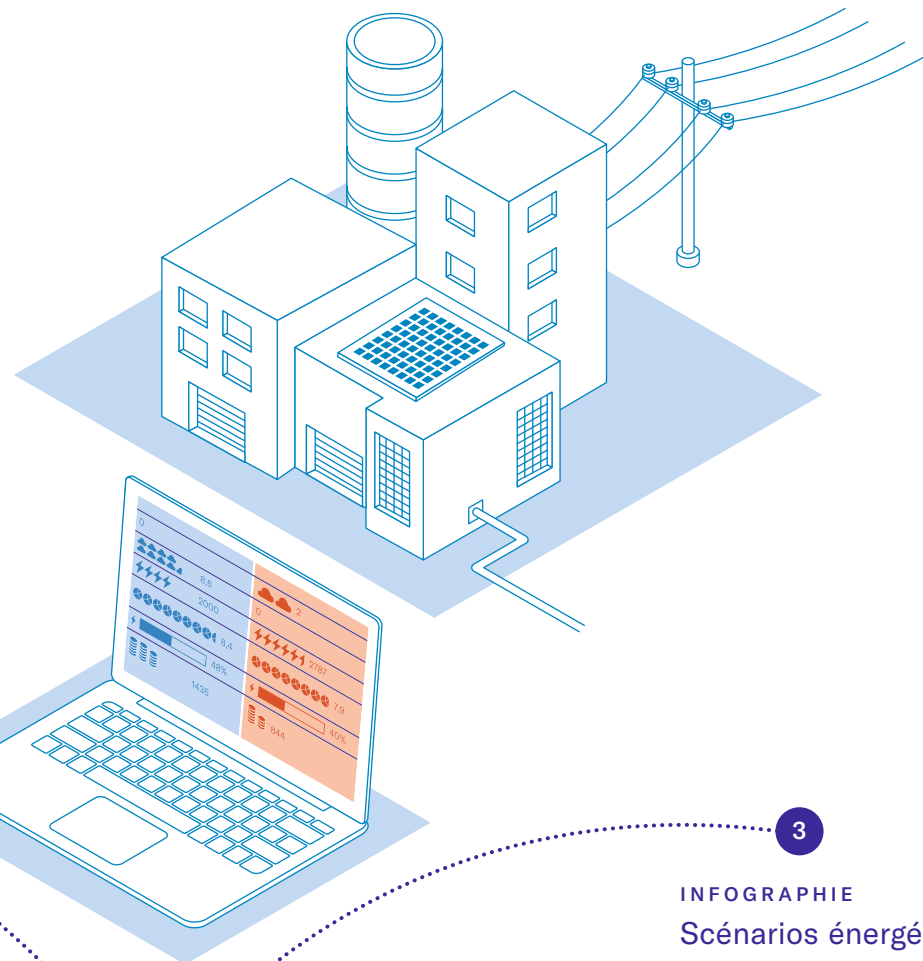
Page 10

De l'énergie propre et sûre pour l'avenir

DOSSIER

La Suisse est face à d'importants défis. Au vu des développements géopolitiques actuels et d'autres crises, comme la pandémie de coronavirus Sars-CoV-2, les conditions nécessaires pour atteindre les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 semblent remises en cause. Les chercheurs du PSI s'efforcent, au moyen de calculs complexes, d'élargir le regard sur de possibles voies de développement.

Evangelos Panos, chercheur
au groupe Economie énergétique



3

INFOGRAPHIE
Scénarios énergétiques

Page 18

2

TOILE DE FOND

De nombreuses voies mènent
vers l'avenir énergétique

Page 12





Thomas Justus Schmidt, chef de la division de recherche Énergie et environnement au PSI (à gauche), et le chercheur en énergie nucléaire Andreas Pautz, chef de la division de recherche Énergie nucléaire et sûreté.

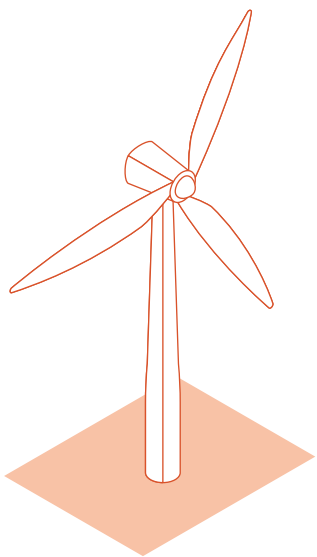


«Objectiver le débat serait extrêmement utile»

Le débat sur l'énergie a besoin de plus de faits et de moins d'intuition – c'est ce que plaident Thomas J. Schmidt, chef de la division de recherche Énergie et environnement, et Andreas Pautz, chef de la division de recherche Énergie nucléaire et sûreté. Dans cet entretien, ils expliquent quelles sont les tâches que la recherche scientifique doit accomplir dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050 et pourquoi les experts en énergie nucléaire et les spécialistes des énergies renouvelables devraient collaborer étroitement.



Interview: Brigitte Osterath



Thomas J. Schmidt, vous dirigez au PSI la division de recherche Énergie et environnement, et vous, Andreas Pautz, vous êtes à la tête de la division de recherche Énergie nucléaire et sûreté. En quoi vos recherches diffèrent-elles et quels sont leurs points communs?

Thomas J. Schmidt: La division de recherche Énergie et environnement étudie la production d'énergie issue de sources renouvelables, sa conversion, son stockage, ainsi que les questions des conséquences sur l'environnement et l'atmosphère de l'utilisation de l'énergie par l'être humain. Mais nous ne nous occupons pas de l'énergie nucléaire.

Andreas Pautz: C'est notre domaine de spécialité. Le point commun de nos deux divisions de recherche réside dans le fait que nous travaillons dans le contexte de la Stratégie énergétique 2050 de la Suisse. Nous avons, dans les deux domaines, des tâches importantes à accomplir lors de cette phase de transition: la division Énergie et environnement du côté des énergies renouvelables et nous sur la question de l'exploitation sûre des centrales nucléaires en Suisse jusqu'en 2040 – voire peut-

être bien au-delà – et enfin celle de la gestion des déchets radioactifs. Nous y contribuons avec un maximum de sécurité et de manière à laisser le moins de résidus toxiques à la postérité.

Est-ce que cela signifie que vous ne vous considérez pas comme des adversaires qui représentent des sources d'énergie différentes?

Thomas J. Schmidt: Non. Nous collaborons étroitement et, ce faisant, nous devons garder à l'esprit les délais dans lesquels une technologie est potentiellement remplacée par une autre.

Andreas Pautz: C'est juste. Ce dont il est question, c'est d'une synergie optimale, dont le but est d'éviter autant que possible de polluer l'environnement, mais aussi de réduire les coûts. Nous envisageons cela d'un point de vue scientifique; nous ne menons pas une discussion politique. Lorsque la décision a été prise de ne pas limiter la durée d'exploitation des centrales nucléaires existantes, celles-ci sont devenues partie intégrante de la Stratégie énergétique. Il n'y a d'ailleurs, en Suisse, au-

cun autre site que le PSI où l'on mène autant de recherche sur l'énergie, c'est-à-dire avec autant de collaborateurs dans un environnement aussi rapproché.

Travaillez-vous aussi sur des projets communs?

Andreas Pautz: Certainement, par exemple sur le projet SURE. Nous y étudions comment mettre en place un approvisionnement énergétique sûr et résilient pour la Suisse au cours des prochaines années. Cela implique beaucoup plus d'aspects que la seule réduction du CO₂: par exemple la sécurité d'approvisionnement, la stabilité du réseau, la défense contre des menaces externes et internes. Par ailleurs, nous collaborons au zéro net, c'est-à-dire au développement de technologies et de modélisations pour une société qui, au total, n'émet plus de gaz à effet de serre. Dans ce contexte, nous dirigerons et coordonnerons dès l'automne 2022 un centre de compétence du domaine des EPF.

Thomas J. Schmidt: Nous menons cette recherche dans un laboratoire commun, au PSI, le Laboratoire d'analyse des systèmes énergétiques, qui est spécialisé dans ces approches holistiques du système énergétique. Transports, industrie, ménages, production d'électricité: tout y est pris en compte. Il existe en outre toute une série de domaines thématiques dans lesquels des synergies peuvent être créées. Par exemple, certains aspects des matériaux, la formation et la propagation des aérosols, les processus d'écoulement dans les milieux poreux, les méthodes d'élimination et de recyclage, et bien d'autres encore.

Les débats sur le tournant énergétique et sur la manière dont nous voulons le réaliser ont-ils besoin de plus d'objectivité scientifique?

Andreas Pautz: Objectiver le débat sur l'énergie serait extrêmement utile. Il faudrait juste peser les choses de manière intelligente, en se fondant sur les nouveaux faits dont nous disposons: les conséquences de plus en plus visibles du changement climatique et la vitesse insuffisante à laquelle les énergies renouvelables et les technologies de stockage se développent. Le conflit armé en Ukraine, qui nous rappelle notre dépendance vis-à-vis des énergies fossiles, a placé la question de la sécurité d'approvisionnement au centre de l'attention. Au vu de ces nouvelles réalités, je plaide pour un débat ouvert sur les technologies, d'où aucune forme d'énergie ne devrait être exclue, pas même l'énergie nucléaire. Il faut réussir à élaborer un processus de pensée basé sur l'évaluation.

Thomas J. Schmidt: Cela montre aussi l'importance de l'approche holistique, qui est la nôtre au PSI, pour comprendre le système énergétique dans son ensemble. Dans le monde, les endroits où l'on applique cette démarche ne sont pas nombreux.

Avez-vous des difficultés à trouver de la relève dans votre domaine?

Thomas J. Schmidt: Non. Le fait que nous soyons très bien positionnés au niveau international nous aide. Les gens qui travaillent à la division de recherche Energie et environnement sont originaires de quelque 45 nations.

Andreas Pautz: Je peux également le confirmer pour ma division de recherche; nous jouissons d'une excellente réputation à l'international et, de ce fait, la demande est suffisante. Conjointement avec l'EPFL et l'ETH Zurich, nous proposons par exemple le programme de master en Génie nucléaire. Chaque année, quinze nouveaux étudiants en moyenne l'entament et la tendance est à la hausse. Cette année, nous en avons même 25. Un fait nous réjouit beaucoup: ces trois dernières années, il y a eu davantage de Suissesses et de Suisses qui ont opté pour une formation dans le secteur nucléaire. Cela montre que, sur le plan international, l'énergie nucléaire n'est pas un modèle en voie de disparition et que ce sujet touche aussi les jeunes en Suisse.

Est-ce qu'on vous fait souvent ce reproche: «La Suisse veut abandonner l'énergie nucléaire, alors pourquoi le PSI mène-t-il encore de la recherche dans ce domaine?»

Andreas Pautz: Pratiquement pas. Personne ne conteste la nécessité de disposer d'experts pour les 25 prochaines années au moins, ne serait-ce que pour la problématique de la gestion des déchets. Sur le plan politique, aujourd'hui, plus personne pratiquement ne remet en question la nécessité de maintenir des compétences nucléaires en Suisse. En termes de technologie nucléaire, la Suisse doit pouvoir continuer à avoir son mot à dire et à disposer d'un savoir-faire approfondi. Mais cela ne sera possible que si l'on continue à mener de la recherche sur des questions importantes de sécurité nucléaire et sur les aspects de durabilité de cette forme d'énergie.

Qu'est-ce qui a changé dans vos divisions de recherche respectives au cours des dernières années et qu'espérez-vous pour l'avenir?

