

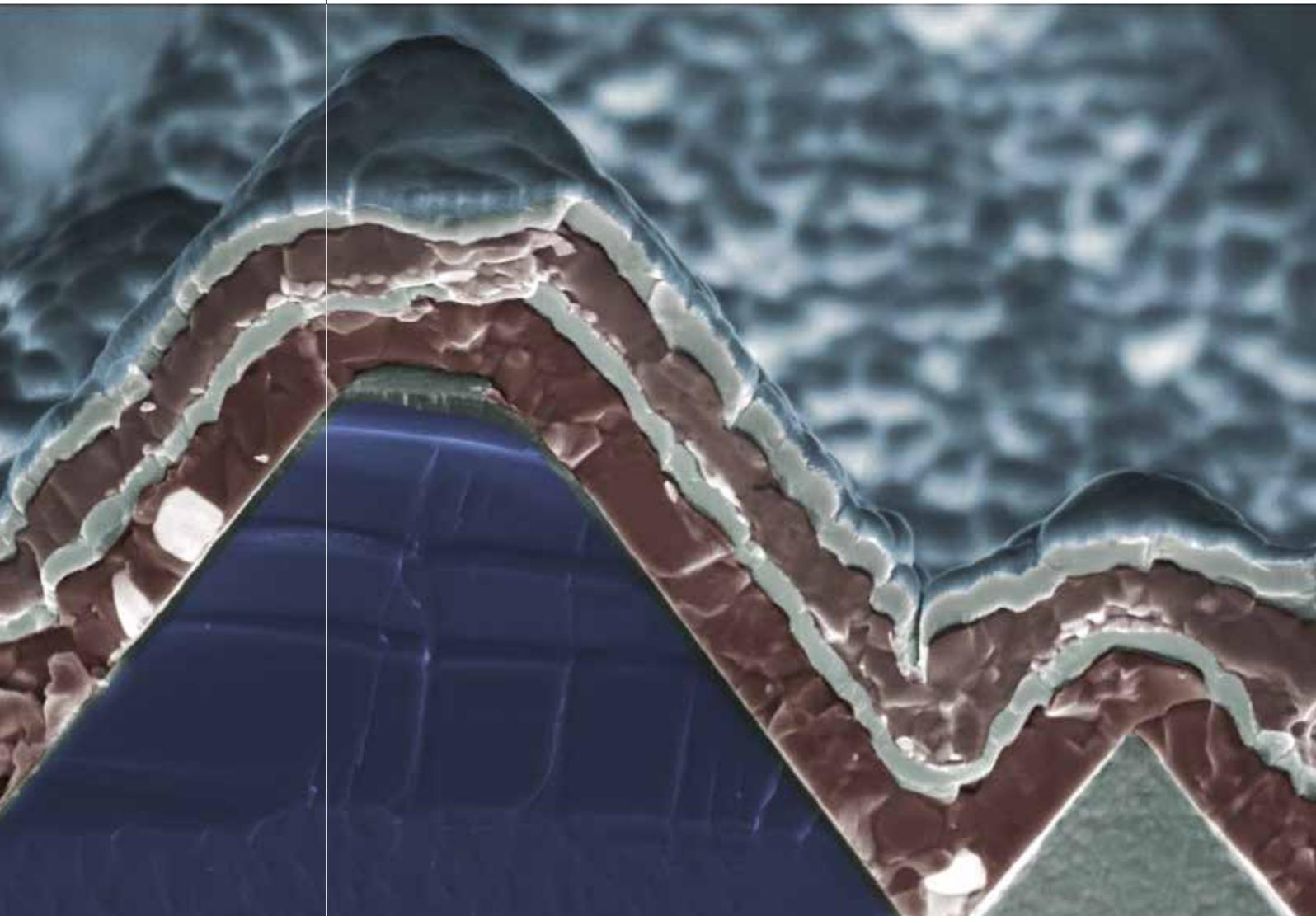


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Recherche énergétique et innovation

Rapport 2018







Editorial

«Renforcement des énergies renouvelables», «incitations à une utilisation efficace de l'énergie» et «sortie du nucléaire»: voici quelques mots-clés qui décrivent des jalons importants pour un approvisionnement en énergie sûr et durable de la Suisse. La transition initiée par la «Stratégie énergétique 2050» réserve des défis marqués par des développements économiques et technologiques ainsi que par des décisions politiques en Suisse et à l'étranger. En même temps, cette mutation constitue une chance pour le développement économique et l'innovation. La recherche indispensable à l'innovation est donc développée de manière ciblée dans le cadre de la «Stratégie énergétique 2050».