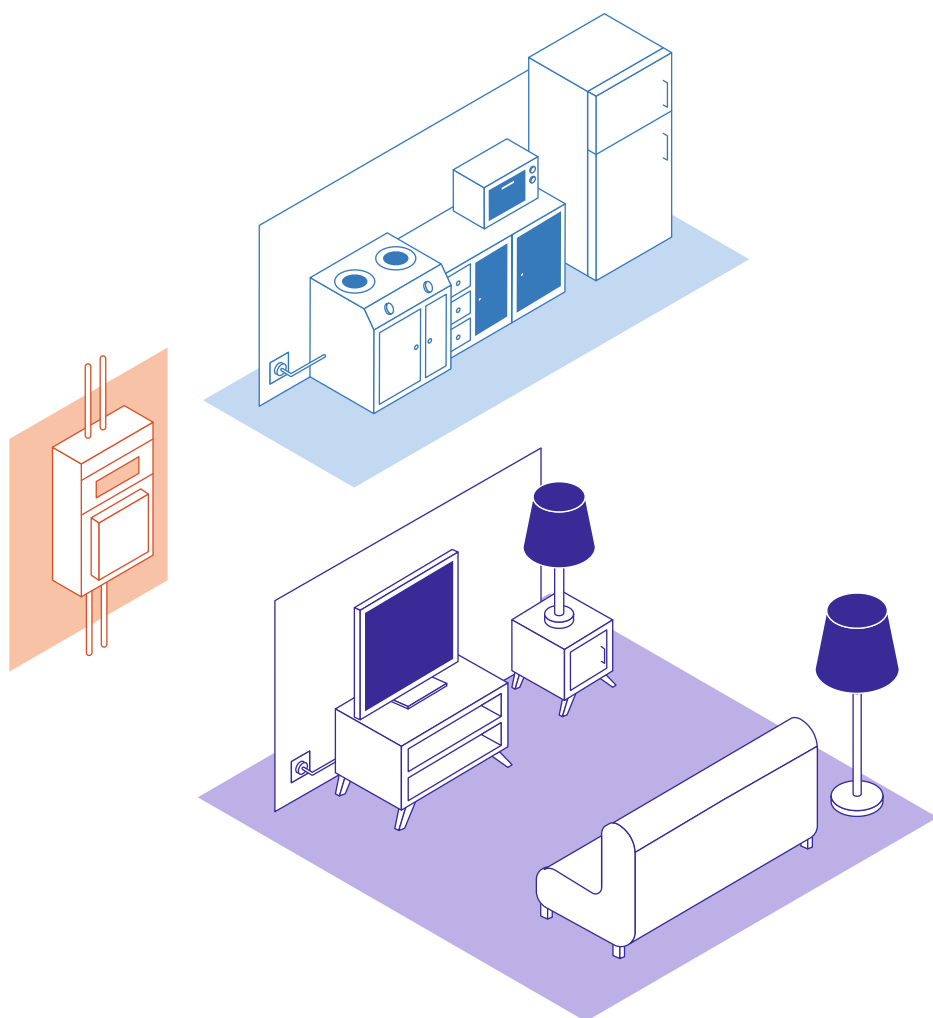
Thomas J. Schmidt: Nous avons notamment réduit nos activités dans le domaine de la recherche sur la combustion. Certes, c'est un sujet important, mais il ne s'inscrit plus dans une perspective d'avenir. En contrepartie, nous avons intégré d'autres thématiques comme la production d'hydrogène. La question de l'impact de la consommation d'énergie sur notre environnement a gagné en importance, elle aussi. Lorsqu'il s'agit par exemple de connaître l'influence des aérosols sur l'atmosphère et la santé humaine.

Andreas Pautz: Chez nous, l'exploitation à long terme des centrales nucléaires est à l'agenda, de même que les dépôts en couches géologiques profondes et le démantèlement des centrales. Depuis qu'il est clair que la Suisse va abandonner l'énergie nucléaire, nous avons stoppé les activités qui auraient été nécessaires pour la construction de nouvelles centrales, comme le développement de nouveaux combustibles. Désormais, nous observons seulement à la marge les analyses de nouveaux systèmes de sécurité. Ce que j'aimerais faire avancer à l'avenir, c'est une internationalisation accrue des coopérations de l'industrie et de la recherche. Nous voulons continuer à tirer parti du rayonnement international dont jouit le PSI dans le domaine de la recherche sur l'énergie nucléaire. ◆

De nombreuses voies mènent vers l'avenir énergétique

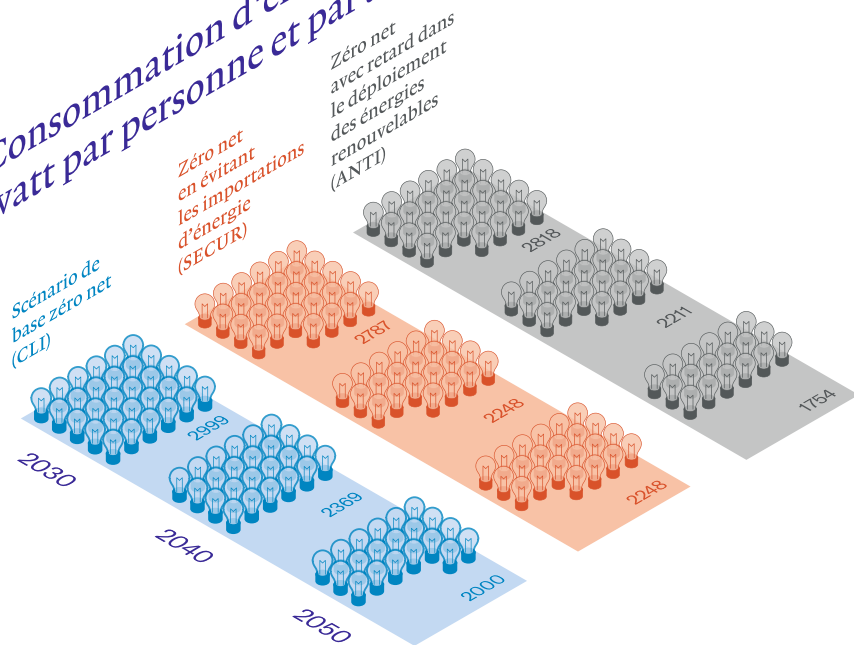
L'objectif est clair: zéro émission de gaz à effet de serre d'ici 2050. Mais comment la Suisse peut-elle réussir la transition énergétique à moindre coût, tout en garantissant l'approvisionnement énergétique? Les chercheurs du PSI fournissent des réponses à l'aide d'un modèle informatique dont l'ampleur est unique en son genre.

Texte: Bernd Müller



Avec son équipe, Evangelos Panos développe des modèles informatiques qui simulent comment les systèmes énergétiques pourraient évoluer dans le futur. Cela permet de tirer diverses conclusions: par exemple, une baisse attendue de la consommation énergétique par tête (voir graphique en haut à droite).

Consommation d'énergie primaire watt par personne et par an



Lorsque Tom Kober évoque son travail, il met d'emblée les choses au point: «Nous ne prédisons pas l'avenir.» Cela peut déconcerter de prime abord. Après tout, son domaine de spécialité se nomme *foresight*, ce qui signifie «anticipation». Donc, même si Tom Kober se projette dans l'avenir, il ne le prédit pas. «Nous prévoyons des scénarios d'après le principe du "Qu'arriverait-il si?", explique le chercheur. Mais chaque modèle de calcul n'est jamais qu'une abstraction de la réalité, ce qui signifie que certains aspects en restent ignorés.» Aucun de ces scénarios n'est voué à se produire tel quel, souligne-t-il. Néanmoins, pour les responsables politiques et économiques, ils constituent de très précieuses aides à la décision. «Les différents scénarios montrent les options d'action possibles et leurs conséquences, ce qui est particulièrement intéressant lorsqu'on les compare.»

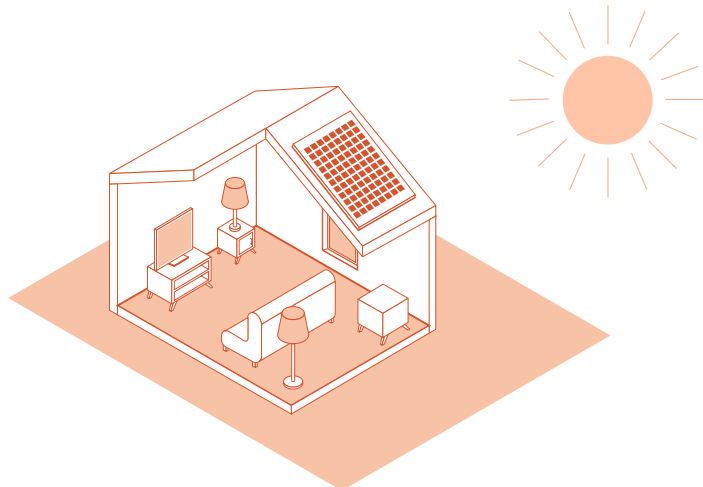
Tom Kober se penche, depuis plus de quinze ans, sur les systèmes énergétiques, les émissions de CO₂ et les questions pressantes liées au changement climatique. Depuis 2016, ce scientifique de 45 ans dirige le groupe de travail Economie énergétique au Laboratoire d'analyse des systèmes énergétiques (LEA) du PSI. «Pour ce genre de recherche interdisciplinaire, le PSI est l'endroit idéal», confirme Russell McKenna, responsable de ce laboratoire. Le LEA complète de manière optimale les axes de recherche des deux divisions de recherche du PSI: Energie nucléaire et sûreté et Energie et environnement. «Nous épaulons notamment nos collègues qui développent des électrolyseurs ou des piles à combustible avec des analyses de marché, explique Russell McKenna. A l'inverse, nous profi-

tons des données et de l'expertise de nos confrères qui mettent au point de nouvelles technologies.»

Cette compétence est aussi connue d'Innosuisse, l'Agence suisse pour l'encouragement de l'innovation, selon laquelle il existe en Suisse beaucoup de bonne recherche *foresight* sur les systèmes énergétiques, mais celle-ci reste peu coordonnée. En 2017, le promoteur du projet a donc lancé un programme de coopération commun, baptisé Joint Activity Scenarios and Modelling (JASM) ou «scénarios et modèles», qui devait calculer, pour la Suisse, les voies de développement vers une société neutre sur le plan climatique, dont la politique et l'économie pourraient s'inspirer. Huit centres suisses de compétence pour la recherche énergétique (SCCER) y ont participé. Hormis le PSI figuraient d'autres institutions du Domaine des EPF, comme l'Empa, l'EPFL, le WSL et l'ETH Zurich, mais aussi la Haute École de Lucerne ainsi que les Universités de Bâle et de Genève. Chacune de ces institutions de recherche possède des atouts particuliers et se concentre sur des questions spécifiques.

L'équipe de modélisation du Laboratoire d'analyse des systèmes énergétiques au PSI est connue, aux niveaux national et international, pour avoir mis au point le modèle du système énergétique suisse STEM (Swiss Times Energy System Model). Kannan Ramachandran et Evangelos Panos y ont joué un rôle déterminant. «C'est le seul modèle qui soit capable de représenter des voies d'évolution pour l'ensemble du système énergétique suisse, avec un haut niveau technique de détail et une très bonne résolution dans le temps», explique Evangelos Panos, chercheur au sein du groupe Economie énergétique. D'autres scientifiques utilisateurs des modèles énergétiques considèrent souvent uniquement une année donnée dans le futur, mais pas l'évolution dans le temps sur plusieurs décennies. Dans le cadre du projet conjoint JASM d'Innosuisse, les chercheurs du PSI ont étudié trois scénarios zéro net en les comparant à un scénario de référence, où les émissions de CO₂ d'ici 2050 ne seraient réduites que de 40% par rapport à 1990 (voir l'infographie à la page 18): un scénario zéro net de réduction des émissions de CO₂ (CLI); une variante incluant une réduction au minimum des importations d'énergie (SECUR) et une variante avec un potentiel de déploiement modéré des nouvelles énergies renouvelables (ANTI).

L'an dernier, l'équipe emmenée par Tom Kober a présenté les résultats de ses modèles. La mauvaise nouvelle d'abord: pour atteindre l'objectif zéro net d'ici 2050, il faudra consentir des efforts considérables. Et pour que ce soit aussi rentable que possible, la puissance photovoltaïque installée devra doubler tous les dix ans et les trois quarts des immeubles d'habitation devront être chauffés par



Tous les scénarios postulent un important déploiement du photovoltaïque pour atteindre les objectifs de réduction maximale des émissions de CO₂. Suivant le scénario retenu, cela peut dépasser 90% des 50 térawattheures possibles (voir graphique en bas à droite).

«Le PSI est l'endroit idéal pour cette recherche interdisciplinaire.»

Russell McKenna, responsable du Laboratoire d'analyse des systèmes énergétiques

des pompes à chaleur. Cela permettrait de réduire de moitié la consommation d'énergie par tête par rapport à aujourd'hui. La Suisse deviendrait ainsi une société 2000 watts, ce qui signifie que la consommation annuelle d'énergie primaire par tête correspond à une puissance moyenne de 2000 watts par personne. Aujourd'hui, elle est tout juste de 4000 watts par personne. En cas de déploiement lent des énergies renouvelables, le besoin moyen en énergie devrait même être réduit à 1750 watts. Dans ce cas, l'objectif zéro net pourrait être atteint avant tout grâce aux efforts supplémentaires d'économie d'énergie, ce qui occasionnerait des coûts plus importants, par exemple pour l'isolation thermique et une meilleure intégration des processus.