La recherche doit être en principe libre de toute directive mais un certain degré de coordination et de constance dans le domaine de l'énergie peut contribuer à ce que les objectifs et les besoins de la collectivité restent une priorité. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) joue ici un rôle prépondérant depuis plus de trois décennies par son encouragement de la recherche et de la technologie articulé autour de programmes. Les exemples présentés dans cette brochure reflètent un grand nombre de projets portés et suivis de près par l'OFEN.

Pascal Previdoli, directeur suppléant OFEN

(A gauche) Toit pliant solaire qui recouvre le bassin de décantation de la station d'épuration de Coire grâce à la technologie de la start-up dhp technology. Sur la prise de vue aérienne, les modules sont rétractés à moitié. Cette installation soutenue par l'OFEN en tant que projet pilote a été agrandie par la suite pour atteindre une puissance de 643 kWp. La station d'épuration peut consommer directement la quasi-totalité de l'électricité photovoltaïque produite. (source: dhp-technology.ch).

(Couverture) L'empilement de cellules photovoltaïques permet d'augmenter leur rendement. En 2018, des chercheurs du CSEM et de l'EPFL sont parvenus à déposer des cellules pérovskites (PSC) fonctionnelles sur la structure pyramidale de cellules en silicium. L'image montre une structure avec deux PSC (en brun) sur une cellule en silicium (en bleu). La structure pyramidale est importante pour capturer suffisamment bien la lumière incidente mais empêchait jusqu'ici un bon fonctionnement des cellules PSC ensuite déposées (Reprinted with permission from ACS Energy Lett. 2018, 3, 9, 2052–2058. Copyright 2018 American Chemical Society).

Sommaire

Editorial	3
Sommaire	4
Promotion de la recherche et de l'innovation	5
Programmes	6
Fonds en faveur de la recherche énergétique	6
Efficacité énergétique	
Production décentralisée et la dynamique du réseau	11
Potentiel thermique des tunnels urbains	13
Batteries à haute température fabriquées en Suisse	15
Une électronique de puissance efficace	17
L'aérogel de silice comme isolant thermique	17
Injection d'eau dans le moteur diesel	17
Energie renouvelable	
Aide à la planification pour la rénovation des centrales hydroélectriques	19
Des microorganismes qui produisent de l'électricité	21
Les «vieilles» installations photovoltaïques et les leçons qu'on peut en tirer	23
Pré-séchage novateur pour la biomasse humide	25
Chaudière à grille à vis sans fin	25
Abrasion dans les centrales hydroélectriques	25
Aspects socioéconomiques	
Le marché suisse du gaz dans le contexte européen	27
Coopération internationale	30

Turbine du parc éolien «Le Peuchapatte» dans le Jura avec une production annuelle de 13,5 GWh (correspond environ à 3 % de la consommation du Canton du Jura (© Suisse Eole, www.suisse-eole.ch))



Promotion de la recherche et de l'innovation

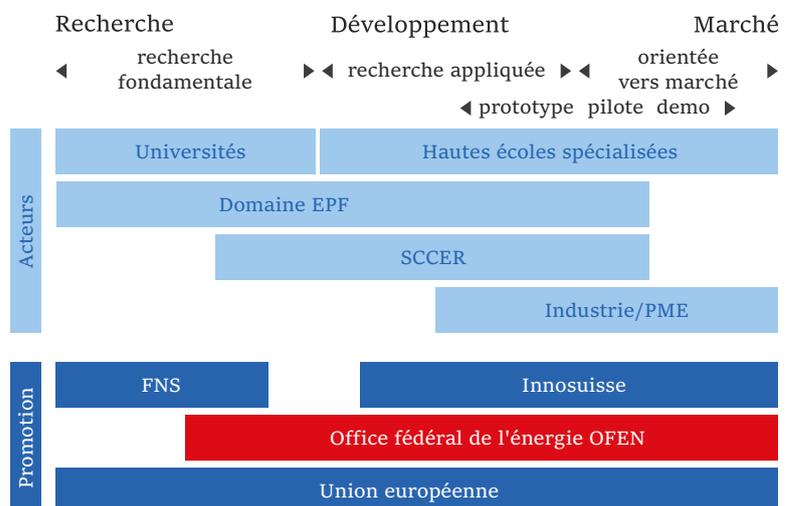
La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) est une commission extraparlamentaire qui élabore régulièrement le «plan directeur de la recherche énergétique». Elle établit ainsi les grandes lignes pour les objectifs et les mesures de soutien. Dans le but de concrétiser cette stratégie à l'échelle nationale, l'OFEN assume, avec ses programmes d'encouragement et son rôle de coordination, une fonction de plaque tournante dans le paysage suisse de la recherche énergétique.

L'OFEN encourage et coordonne la recherche nationale dans le domaine de l'énergie et soutient le développement de nouveaux marchés dans l'optique d'un approvisionnement en énergie durable. Afin d'assumer une telle tâche de coordination, il engage les moyens à sa disposition pour faire avancer de manière ciblée de nouvelles technologies et des concepts novateurs au travers de ses programmes. Il accorde un soutien subsidiaire aux domaines où il existe des lacunes en termes de promotion de l'innovation en Suisse (figure 1). Les mandataires sont des particuliers, le domaine des écoles polytechniques fédérales, des hautes écoles spécialisées et des universités. Les projets soutenus sont suivis par l'OFEN, qui, selon le cas, fait appel à des experts externes et à des représentants d'autres organismes de soutien.

L'OFEN favorise l'échange régulier d'informations entre les différents programmes nationaux d'encouragement, en particulier avec les pôles de compétence suisses en recherche énergétique SCCER (Swiss Competence Centers for Energy Research), et soutient les mesures visant la transmission générale des connaissances. Afin de concrétiser les objectifs de la Stratégie énergétique 2050, l'OFEN a élaboré un nouveau programme d'encouragement de la recherche baptisé «SWEET» (SWiss Energy research for Energy Transition) dans le but d'utiliser de manière ciblée les compétences et les capacités développées ces dernières années dans le cadre des SCCER. Ce programme pré-

vu pour dix ans doit permettre l'adjudication de projets de partenariat sur des thèmes définis par l'OFEN. Dans ce cadre, certains projets pourront avoir une durée de six à huit ans afin de prendre en compte les échelles de temps importantes que nécessitent les innovations technologiques dans le domaine de l'énergie. Les appels d'offres sont conçus de façon à donner la préférence aux coopérations entre les différents types de hautes écoles, le monde universitaire, les instituts de recherche, l'économie privée et les pouvoirs publics. Il s'agit d'encourager les partenariats inter- et transdisciplinaires, qui apportent une contribution déterminante à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050.

Figure 1: L'OFEN coordonne la recherche et l'innovation dans le domaine de l'énergie sur une grande partie de la chaîne de création de valeur. (Innosuisse = Agence suisse pour l'encouragement de l'innovation; UE = Union européenne; FNS = Fonds national suisse; SCCER = Swiss Competence Centers for Energy Research).



Programmes

Le défi pour la recherche énergétique réside dans les divergences entre les perspectives ou visions à long terme et les réalités économiques et politiques à court terme. Au vu de temps nécessaire pour intro-

duire les nouveaux systèmes et approches technologiques dans le domaine de l'énergie, les développements techniques associés relèvent plutôt du long terme. Les programmes de recherche de l'OFEN qui sont axés

sur le long terme combinés au programme de soutien aux projets pilotes et de démonstration et aux projets phares permettent ainsi un transfert plus rapide vers des technologies commercialisables.

 Bâtiments et cités	 Piles à combustible	 Bioénergie
 Mobilité	 Batteries	 Force hydraulique
 Processus industriels	 Pompes à chaleur et froid	 Géoénergie
 Réseaux	 Chaleur solaire et stockage de la chaleur	 Énergie éolienne
 Technologies de l'électricité	 Photovoltaïque	 Barrages
 Systèmes énergétiques à combustion	 Énergie solaire à haute température (CSP)	 Énergie - économie - société
	 Hydrogène	 Déchets radioactifs

Informations complémentaires:

«Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2017-2020», CORE (2016)

«Plan directeur de la recherche énergétique de l'Office fédéral de l'énergie 2017-2020», BFE (2016)

Fonds en faveur de la recherche énergétique

Depuis 1977, l'OFEN recense des données relatives aux projets de recherche et développement et aux projets pilotes et de démonstration. Ce relevé ne concerne que les projets financés – totalement ou en partie – par les pouvoirs publics (Confédération et cantons), le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), Innosuisse ou l'Union européenne (UE).

Le recensement est effectué sur la base de la consultation de bases de données de la Confédération, du FNS et de l'UE, de l'analyse de rapports annuels et de gestion, ainsi que d'une déclaration des responsables de la recherche des institutions concernées. Les informations relatives à chaque projet spé-

cifique sont disponibles dans le système d'information public de la Confédération (www.aramis.admin.ch), du FNS (p3.snf.ch) et de l'UE (cordis.europa.eu), ainsi que sur le site Internet des institutions concernées.