Les installations photovoltaïques jouent un rôle central dans la transition énergétique. La Suisse pourrait générer chaque année quelque 50 térawattheures de courant solaire, si toutes les surfaces disponibles étaient utilisées. Mais aujourd'hui, seules 4% d'entre elles sont employées à cette fin. Si notre pays souhaite renoncer, en 2050 et dans une large mesure, aux importations d'énergie, il faudrait que plus de 90% de ces surfaces soient utilisées. Pour atteindre les objectifs du scénario de base, il suffirait cependant d'employer environ 50% des surfaces potentielles pour l'énergie solaire. Dans le scénario avec un déploiement retardé, ce taux serait d'environ 40%.

Entre-temps, les autres institutions de recherche ont présenté leurs résultats JASM, en les résumant dans un rapport de synthèse. S'y ajoutent les scénarios de la Confédération: les perspectives énergétiques 2050+. Pour l'essentiel, les chercheurs s'accordent dans leurs conclusions. Mais il y a aussi des différences. Ainsi, les coûts dans les modèles du PSI sont plus élevés que dans ceux des autres groupes.

«Mais même le meilleur modèle de calcul ne peut pas prévoir certains événements, par exemple lorsqu'un virus tient le monde en haleine ou quand une guerre menace la fiabilité de l'approvisionnement en combustibles fossiles», rappelle Russell McKenna. De tels chocs sont traités par SURE (Sustainable and Resilient Energy for Switzerland), un projet de recherche du programme SWEET (Swiss Energy Research for the Energy Transition) de l'Office fédéral de l'énergie. Dix partenaires de recherche, emmenés par Tom Kober, y étudient comment se comporte le système énergétique en cas de choc et les contre-mesures à adopter. Dans le cas de la pandémie de coronavirus, les experts s'accordent à dire que l'impact immédiat pour le



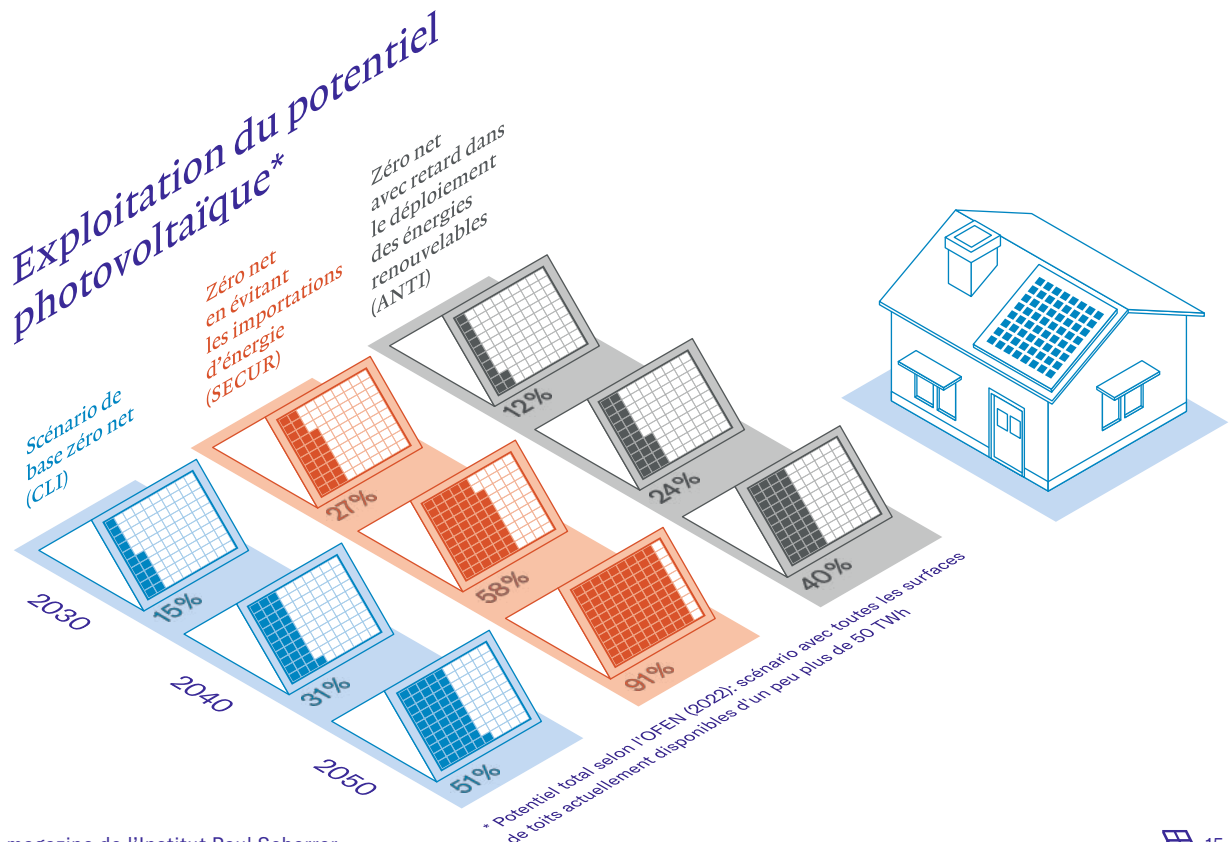
système énergétique ne persistera qu'à court et moyen terme, mais que cela ne modifiera pas les objectifs à long terme comme la décarbonisation.

Il pourrait en aller différemment dans le cas de la guerre en Ukraine. Certains scénarios, dans le rapport JASM du PSI, sont tout à coup mis en évidence. A l'heure actuelle, les trois quarts environ de la consommation énergétique annuelle totale sont importés. Le scénario SECUR vise, outre la décarbonisation, à devenir le plus rapidement indépendant des importations d'énergie: par exemple, en fabriquant de l'hydrogène à partir d'énergies régénératives produites en Suisse. Dans ce scénario, non seulement une augmentation de la production de courant serait nécessaire, mais aussi davantage d'économies d'énergie ainsi qu'une flexibilité accrue du système énergétique pour intégrer d'importantes quantités d'énergies renouvelables. Ce qui multiplie par deux et demi le coût des efforts de protection du climat.

En tant qu'ingénieur en économie, Tom Kober s'intéresse, en plus des interactions techniques, aux aspects économiques de la transformation des systèmes énergétiques. Voici la question qu'il se pose: combien cela coûte-t-il si, dans tel scénario, nous prenons telle ou telle décision? Et quelles sont les interactions qui en découlent dans un système aussi complexe que le système énergétique? La réponse est, plus ou moins clairement, la suivante: dans tous les cas, ce ne sera pas bon marché. Suivant le scénario, la société devra assumer des coûts considérables. Rien d'étonnant: si la Suisse veut passer de 43,4 millions de tonnes d'émissions de CO₂ par année (état en 2020) au zéro net en 2050, les émissions de CO₂ devront diminuer, chaque année, en moyenne, d'un million et demi de tonnes par rapport à l'année précédente. Mais il y a aussi une bonne nouvelle: la décarbonisation est techniquement possible et en principe abordable, si l'on choisit intelligemment les mesures.

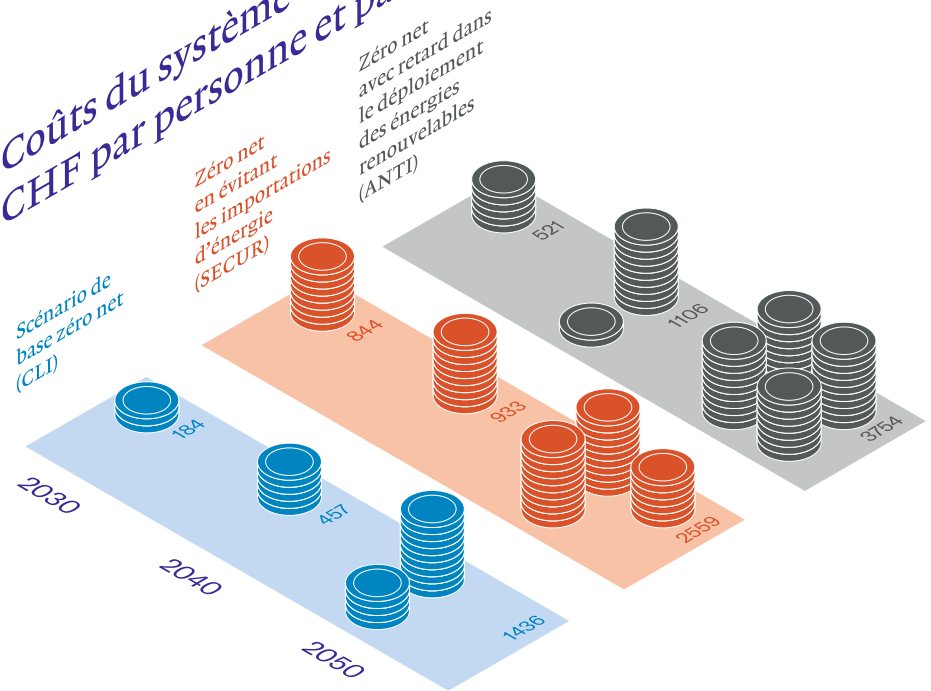
Lorsqu'on considère les coûts du scénario de référence – dans le cadre duquel les émissions de CO₂ baissent de 40% d'ici 2050 par rapport à 1990 –, on constate que les coûts globaux du système énergétique auront doublé d'ici 2050 par rapport à aujourd'hui (voir graphique page 16). Et des coûts supplémentaires viennent s'y ajouter, si l'on veut atteindre l'objectif zéro net. Suivant le scénario, ceux-ci oscillent entre 180 et 840 francs par année et par tête jusqu'en 2030. D'ici 2050, les coûts supplémentaires oscilleront entre 1440 et 3750 francs. Evangelos Panos commente ainsi les différences de coûts entre les scénarios: «Les raisons de cette fourchette sont les différentes évolutions des prix des vecteurs énergétiques, des technologies énergétiques, de la disponibilité des ressources, de l'intégration du marché, de l'adhésion aux technologies et de la dépendance vis-à-vis des importations d'énergie. Si les conditions-cadres changent, il en résulte un bouquet technologique différent, associé à une augmentation des coûts pour le système énergétique lorsque les options bon marché de protection du climat ne sont disponibles que de manière limitée.»

Il est donc évident que le tournant énergétique coûtera cher, mais la question de savoir combien dépendra de décisions politiques. Tom Kober s'inscrit résolument en faux contre l'espoir d'économiser de l'argent en ne faisant rien: le scénario ANTI, qui ne prévoit que des mesures moins onéreuses pour la transition énergétique (avec par exemple un déploiement lent des énergies renouvelables), s'avère le plus coûteux de tous. Au lieu des 1440 francs du scénario de base zéro net (CLI), les Suisses se verraient contraints de payer 3750 francs de plus en 2050. Dans le cas d'un déploiement lent des énergies renouvelables, l'hydrogène revêtirait une importance nettement moindre, car les ressources nationales ne seraient que partiellement disponibles pour sa production. Pour compenser, la





Coûts du système énergétique CHF par personne et par an



Tom Kober, ingénieur en économie, essaie notamment de sonder l'évolution future des coûts de la transition énergétique en se fondant sur les scénarios possibles. Une chose est claire: ce sera onéreux (voir graphique ci-dessus).

priorité devrait aller à des mesures d'économie d'énergie et il faudrait importer des énergies écologiques onéreuses. Même dans le cas où la Suisse souhaiterait être aussi indépendante que possible des importations d'énergie, les coûts supplémentaires du tournant énergétique doubleraient pratiquement en 2050, pour atteindre 2560 francs par an. Un montant dû à une accélération du déploiement du photovoltaïque et à une meilleure isolation des bâtiments, combinée à des pompes à chaleur.

Hormis les coûts, l'une des clés de réussite de toutes ces voies de développement ambitieuses réside dans l'acceptation. Dans le scénario ANTI, les chercheurs postulent une attitude pessimiste et défensive de la population qui repousserait le tournant énergétique de dix ans. La votation populaire de juin 2021, où les citoyens suisses ont rejeté d'importantes mesures de protection du climat contenues dans la loi sur le CO₂ révisée, montre que cette hypothèse n'est pas tirée par les cheveux.