La figure 2 montre les dépenses publiques consacrées

à la recherche énergétique en Suisse depuis 1990 (en millions de francs, après correction du renchérissement) dans les quatre principaux domaines selon la classification suisse. De manière générale, la recherche énergétique y a été développée ces dernières années dans le cadre de la «Stratégie énergé-

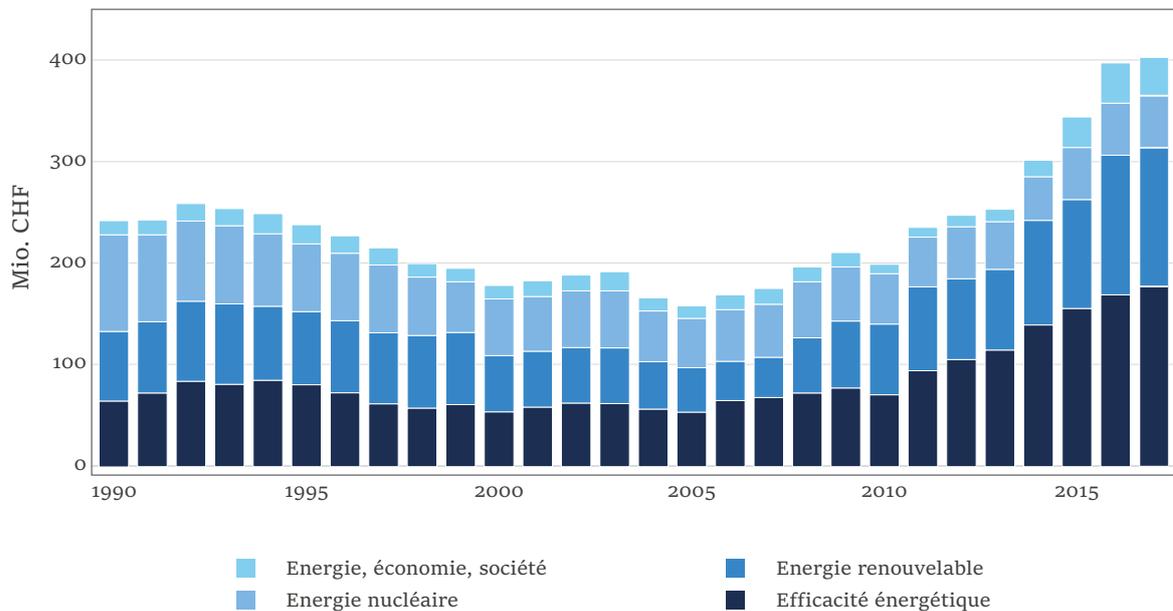


Abbildung 2: Aperçu à long terme des fonds publics dépensés pour la recherche énergétique. Les données sont présentées en valeurs réelles, c'est-à-dire corrigées du renchérissement. Les valeurs se situent entre 0,3 et 0,65 pour mille du produit intérieur brut.

tique 2050» et du plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée». Les éléments suivants y ont largement contribué: (1) la constitution, en 2013, de pôles de compétence en recherche énergétique à l'échelle nationale par la CTI/Innosuisse (Swiss Competence Center for Energy Research, SCCER), qui ont été reconduits pour la deuxième phase en 2017, (2) de nouveaux programmes nationaux de recherche (PNR 70 et 71) du FNS dans le domaine de l'énergie et (3) un développement ciblé des activités pilotes et de démonstration de l'OFEN. Le Conseil des EPF disposait par ailleurs de fonds pour une extension de l'infrastructure et des capacités, qui ont également contribué à l'augmentation des moyens de la recherche énergétique. Une part de cette hausse est, par ailleurs, aussi imputable à des adaptations de la saisie des données, par exemple une prise en compte

cohérente des frais généraux, qui ont entraîné une augmentation des prestations propres du domaine des EPF et des universités.

La figure 3 révèle qu'une part importante des fonds publics consacrés à la recherche énergétique (42%) est directement définie par les objectifs stratégiques du Conseil des EPF, en vertu desquels les priorités de la recherche et les moyens des écoles polytechniques fédérales et des institutions du domaine des EPF sont fixés. L'actuel plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération, élaboré par la CORE, sert d'orientation et comprend une vision commune de la communauté des chercheurs suisses, avec des recommandations pour la recherche énergétique financée par les pouvoirs publics en Suisse. D'autres contributions substantielles pour la recherche éner-

gétique proviennent des cantons (16%), par le biais du financement des universités et des hautes écoles spécialisées.

La part (41%) des moyens mis à disposition par Innosuisse, le FNS, le Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI), l'UE et l'OFEN est de nature compétitive. Les fonds de l'UE et du SEFRI consacrés aux projets sont en grande partie injectés dans des projets européens.