Tom Kober estime également que le monde de la finance doit prendre ses responsabilités. Le système énergétique du futur suppose toujours plus de capitaux. Certes, on économise sur les dépenses en combustible, mais il faut auparavant investir d'importantes sommes dans les installations photovoltaïques ou dans la technologie fondée sur l'hydrogène. Les banques évaluent les risques des investissements et opèrent une distinction entre les technologies matures, comme le photovoltaïque ou l'isolation thermique, et les technologies qui sont seulement en passe d'être commercialisées. Mais la transition énergétique ne peut réussir que si de nouvelles technologies – autour de l'hydrogène ou de la captation du CO₂ des émissions générées par les centrales électriques ou les incinérateurs de déchets – sont introduites à grande échelle. Ici, de nouveaux instruments de financement et des garanties de l'Etat sont nécessaires.

Alors, quel est le meilleur scénario ou le plus probable? Comme nous l'avons dit, aucun des scénarios du rapport PSI-JASM ne prédit l'avenir; aucun ne présente que des avantages, dans la mesure où il n'y en a pas de bon ou de mauvais. Certains principes de base se retrouvent toutefois dans tous:

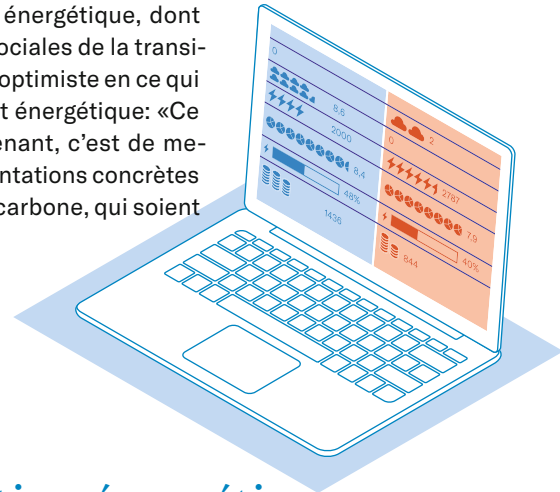
- Il faut «mettre un prix» sur les émissions de gaz à effet de serre. Autrement dit, les prix de l'énergie

doivent inclure les coûts pour l'homme et l'environnement. Par ailleurs, les mesures de décarbonisation doivent être coordonnées et rapides – sinon, elles seront d'autant plus coûteuses.

- Le courant issu de sources à émissions faibles et notamment d'énergies renouvelables forme la matière première de la transition énergétique. La consommation de courant en Suisse pourrait passer de 60 térawattheures actuels à 80 térawattheures en 2050. Pour cela, la puissance issue du photovoltaïque doit au moins doubler tous les dix ans, si l'on veut compenser l'abandon progressif de l'énergie nucléaire.
- Une production de courant plus dépendante des conditions météorologiques, comme celle des installations photovoltaïques et éoliennes, a pour conséquence que le système énergétique doit réagir de manière beaucoup plus flexible, ce qui nécessite des tampons énergétiques supplémentaires (à court terme et saisonniers) sous forme de stockage par batteries ou de stockage thermique et chimique. Mais cela suppose aussi la volonté des consommateurs d'adapter mieux qu'auparavant leur consommation d'énergie à l'offre.
- Sans le captage et la séquestration souterraine du CO₂, les objectifs de décarbonisation resteront hors d'atteinte. Sur ce plan, la Suisse doit coordonner ses efforts avec ses voisins.

• L'ouverture technologique est payante. La concurrence combinée à des incitations permettra d'obtenir les meilleurs résultats à moindre coût.

La recherche avec le modèle STEM se poursuit et doit s'étendre à d'autres aspects de la durabilité et de la résistance du système énergétique, dont notamment les conséquences sociales de la transition énergétique. Tom Kober est optimiste en ce qui concerne la réussite du tournant énergétique: «Ce dont nous avons besoin maintenant, c'est de mesures déterminées et de réglementations concrètes pour contrôler les émissions de carbone, qui soient intelligibles à tout le monde.» ♦



«Pour la transition énergétique, nous avons également besoin de nouveaux instruments de financement et de garanties de l'Etat.»

Tom Kober, responsable du groupe Economie énergétique

6 millions d'équations pour un système énergétique

Ingénieur en logiciel de formation et modélisateur énergétique, Evangelos Panos a construit, au fil des ans, avec son collègue Kannan Ramachandran et une équipe de chercheurs, le riche modèle de calcul du système énergétique STEM. Celui-ci est composé de six millions d'équations avec six millions de variables qui décrivent les aspects les plus divers du système énergétique suisse. Par le biais des équations, les variables sont reliées entre elles dans toute une série de dimensions. Si l'on en modifie une – par exemple, le prix de l'émission d'une tonne de CO₂ ou du déploiement du photovoltaïque –, des dizaines d'autres se modifient, parfois de manière imprévue.

Il est inimaginable de vouloir calculer un système d'équations aussi gigantesque sur le papier, avec un crayon et une calculatrice. Même l'ordinateur spécial utilisé par Evangelos Panos a besoin de plusieurs heures pour résoudre le système d'équations pour un seul scénario. Mais la modélisation de systèmes énergétiques au moyen de différents scénarios représente bien plus: il s'agit de convertir en algorithmes efficaces des connaissances spécialisées sur le système éner-

gétique, issues de différentes disciplines, afin de pouvoir les calculer par ordinateur. Il n'est donc guère étonnant qu'il ait fallu des mois de travail minutieux pour prévoir tous les scénarios et leurs variantes dans le cadre du projet JASM.

Le modèle STEM du PSI présente quelques particularités remarquables par rapport aux modèles d'autres équipes de recherche, mais il ne peut évidemment pas tout faire. En tant que modèle d'optimisation technico-économique, il ne livre pas de conclusion, par exemple, sur l'impact qu'auront les scénarios sur le marché du travail suisse ou sur la création de valeur. Les chercheurs en ont également exclu les émissions dues au trafic aérien international et celles générées à l'étranger ou liées à l'importation de biens en Suisse. La modélisation du système énergétique n'est donc pas une mission en solo du PSI, mais s'inscrit dans une coopération de recherche avec d'autres groupes de chercheurs renommés, afin de dessiner en définitive une image complète de la transformation du système énergétique avec le plus de facettes possible.

Scénarios énergétiques

Les scénarios esquissés par les chercheurs du PSI ne sont pas des prévisions, mais des hypothèses sur la manière dont les systèmes énergétiques en Suisse pourraient évoluer. Ils élargissent cependant le regard sur de nouveaux développements.

Scénario de base zéro net (CLI)

		2019	2030	2050
Indicateurs généraux	Emissions de CO ₂ par tête (tonne/année)	4,4	2,6	0
	Captage et séquestration du CO ₂ /utilisation (mégatonne)	0	0	3
	Consommation d'énergie primaire par tête (watt/personne)	3828	2999	2000
	Diversité de production d'énergie primaire (Indice de Shannon-Wiener: valeur plus élevée = plus de diversité)	5,6	8	10
	Part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie	27%	33%	100%
	Coûts annuels de la transition énergétique par rapport au scénario de référence (CHF/personne)		184	3
Côté offre	Importations nettes (TWh) Produits pétroliers, gaz naturel, «molécules respectueuses du climat» (bioénergie, combustibles synthétiques, hydrogène), électricité	132	82	31
	Production nationale d'électricité			
	Energie nucléaire (TWh)	25	19	0
	Energie hydraulique (TWh)	37	37	38
	Photovoltaïque (TWh)	2	7	26
	Autres (TWh)	4	7	14
	Prod. d'électricité supplémentaire par rapport à 2019 (TWh)		3%	100%
	Production nationale de bioénergie (TWh)	31	38	47
	Production d'hydrogène			
	Electrolyse (TWh)	0	1	6
Autres (reformage du méthane à la vapeur, gazéification de la biomasse) (TWh)	0	2	5	
Stockage saisonnier (TWh/année), principalement d'hydrogène	0	0	1.6	
Côté demande	Flotte de voitures			
	Part de l'e-mobilité (PHEV et BEV)	1%	27%	100%
	Part de véhicules à pile à combustible	0%	0%	100%
	Part de voitures avec moteur à combustion	99%	73%	0%
	Besoin spécifique en chauffage des locaux (kWh/m ³) Moyenne de tous les bâtiments des ménages privés	86	75	40
	Equipement de chauffage des locaux			
Part de pompes à chaleur	12%	35%	100%	
Part de chauffage à distance	4%	6%	100%	
Part d'autres énergies renouvelables	10%	10%	100%	

Hypothèse de base de tous les scénarios:

Augmentation de la population par rapport à 2019

2030 9%
2050 21%

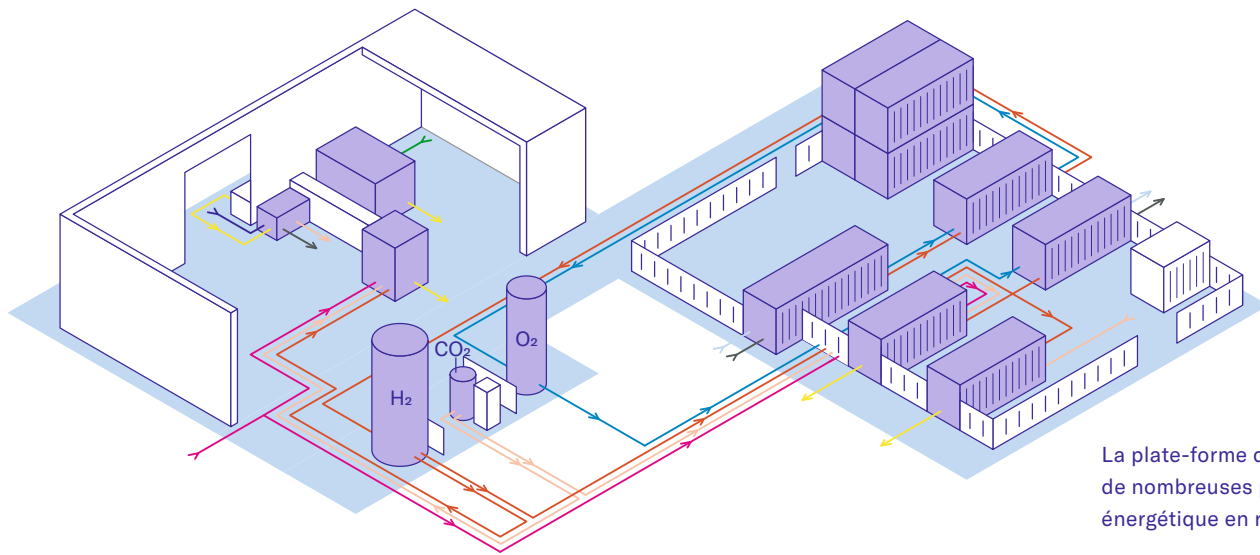
Croissance économique par rapport à 2019

2030 16%
2050 24%

Zéro net en évitant les importations d'énergie (SECUR)

Zéro net avec retard dans le déploiement des énergies renouvelables (ANTI)

	2030	2050	2030	2050
	2	0	2,6	0
8,6	0	7,4	0	8,3
2000	2787	2248	2818	1754
8,4	7,9	6,9	7,3	7,5
48%	40%	49%	36%	49%
1436	844	2559	521	3754
	57	1	81	33
	19	0	19	0
	37	39	37	38
	13	46	6	20
	7	18	7	12
14%	13%	51%	2%	3%
	39	47	32	41
	3	26	0	0
	0	2	0	3
	0	2.2	0	0.1
83%	29%	61%	25%	81%
17%	1%	39%	0%	7%
0%	70%	0%	75%	12%
45	55	39	60	37
77%	45%	72%	36%	74%
9%	8%	11%	8%	14%
14%	19%	17%	17%	10%



La plate-forme d'essai ESI offre de nombreuses possibilités de recherche énergétique en réseau.

Recherche énergétique au PSI

Coopération pour un approvisionnement énergétique sûr

L'Institut Paul Scherrer PSI est impliqué dans de nombreuses coopérations, en tant que leader ou partenaire. Ainsi, dans le cadre du programme d'encouragement Energie 2013-2020 de l'Agence suisse pour l'encouragement de l'innovation Innosuisse, lancé par la Confédération, le PSI a dirigé le Centre de compétence pour le stockage de la chaleur et de l'électricité (**SCCER Heat and Electricity Storage**) et élaboré un **livre blanc «Power-to-X»** à l'attention de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) dans le cadre d'un projet de recherche commun de cinq centres de compétence suisses pour la recherche énergétique. L'objectif du livre blanc est de rassembler les principales connaissances disponibles sur les technologies Power-to-X. Le PSI a également dirigé le réseau de recherche sur l'énergie **SCCER Biosweet**, auquel ont participé jusqu'à 15 groupes de recherche académiques et des dizaines de partenaires, mettant l'accent sur les processus de conversion de la biomasse. Actuellement, des chercheurs issus de dix institutions placées sous la houlette du PSI dans le cadre du projet de recherche **SURE** (Sustainable and Resilient Energy for Switzerland), financé par l'Office fédéral de l'énergie, étudient comment l'approvisionnement énergétique en Suisse pourra se faire de manière aussi durable que possible et sans perturbation au cours des prochaines décennies.