L'OFEN soutient assez largement des acteurs du domaine des EPF, des universités, des hautes écoles spécialisées et de l'industrie (figure 4). Il assume ainsi son rôle de coordination et fournit une contribution essentielle à la mise en œuvre des résultats de la recherche et du développement dans l'optique d'innovations commercialisables.

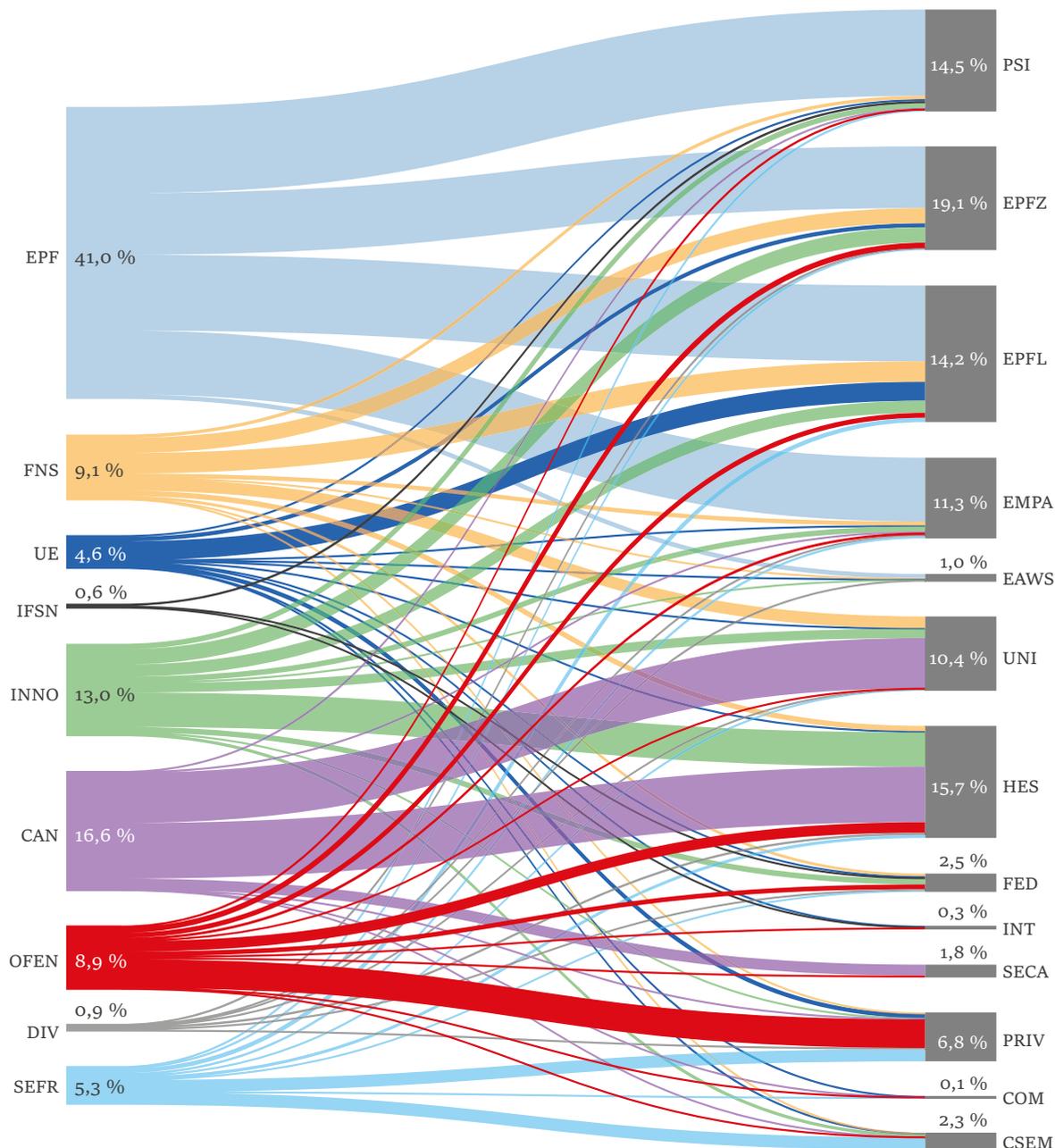


Figure 3: Origine des fonds publics (à gauche) pour la recherche énergétique suisse en 2017 (total: 410 millions de francs) et leur utilisation (à droite) dans les institutions du secteur de la recherche énergétique. Les fonds privés ne sont pas pris en compte (p. ex. prestations propres importantes dans des projets d'Innosuisse ou des projets pilotes et de démonstration de l'OFEN). Les chiffres sont indiqués en millions de francs.