Plate-forme en réseau

A la plate-forme **ESI** (Energy System Integration, voir le graphique ci-dessus), la recherche et l'industrie peuvent tester des solutions prometteuses pour intégrer les énergies renouvelables – comme le solaire, l'éolien et la biomasse – dans le système énergétique. Dans le cadre du projet **ReMaP**, les démonstrateurs de la plate-forme ESI sont par ail-

leurs interconnectés avec les plates-formes d'essai ehub, NEST et move de l'Empa, de l'ETH Zurich et de partenaires renommés de l'industrie.

Efficacité du stockage et de la conversion de l'énergie

A la recherche d'une utilisation plus efficace de l'énergie, le PSI met l'accent sur la caractérisation et le développement de matériaux pour de nouveaux systèmes de stockage: par exemple, les batteries lithium-ion. Celles-ci joueront un rôle essentiel dans les futurs véhicules hybrides, électriques et à pile à combustible.

Utilisation sûre de l'énergie nucléaire

L'une des priorités de la recherche est de comprendre encore mieux les processus au sein des centrales nucléaires afin de contribuer à la sûreté de leur exploitation. Les analyses se font, entre autres, au moyen de simulations informatiques. Un autre aspect concerne le stockage définitif et sûr des déchets radioactifs. L'objectif des travaux dans ce domaine est de déterminer l'aptitude des différentes formations géologiques à conserver des déchets radioactifs en toute sécurité et sur de longues périodes.

Evaluation globale des systèmes énergétiques

Au-delà de l'examen de chaque technologie énergétique, les chercheurs du PSI se consacrent à l'observation globale et à la comparaison des systèmes énergétiques nucléaires, fossiles et renouvelables. Ils analysent ainsi les structures et l'impact des systèmes énergétiques nationaux et internationaux afin de mieux comprendre les rapports entre énergie, économie, environnement et technologie. Ils étudient également différentes options pour l'approvisionnement énergétique. ♦



Détruire les cellules cancéreuses

Responsable du groupe Approvisionnement en médicaments cliniques du Centre des sciences radiopharmaceutiques du PSI et de l'ETH Zurich, Susanne Geistlich veut combattre les tumeurs. Pour ce faire, elle fabrique avec son équipe des médicaments radiopharmaceutiques. Ceux-ci permettent de détecter les cellules cancéreuses dans l'organisme et de les détruire. La réussite d'un tel traitement est visible sur la photo avant-après, à l'arrière-plan à droite. La sécurité des médicaments exige la plus grande propreté aussi bien au niveau des installations que dans le laboratoire où la fabrication a lieu. La récente certification de l'Institut suisse des produits thérapeutiques Swissmedic prouve que les deux conditions sont réunies.



Chez ANAXAM, on radiographie aussi des objets du quotidien. Christian Grünzweig, CEO, et Cynthia Chang, cheffe de projet, en train de philosopher sur la répartition du mastic dans une boîte de conserve.

Réacteurs à fusion, piles à combustible et boîtes de conserve

Qu'il s'agisse d'objets du quotidien ou de matériaux high-tech pour les énergies renouvelables, le centre de transfert de technologie ANAXAM facilite – depuis plus de trois ans – aux PME, aux start-up et aux grosses entreprises du monde entier l'accès aux grandes installations de recherche du PSI. Par un ensemble complet de prestations, ANAXAM les aide à utiliser ces installations pour leurs analyses de matériaux.

Texte: Benjamin A. Senn

150 millions de degrés Celsius: telle est la température qu'aura le plasma à l'intérieur du réacteur à fusion expérimental ITER, avec lequel les chercheurs veulent tester la production d'énergie du futur à Cadarache, dans le sud de la France. En comparaison, une pizza parfaitement croustillante se cuit dans un four à 350 degrés Celsius; suivant la roche, la lave s'écoule à une température supérieure à 1000 degrés Celsius; et au cœur du Soleil règne la température considérable de 15 millions de degrés Celsius. Les inconcevables 150 millions de degrés Celsius qu'ITER prévoit d'atteindre sont donc uniques dans notre système solaire. Même si, dans ce tokamak, le plasma brûlant ne sera pas censé entrer en contact avec les parois, on peut vaguement imaginer à quelles énormes charges thermomécaniques et à quelles intensités de rayonnement ces matériaux doivent résister.

Avant de pouvoir démarrer une exploitation de test dans des conditions aussi infernales, les matériaux doivent donc être exposés à des charges contrôlées et toute éventuelle modification structurelle à l'intérieur de ceux-ci doit être précisément vérifiée. C'est là que le centre de transfert de technologie ANAXAM entre en jeu, offrant une pluralité de méthodes d'analyse ultramodernes qui peuvent être conduites aux grandes installations de recherche du PSI.

Des analyses de matériaux précises

ANAXAM est une association reconnue d'utilité publique, fondée en 2019 par l'Institut Paul Scherrer, la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse (FHNW), le Swiss Nanoscience Institute et le canton d'Argovie. L'association a pour objectif de faciliter l'accès aux grandes installations de recherche pour les projets industriels. ANAXAM est l'acronyme d'Analytics with Neutrons And X-ray Advanced Manufacturing ou «méthodes d'analyse à l'aide du rayonnement de neutrons et de synchrotron (une forme particulière de rayons X) pour les technologies de fabrication avancée».

Les faisceaux de neutrons et le rayonnement synchrotron offrent la possibilité de radiographier les objets sans les détruire. Cela permet non seulement de visualiser en 3D l'intérieur de l'objet, mais aussi, au moyen de la spectroscopie, d'identifier et de localiser les différents éléments chimiques ou encore d'effectuer la caractérisation structurelle et morphologique d'un matériau par diffraction et diffusion des rayons X aux petits angles. Suivant l'objet, les faisceaux neutroniques et le rayonnement synchrotron seront appliqués successivement et les résultats de la radiographie combinés les uns avec les autres pour obtenir divers contrastes, par exemple dans l'imagerie.

La simple dimension des grandes installations de recherche permet de conduire des analyses de matériaux qui seraient impossibles dans un laboratoire industriel conventionnel. «La Source de Lumière Suisse SLS, au PSI, utilisée pour générer les rayons X, fournit par exemple une brillance qui dépasse les sources de rayons X en laboratoire d'un facteur impressionnant de 10 milliards», rappelle Christian Grünzweig, CEO d'ANAXAM. En Suisse, l'analyse par rayonnement neutronique et synchrotron n'est possible que dans les grandes installations de recherche: à la SLS et à la Source de neutrons à spallation suisse SINQ au PSI.

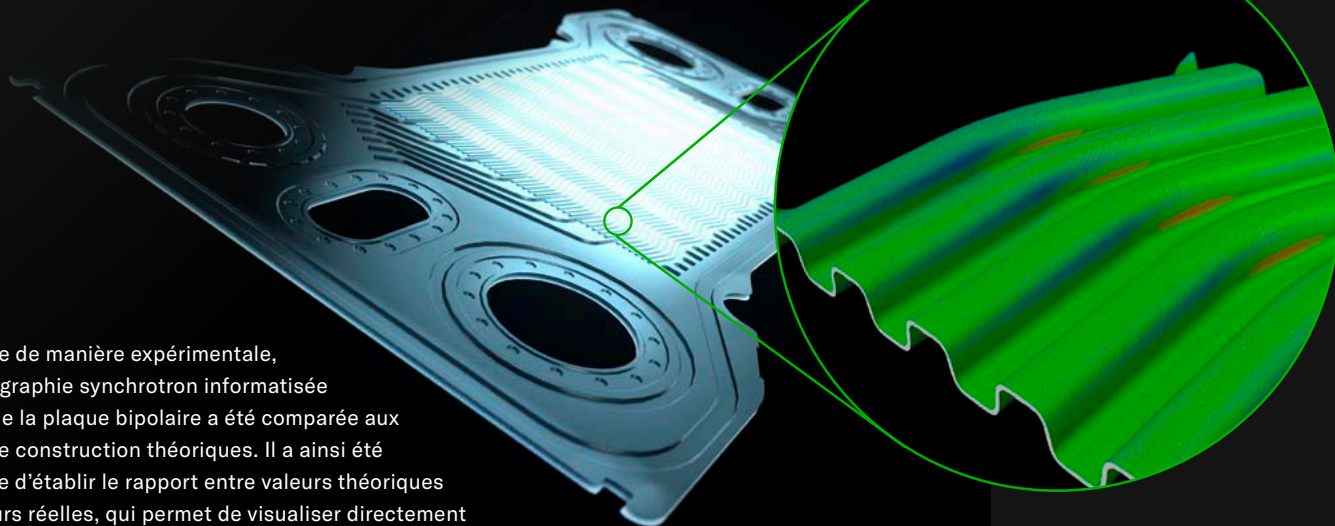
L'équipe de six personnes d'ANAXAM apporte des conseils et de l'aide pour profiter au mieux de ces installations complexes. «Nous sommes un guichet unique: le client vient nous voir avec ses problèmes, nous le conseillons, achetons du temps de mesure au PSI, mettons en place – si nécessaire – une infrastructure spécifique et effectuons les mesures, y compris l'analyse des données. À terme, le client reçoit les données et leur interprétation dans un rapport final», résume Cynthia Chang, cheffe de projet chez ANAXAM. Cette spécialiste en science des matériaux et Christian Grünzweig faisaient de la recherche au PSI avant leur engagement chez ANAXAM: Cynthia Chang dans l'analyse synchrotron et Christian Grünzweig dans l'analyse neutronique. Des expertises qui se complètent parfaitement dans leurs positions actuelles. Avec les membres de leur équipe, aux parcours les plus divers dans la recherche et l'industrie, ils prêtent main-forte à la place industrielle suisse à l'aide des méthodes d'analyse les plus avancées pour les produits et les processus de demain.

Composants de piles à combustible made in Switzerland

Les piles à combustible sont considérées comme une importante technologie pour la mobilité électrique du futur. Dans une telle pile, l'hydrogène et l'oxygène réagissent pour former de l'eau et libèrent de l'énergie sous forme de courant et de chaleur.

Le composant central d'une pile à combustible est ce qu'on appelle la «plaque bipolaire» (voir l'illustration ci-contre): c'est là que la réaction électrique a lieu. Au niveau de sa géométrie canalaire (les minces rainures dans l'illustration), cette plaque doit être conçue de telle sorte que l'oxygène et l'hydrogène se répartissent uniformément, que la chaleur de réaction soit efficacement évacuée et que l'eau de réaction puisse être éliminée de manière fiable. Par ailleurs, la plaque doit être produite avec la plus grande précision afin de garantir l'étanchéité aux gaz à l'intérieur de la pile.

Produite de manière expérimentale, la tomographie synchrotron informatisée en 3D de la plaque bipolaire a été comparée aux plans de construction théoriques. Il a ainsi été possible d'établir le rapport entre valeurs théoriques et valeurs réelles, qui permet de visualiser directement les écarts (en bleu et en rouge).



Pour atteindre cette précision, les plaques bipolaires sont conventionnellement coulées dans du graphite. Cette méthode est cependant très complexe et onéreuse: les plaques bipolaires en graphite représentent jusqu'à 40 % des coûts de production d'une pile à combustible et sont de plus très lourdes, ce qui impacte négativement leur performance.

L'entreprise Feintool a donc développé une méthode qui permet de fabriquer des plaques bipolaires en une seule étape, à partir de tôles d'acier inoxydable ultrafines. Outre ce mode de production plus rapide et meilleur marché, l'utilisation d'acier inoxydable entraîne un poids total moindre et un volume réduit par rapport aux plaques de graphite classiques. Le remodelage et la découpe d'une telle plaque exigent néanmoins la plus grande précision, car la tôle est extrêmement fine (0,075 millimètre) et la presse pour la tôle doit travailler avec beaucoup de «sensibilité».

Au lieu de perdre du temps à tester encore et encore l'interaction parfaite entre la presse et les outils, la société Feintool s'est adressée à ANAXAM. «Nous avons pu examiner ces plaques bipolaires à l'aide de la tomographie synchrotron informatisée à haute résolution et caractériser ainsi leur structure tridimensionnelle, explique Cynthia Chang à propos de la collaboration fructueuse avec Feintool. De la sorte, nous avons été en mesure d'indiquer précisément où la géométrie canalaire présentait des écarts et où le processus de production devait être encore optimisé.»

Tout le monde est bienvenu chez ANAXAM

Mais il n'y a pas que les matériaux high-tech comme ceux des plaques bipolaires qui trouvent leur chemin jusqu'au PSI par le biais d'ANAXAM. On y radiographie aussi des objets du quotidien et il arrive que

le CEO et la cheffe de projet philosophent au sujet d'une boîte de conserve.

La caractéristique importante de cette dernière est son étanchéité. L'entreprise allemande Henkel Adhesive Technologies utilise à cet effet un mastic spécial, qui est posé entre le bord de la boîte de conserve et son couvercle, avant que ces deux composants ne soient repliés. «Pour ce projet, nous avons eu recours à la tomographie neutronique informatisée à haute résolution, explique Christian Grünzweig. Cela nous a permis d'analyser la répartition du mastic à la charnière de la boîte, sans destruction et en 3D. Ce qui aide l'entrepreneur à comprendre les erreurs potentielles d'application pour prolonger la durée de vie de l'emballage.»

«Peu importe qu'un client vienne nous voir avec un objet du quotidien ou un produit high-tech, souligne encore le CEO d'ANAXAM. Car ce que l'on peut mesurer, on peut aussi l'améliorer. Une société active à l'international, tout comme la plus petite des PME, peut donc profiter de nos méthodes et optimiser ses produits ou ses processus grâce à cette analyse ultramoderne des matériaux.»

L'Agence nationale italienne pour les nouvelles technologies, l'énergie et le développement durable (ENEA) – qui a participé au développement des matériaux des parois destinées au tokamak d'ITER à Cadarache – a pu bénéficier de cette expertise et ainsi caractériser certaines modifications microstructurelles causées par les rudes conditions qui règnent dans le plasma. Pour ce projet, ANAXAM a appliqué un large éventail de méthodes d'analyse neutroniques. Produite par le plasma, l'irradiation des matériaux des parois a également pu être imitée à l'aide d'un faisceau de neutrons. Ainsi, ANAXAM a apporté une contribution importante à l'une des nombreuses pièces du puzzle qui ouvrent la voie à un réacteur à fusion en fonctionnement et donc à une potentielle source d'énergie dans le futur. ♦

Actualité de la recherche au PSI

1 Une carte de la pollution due aux aérosols en Europe

Une équipe internationale, placée sous la direction du PSI, a évalué les données de mesure relatives à la pollution atmosphérique. Celles-ci ont été recueillies sur 22 sites répartis dans toute l'Europe, en ville comme dans les zones rurales. Ce faisant, les chercheurs se sont concentrés sur la pollution due aux aérosols. Les aérosols, également appelés «poussières fines», peuvent être nocifs pour la santé, entre autres parce que ces particules en suspension pénètrent profondément dans les poumons. Les scientifiques ont identifié la source principale de pollution due aux aérosols, bien que leur composition varie d'un site à l'autre: le chauffage des habitations au moyen de combustibles solides comme le bois ou le charbon. Les données récoltées devraient permettre d'améliorer les modèles sur la qualité de l'air.

Informations complémentaires:
<http://psi.ch/fr/node/51953>

Les données issues de **14** pays européens sont au cœur d'une nouvelle étude sur la pollution due aux aérosols.

Moins de **1** micromètre: telle est la taille des particules d'aérosols organiques étudiées.



2 En visite chez les chercheurs

Le PSI cherche des solutions durables à des questions sociétales, économiques et scientifiques. L'exposition en cours au centre des visiteurs du PSI donne un aperçu de la recherche actuelle. Comment assurerons-nous dorénavant notre approvisionnement énergétique, tout en ménageant les ressources? Que nous réserve la médecine du futur? Quelles sont les nouvelles technologies qui font progresser notre société? Treize îlots thématiques invitent à découvrir le PSI dans toute la diversité de sa recherche. Les interrogations portent aussi bien sur le stockage des énergies renouvelables que sur le perfectionnement de diagnostics et de traitements médicaux, la quête de matériaux innovants pour le développement de l'électronique ou encore la réalisation de technologies d'avenir comme les calculateurs quantiques.

Informations complémentaires:
<http://psi.ch/fr/node/51489>

3 Trouver des principes actifs contre le cancer

Les principes actifs qui ciblent le cytosquelette figurent parmi les médicaments anticancéreux les plus efficaces. En collaboration avec l'Istituto Italiano di Tecnologia de Gênes, les chercheurs du PSI viennent de mettre au point une substance particulièrement puissante, qui inhibe une protéine du cytosquelette et, ce faisant, entraîne la mort de la cellule. Pour leurs travaux, ils ont combiné, en se servant d'ordinateurs, les structures de trois fragments moléculaires qui s'arriment de préférence à un endroit bien défini du cytosquelette. Les chercheurs ont ensuite synthétisé en laboratoire le composé chimique développé sur le papier. Leur espoir était d'obtenir un composé plus efficace que les principes actifs connus. Par le biais de mesures à la Source de Lumière Suisse SLS, les scientifiques ont examiné comment la molécule s'arrime à la poche de liaison dans la réalité. Au terme de deux autres cycles, ils ont perfectionné la substance. A leur grande satisfaction, ils ont alors réussi à démontrer en cultures cellulaires que ce composé, baptisé Todalam, tue les cellules.^{kraine}

Informations complémentaires:
<http://psi.ch/fr/node/51112>

4 Aperçu de l'avenir magnétique

Les chercheurs du PSI ont réussi une première: observer la façon dont de minuscules aimants s'alignent pour former un agencement spécial, et ce uniquement en raison de changements de température. Cet aperçu des processus dans ce qu'on appelle la «glace de spin artificielle» pourrait jouer un rôle important dans le développement de nouveaux ordinateurs à haute performance. Lorsque l'eau gèle et se transforme en glace, les molécules s'agencent avec leurs atomes d'hydrogène et d'oxygène pour créer une structure complexe. En laboratoire, il est possible de cultiver des cristaux où les moments magnétiques élémentaires, appelés «spins», possèdent des structures comparables à la glace. C'est pourquoi les chercheurs les appellent «glace de spin». Ils viennent de réussir à produire de la glace de spin artificielle, composée pour l'essentiel de nanoaimants qui sont si petits que leur orientation peut se modifier uniquement en raison de la température. Le contrôle de ces différentes phases magnétiques pourrait être intéressant pour de nouvelles formes de traitement des données. Au PSI, on étudie comment la complexité de la glace de spin artificielle pourrait être utilisée en vue de nouveaux ordinateurs à haute performance consommant peu de courant.

Informations complémentaires:
<http://psi.ch/fr/node/50890>

Musique au PSI

GALERIE

Les bruits émis par les appareils techniques et les processus de la recherche scientifique sont monnaie courante au PSI. Nous vous avons déjà présenté un minuscule extrait du fond sonore de l'institut dans l'édition 1/2022. Mais de temps en temps, des sons très différents se font entendre de part et d'autre de l'Aar, car nombre de nos chercheurs jouent aussi de la musique. Voici certains d'entre eux.

Texte: Christian Heid

Le groupe

Lorsque Robert Sobota (batterie), Ludmila Leroy (basse et chant) et Peter Alpert (guitare) se lancent, un son puissant et groovy se répand depuis le seuil du bâtiment de recherche. Ils se sont retrouvés sur leurs préférences personnelles: le guitariste, fondateur de PSIschedelics, adore le grunge; la chanteuse aime particulièrement les chansons de Freddie Mercury, le chanteur de Queen, décédé depuis longtemps; le batteur a un faible pour le rock progressif et l'art rock. Leurs intérêts en matière de recherche diffèrent également. Ludmila Leroy fait de la recherche sur les solides au laser suisse à rayons X à électrons libres SwissFEL et à la Source de Lumière Suisse SLS. Peter Alpert s'occupe de particules atmosphériques à la SLS. Et Robert Sobota se concentre sur les supraconducteurs de prochaine génération. Mais il suffit de les avoir écoutés une fois pour savoir qu'au niveau musical ils sont parfaitement en harmonie!





Le bouzouki

Ioannis Samaropoulos a commencé l'apprentissage d'un instrument dès l'âge de 5 ans: d'abord le violon, puis la guitare, avant de choisir à 11 ans le bouzouki, un instrument à cordes grec classique. Son point de départ était le rebétiko, un style qui mêlait, au début du XX^e siècle, la musique populaire grecque et la tradition musicale ottomane et dont les thèmes étaient souvent empreints du mal du pays et de nostalgie. Ioannis Samaropoulos a en partie financé ses études en jouant du bouzouki et en chantant. Il travaille à présent au PSI comme spécialiste de l'analyse des défaillances dans le domaine de la radioprotection et de la sûreté.





L'alto

A l'origine, Lily Bossin a étudié la guitare classique au conservatoire pendant son temps libre. Mais, dans sa quête d'un instrument plus «social», elle a finalement choisi l'alto et sa sonorité pleine, douce et quelque peu mélancolique. Elle aime surtout les morceaux de musique baroque, comme ceux du compositeur allemand Georg Philipp Telemann, écrits au XVIII^e siècle. Au PSI, Lily Bossin travaille dans le domaine de la radioprotection et mène des recherches sur de nouvelles solutions et de nouveaux matériaux permettant de mesurer la dose de rayonnement ionisant.

Le hautbois

Le hautbois a une sonorité expressive, qui va du nasal clair au velouté sombre et que l'on associe parfois au cri d'un canard, comme dans le conte symphonique *Pierre et le Loup*. A l'instar de tous ceux qui veulent tirer des sons agréables d'un hautbois, Margaux Schmeltz passe beaucoup de temps à travailler l'embouchure, une anche double qui ressemble à une paille pincée. Parmi ses morceaux préférés figurent les compositions de l'époque baroque de Tomaso Albinoni et les sonates modernes de Francis Poulenc. Au PSI, elle s'intéresse à l'imagerie dynamique des systèmes en mouvement – en particulier de l'audition humaine – afin d'acquérir des connaissances sur leurs propriétés biomécaniques.





Le cor des Alpes

Les sons que Micha Dehler tire du cor des Alpes à l'aide des techniques d'articulation growl, bend et shake couvrent par moments le bruit de fond technique – et apparemment éternel – qui règne à l'intérieur de la Source de Lumière Suisse SLS. En fait, il est issu du jazz, où il joue de la trompette et de la flûte traversière, mais c'est aussi un grand fan de la pièce *Sura Kees*, un funk pour cor des Alpes et big band du compositeur argovien Urs Erdin. Au PSI, il collabore à la mise à jour de la SLS, qui doit être réalisée d'ici 2025, et se concentre sur les calculs visant à éviter les instabilités de faisceau.



Le meilleur des deux mondes

La carrière d'Annalisa Manera l'a amenée à traverser la moitié de l'Europe et à voyager aux Etats-Unis. Aujourd'hui, elle est chercheuse en physique nucléaire au PSI et professeure à l'ETH Zurich. Elle déborde d'enthousiasme pour son domaine de spécialité, sans jamais perdre la vue d'ensemble.

Texte: Laura Hennemann

Ceux qui pensent que, dans le débat sur l'énergie, on nous ressert toujours les mêmes arguments n'ont encore jamais discuté avec Annalisa Manera. «Il n'existe aucune source d'énergie qui ne génère pas de déchets et dont le risque soit absolument nul», déclare la chercheuse.

Annalisa Manera, la quarantaine, cheveux bruns bouclés et mi-longs, est scientifique au PSI. Elle y dirige, depuis plus d'un an, au sein de la division de recherche Energie nucléaire et sûreté, un groupe qui s'occupe des systèmes nucléaires et d'écoulements multiphasiques. Par ailleurs, elle est professeure en systèmes nucléaires et écoulements multiphasiques à l'ETH Zurich. Autrement dit, l'énergie nucléaire, elle connaît.