Origine: EPF: Conseil des EPF, FNS: Fonds national suisse, UE: Union européenne, IFSN: Inspection fédérale de la sécurité nucléaire, INNO: Innosuisse (CTI), CAN: cantons, OFEN: Office fédéral de l'énergie, DIV: divers, SEFR: Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation SEFRI

Utilisation: PSI: Institut Paul Scherrer, EPFZ: EPF de Zurich, EPFL: EPF de Lausanne, EMPA: Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche, EAWS: Eawag/WSL = Eawag: Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux et WSL: Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, UNI: universités, HES: hautes écoles spécialisées, FED: autres services fédéraux, INT: organisations internationales, SECA: autres services cantonaux, PRIV: économie privée, COM: communes, CSEM: Centre suisse d'électronique et de microtechnique.

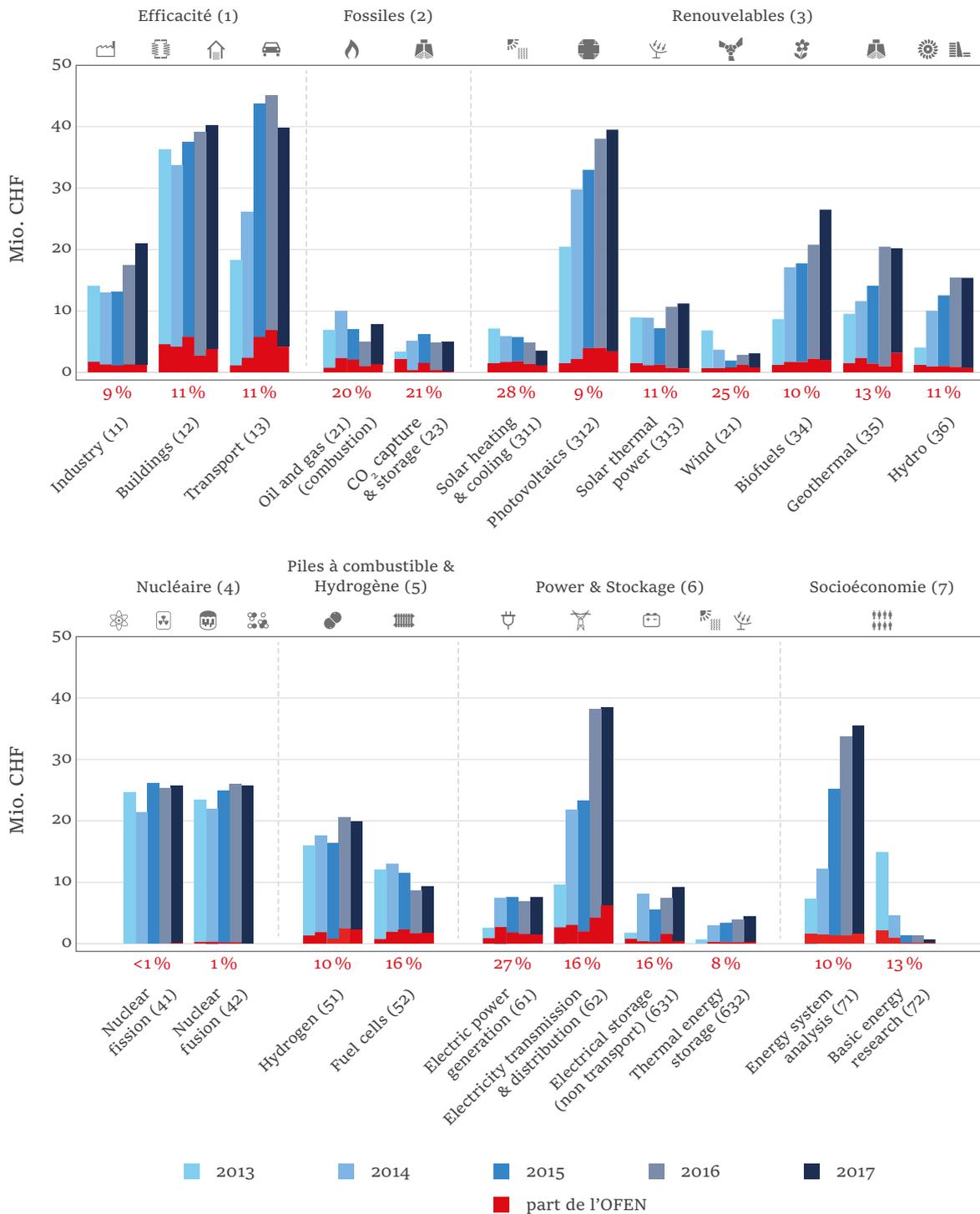


Figure 4: Evolution des dépenses pour la recherche énergétique suisse dans différents domaines, définis d'après la classification de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), pour les années 2013 à 2017. Dans un souci de vue d'ensemble, les classifications sont présentées sommairement sans sous-classifications. Les données détaillées peuvent être consultées sur le site «www.recherche-energetique.ch». Des thèmes comme les pompes à chaleur et la récupération de chaleur relèvent des classifications «Buildings» et «Industry».