Mais ceux qui s'attendent à ce qu'elle place le nucléaire au-dessus de tout se trompent de nouveau. «Nous devrions monter le plus de collecteurs solaires possible sur les toits de nos maisons! dit-elle. Le photovoltaïque est idéal pour couvrir une grande partie de nos besoins.» Elle s'exprime de manière énergique et claire, dans un américain parfait, avec une pointe d'accent italien – Annalisa Manera est née en Italie du Sud.

Ce qui ne tarde pas à devenir évident: si l'on abandonne les points de vue habituels, les choses deviennent plus complexes. Et c'est précisément dans ces moments que les yeux d'Annalisa Manera étincellent joyeusement. Là, elle est dans son élément. Et aborde la complexité avec un esprit vif et pragmatique.

Comme en témoigne déjà son choix de filière d'études: «J'étais amoureuse de la physique et des mathématiques, raconte-t-elle. Je voulais être capable de tout comprendre et de tout expliquer. Mais à l'époque, dans les années 1990 en Italie, les per-

spectives de carrière en physique n'étaient pas tellement bonnes.» Elle s'est donc inscrite en sciences de l'ingénieur à l'Université de Pise. «Là-bas, l'ingénierie nucléaire pouvait m'offrir le plus de physique et de mathématiques et j'ai quand même pu obtenir un master d'ingénieur.»

Encore changer de pays

Pour son master, en 1998, elle est partie à l'étranger, à l'Université de technologie de Delft, aux Pays-Bas. Et, manifestement, elle s'y est bien prise dans le monde académique: on lui a proposé immédiatement après un poste de doctorante, qu'elle a accepté, puis un autre de professeure assistante, qu'elle a refusé. «Je voulais encore découvrir un autre environnement scientifique et élargir mon horizon», confie-t-elle. Elle s'est donc rendue en Allemagne pour travailler comme scientifique au Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

En 2006, sa prochaine étape professionnelle l'a menée pour la première fois en Suisse. Curieuse de savoir si un travail dans l'industrie lui conviendrait, elle a démarré dans une entreprise de conseil à Dättwil, en Argovie. L'un de ses projets consistait à évaluer les différents réacteurs disponibles sur le marché et à élaborer des recommandations pour les pays intéressés. «Mais au cours des trois premiers mois, je me suis rendu compte que ce travail ne me suffisait pas», admet-elle de manière très objective, comme si cela n'exprimait en rien ses ambitions.

Restée en Argovie, elle est retournée à la recherche: au PSI, cette fois. Là, sa carrière a également été fulgurante: au bout de six mois seulement, Annalisa Manera a été nommée responsable du groupe de recherche sur le comportement des sys-

tèmes nucléaires. Elle est demeurée à ce poste pendant cinq ans.

Son emploi suivant était déjà celui de professeure, mais à l'étranger, à l'Université du Michigan, aux Etats-Unis. «L'Université du Michigan est numéro un aux Etats-Unis dans la recherche nucléaire, dit Annalisa Manera. Et j'aimais l'atmosphère qui régnait là-bas.»

Elle y est restée dix ans. Son fils est venu au monde là-bas. Aujourd'hui, Annalisa Manera est mère célibataire d'un fils de dix ans.

Depuis l'été 2021, Annalisa Manera est de retour en Suisse, avec un double statut à l'ETH Zurich et au PSI. Et dit qu'elle se sent désormais bien ici. «Je vis avec mon fils dans un petit village, près de Baden.» Un lieu idéalement situé entre l'ETH Zurich et le PSI. Et un bon point de départ pour des excursions. «Nous faisons souvent quelque chose le week-end, indique-t-elle. Une randonnée ou une visite au musée avec d'autres familles.»

Par ailleurs, un aspect de son travail semble être devenu son hobby: elle est très demandée par les médias comme experte en sécurité énergétique à l'ère du réchauffement climatique: «On me sollicite beaucoup pour des interviews. Et je m'efforce, si possible, de ne jamais dire non.»

Ce qui la motive surtout, c'est d'opposer des arguments à des récits que l'on répète souvent: «Je vois fréquemment des affirmations trompeuses dans les médias.» Elle souhaite rectifier ces erreurs. Et explique par exemple qu'un accident comme celui de Tchernobyl ou comme celui de Fukushima ne pourrait pas se produire en Suisse: «Tchernobyl correspondait à un type de réacteur totalement différent. Ce genre d'accident, en Suisse, est complètement exclu à cause des lois de la physique.» Les améliorations continues apportées aux réacteurs en Suisse permettent également d'éviter un cas comme celui de Fukushima. Une autre chose est importante à ses yeux: «Dans mes interviews, je m'efforce de traduire les concepts techniques dans un langage qui soit facile à comprendre pour le grand public.» Et elle ajoute: «Je ne veux pas que les décisions soient prises sur la base d'informations erronées.»

Un bureau couvert d'électronique

Même en période de sortie du nucléaire, Annalisa Manera est convaincue que la recherche dans ce domaine doit se poursuivre. «L'expertise sur les sujets nucléaires, nous en aurons encore besoin en Suisse pendant des décennies, notamment pour le démantèlement des installations, rappelle-t-elle. Et tant que d'autres pays continueront d'avoir du nucléaire, nous ne devrions pas leur abandonner l'exclusivité de l'acquisition des connaissances futures.»

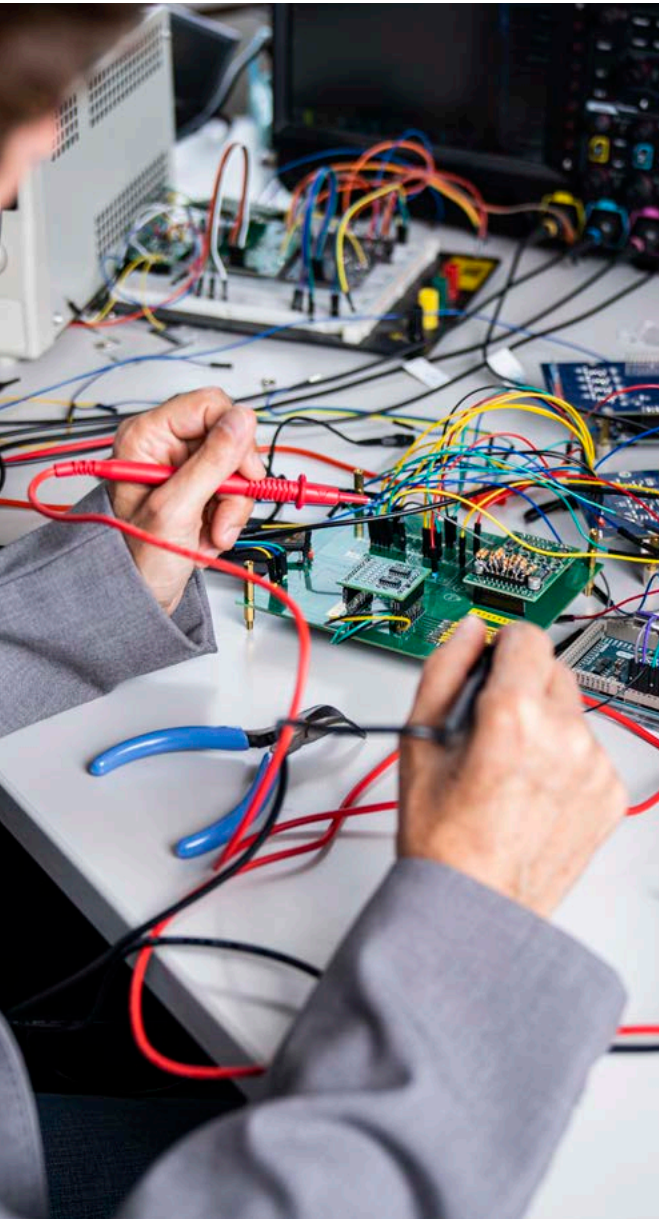
Elle se sent bien en Suisse, où le paysage de la recherche lui plaît. Aux Etats-Unis, le financement de base de la science n'existe pas: tout doit être obtenu par des fonds de tiers, auxquels on peut avant tout accéder par des coopérations avec d'autres chercheurs. Annalisa Manera s'est ainsi bâti son propre réseau. «Et maintenant, j'ai le meilleur des deux mondes, dit-elle. Je profite de mes nombreux contacts. Et du fait que je peux compter ici, en Suisse, sur un financement stable de mon laboratoire, j'ai plus de temps pour la recherche proprement dite.» Elle trouve que l'ambiance au PSI est un bon mélange d'exigence et de liberté constructive: «Ici, je peux aussi m'arrêter et réfléchir en profondeur, si nécessaire.»

L'un des thèmes sur lesquels elle et son groupe travaillent en ce moment est le refroidissement passif. Autrement dit, comment pourrait fonctionner un réacteur dont le liquide de refroidissement circulerait uniquement sur la base de principes physiques. «Lorsqu'on a une pompe, le comportement du liquide est assez prévisible, explique-t-elle. En revanche, si l'on veut simuler et comprendre le comportement passif des écoulements, il faut des modèles informatiques beaucoup plus complexes.» Parallèlement à ces calculs théoriques, son groupe de recherche à l'ETH Zurich conduit des expériences qui reproduisent le comportement des écoulements à plus petite échelle. Le travail aux deux instituts semble se faire main dans la main: au PSI, Annalisa Manera montre du doigt un bureau occupé par plusieurs composants électroniques colorés. «Nous concevons et nous fabriquons nos propres appareils de mesure à ultra-haute résolution pour les expériences», dit-elle.

Annalisa Manera doit nous quitter, car elle a rendez-vous, deux bâtiments plus loin, avec des représentants de l'Agence spatiale européenne ESA. «Une mission sur Mars ne serait pas faisable sans énergie nucléaire», note-t-elle en s'en allant.

On aimerait bien continuer à l'écouter et se laisser gagner par son enthousiasme pour la physique appliquée. Annalisa Manera a tant de chiffres et de relations de cause à effet en tête et tout prêts, sans pour autant donner de leçons en prenant les autres de haut. Mais ses deux calendriers – celui du PSI et celui de l'ETH – sont pleins. Elle fait un signe d'adieu de la main et disparaît à son prochain rendez-vous. ♦