Les parts signalées en rouge correspondent à l'encouragement de l'OFEN (projets de recherche et développement / projets pilotes et de démonstration). La part de l'OFEN se situe entre quelques pour cent et plus de 30%.

L'augmentation des fonds publics en faveur de la recherche énergétique (voir figure 2) et les activités de recherche qui en découlent interviennent en particulier dans le domaine des réseaux, des transports, de la biomasse, du photovoltaïque et de la recherche socio-économique.

Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique revêt une grande importance pour réaliser les objectifs prévus dans la «Stratégie énergétique 2050» de la Confédération. Depuis 2013 les capacités de recherche en matière de réseaux, de bâtiments et d'industrie, de mobilité et de technologies de stockage ont été considérablement renforcées.

Aujourd'hui, les potentiels disponibles dans tous ces domaines sont loin d'être exploités pleinement. La recherche énergétique doit contribuer à identifier ces potentiels et à trouver des solutions techniquement réalisables et économiquement supportables pour les exploiter.



Production décentralisée et la dynamique du réseau

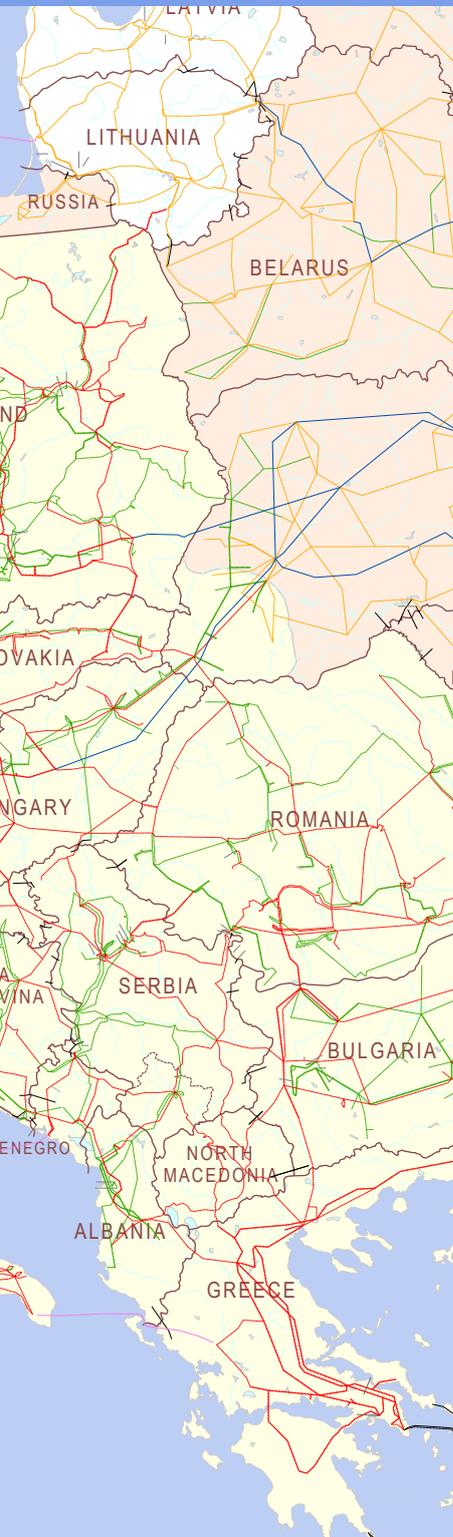
Le mode de fonctionnement des réseaux de transport électrique doit s'adapter et nécessite de nouveaux instruments pour une surveillance en temps réel et le maintien d'une exploitation stable. En effet, le développement de sources d'énergie renouvelables influe sur le comportement dynamique du réseau. Notamment, le remplacement des générateurs tournants, qui avaient jusqu'ici un effet stabilisateur sur le réseau en tant qu'accumulateurs de courte durée, par des onduleurs pose de nouveaux défis.