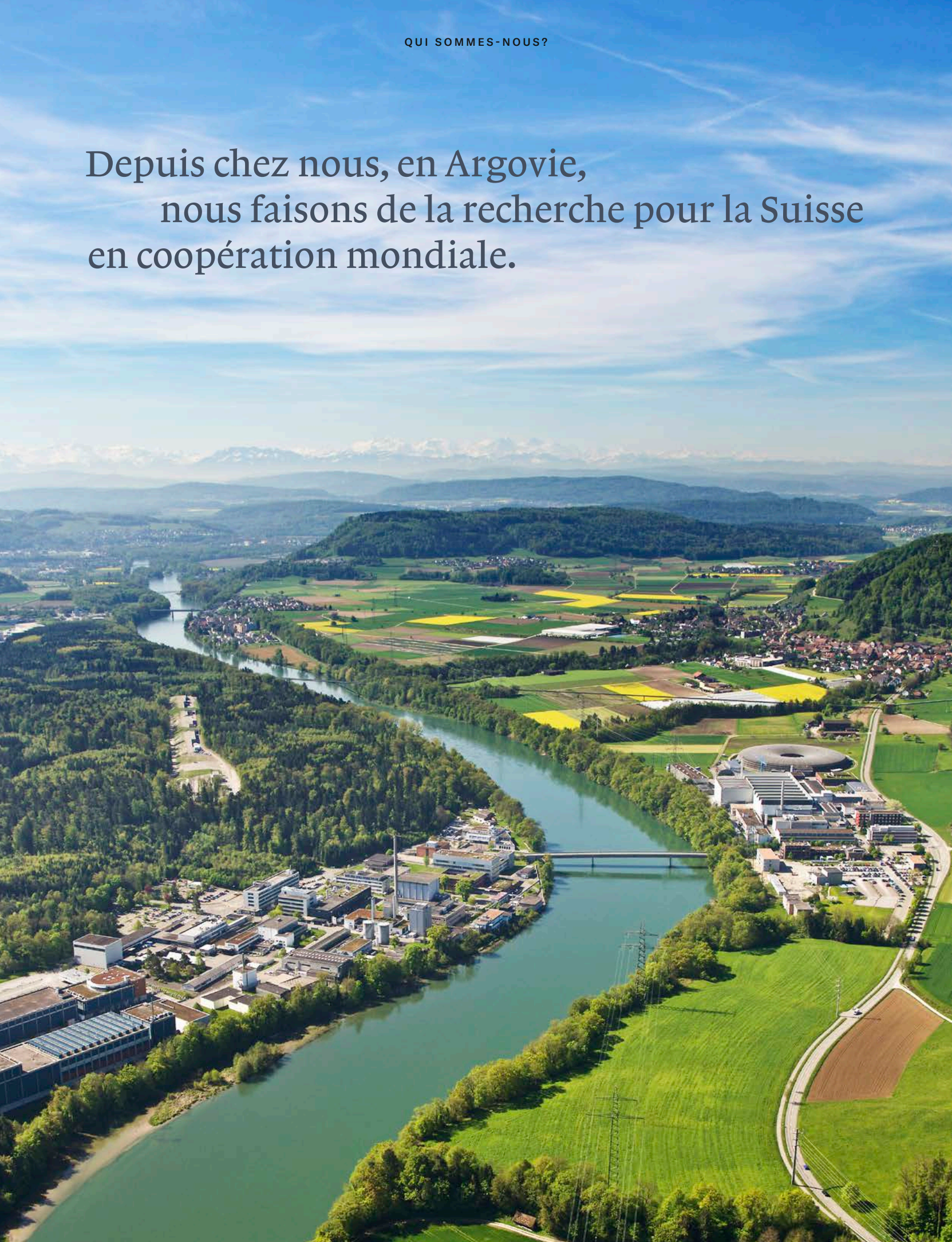


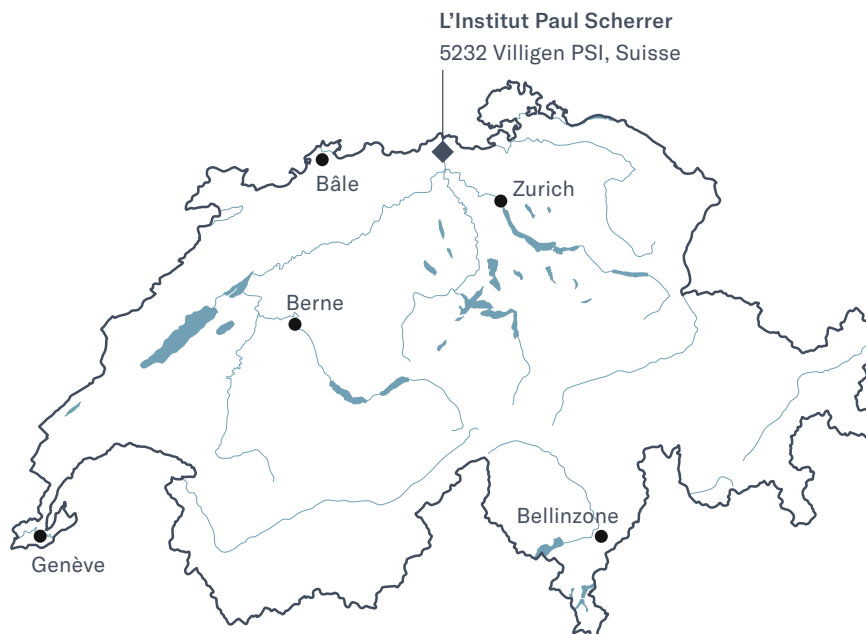
«Je voulais encore découvrir un autre environnement scientifique et élargir mon horizon.»

Annalisa Manera, responsable du groupe de recherche pour les expériences sur les fluides thermiques et la modélisation, PSI, et professeure en systèmes nucléaires et écoulements multiphasiques, ETH Zurich

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 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 342000 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. 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 nou-

veaux 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 postdocs.

IMPRESSUM

5232 – Le magazine de l'Institut Paul Scherrer

Paraît trois fois par an.
Numéro 3/2022 (septembre 2022)
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 10, 21, 34-37: Institut Paul Scherrer/Mahir Dzambegovic;
Page 29: ANAXAM/Feintool;
Page 38: Institut Paul Scherrer/
Markus Fischer.

Infographies

Studio HübnerBraun, sauf:
Pages 6-7: Daniela Leitner;
Page 41: illuteam.

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

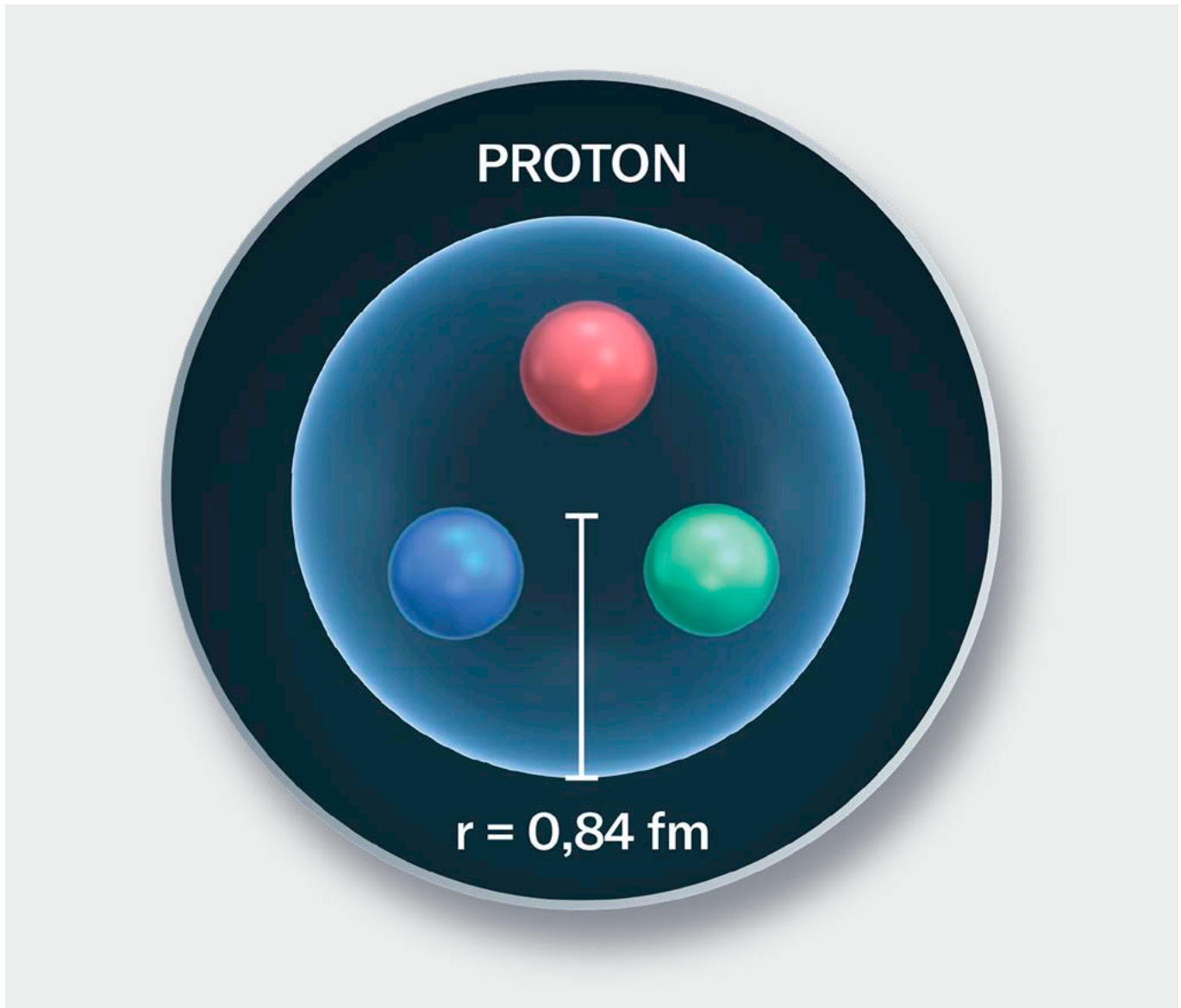
5232 est également disponible en allemand et en anglais

www.psi.ch/de/5232

www.psi.ch/en/5232

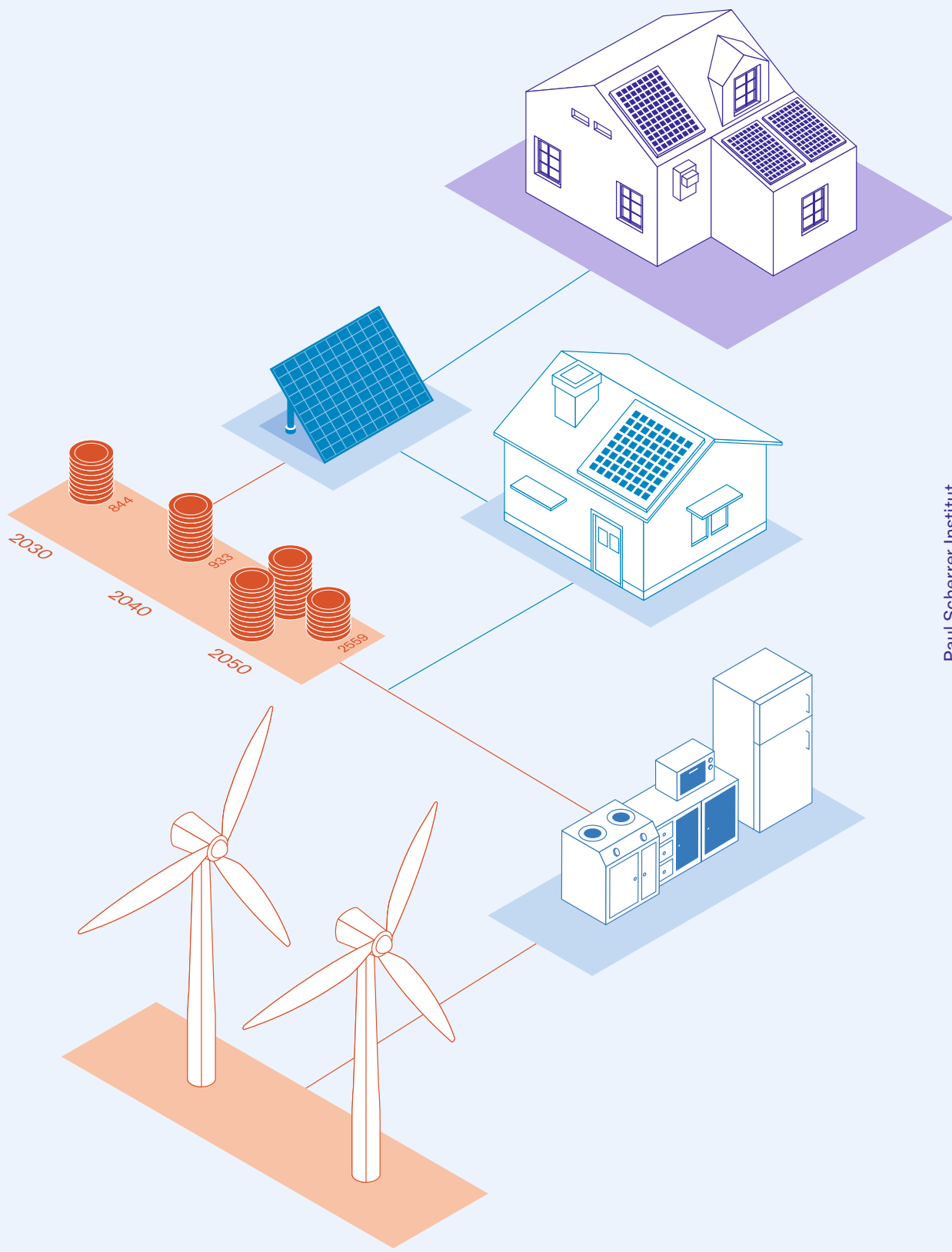
PAUL SCHERRER INSTITUT





Ce qui vous attend dans le prochain numéro

A l'Institut Paul Scherrer, les chercheurs aspirent à répondre à des questions centrales sur les structures fondamentales de la matière et les principes élémentaires de fonctionnement de la nature. Pour ce faire, ils étudient la structure et les propriétés d'atomes ainsi que de particules élémentaires. Ils repoussent alors les limites de la connaissance et partent en quête des derniers mystères de la nature. Ils se servent par exemple des grandes installations de recherche du PSI pour mesurer le diamètre de particules comme le proton ou le noyau d'hélium avec une précision inégalée. Ou ils examinent des phénomènes qui n'ont encore jamais été mesurés, comme le moment dipolaire électrique ou une désintégration spécifique du muon. Ces résultats de recherche pourraient bien modifier les lois fondamentales de la physique, telle que nous la connaissons aujourd'hui.



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