Um Pour atteindre leurs objectifs de développement durable, la Suisse, l'Europe et la plupart des pays industrialisés encouragent le développement de sources d'énergie renouvelables décentralisées. Mais aujourd'hui, le système électrique continental est encore largement alimenté par des générateurs synchrones (50 Hz), c'est-à-dire de grandes masses en rotation qui sont interconnectées sur une large échelle par le réseau de transport électrique. Des projets tels qu'«European Power System 2040» montrent que la complexité actuelle du réseau européen augmentera encore lorsque 75% des besoins européens en électricité seront couverts par des sources renouvelables, ce qui ne sera possible que par l'échange transfrontalier.

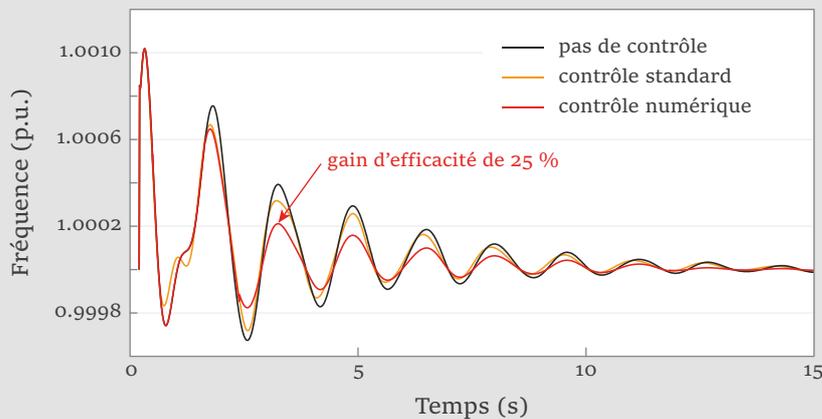
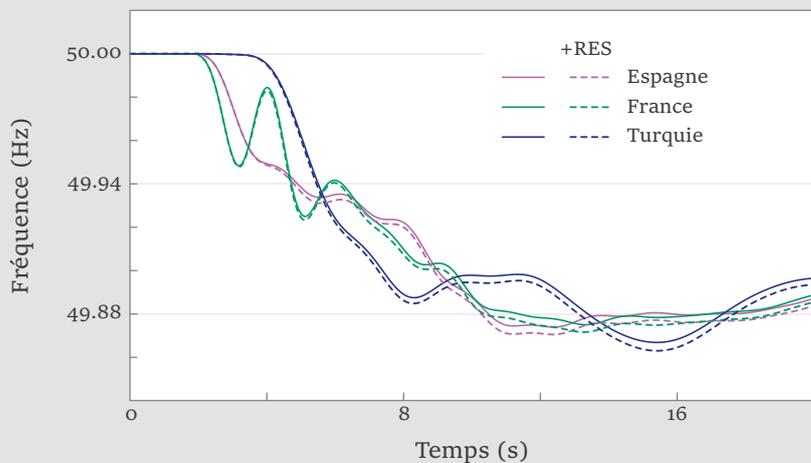
Le réseau de transport électrique actuel en Europe continentale est comparable à

un système composé de trois masses reliées par des ressorts: la défaillance soudaine de certaines lignes et centrales électriques fait chanceler le système et compromet la sécurité d'approvisionnement. Le développement de sources d'énergie renouvelables, en particulier l'éolien et le photovoltaïque, pose de nouveaux défis à la gestion en temps réel du système non seulement en raison des fluctuations de l'injection, mais aussi des effets découlant du raccordement au réseau par des onduleurs modernes.

Jusqu'ici, on ignore comment le comportement dynamique du réseau de transport en sera affecté. Afin de répondre à cette question le projet transnational «CloudGrid» simule le réseau d'interconnexion européen. Le modèle de réseau dynamique le plus détaillé qui est disponible à l'heure actuelle, développé par le Réseau euro-



Réseau de lignes de transmission en Europe (source: www.entsoe.eu).



Réponse de fréquence en trois endroits choisis au hasard dans le réseau européen (Espagne, France et Turquie) après l'arrêt de deux générateurs synchrones (masses en rotation) d'une puissance de 2 800 MW en France au moment $t = 0$. Les lignes continues se rapportent au réseau actuel (avec des centrales nucléaires en Allemagne et en Suisse), les lignes pointillées au même réseau sans centrales nucléaires en Allemagne ni en Suisse, mais avec 10 GW de courant renouvelable (+RES) aux mêmes nœuds. Ce ne sont pas les énergies renouvelables et leurs fluctuations qui font la différence, mais l'électronique de puissance utilisée pour l'injection de courant produit qui remplace la masse en rotation des centrales traditionnelles (source: ZHAW).

Comparaison de l'atténuation des oscillations dans la réponse de fréquence (écarts par rapport à la référence par unit) après la survenue d'une perturbation du réseau, une fois avec la technique de contrôle appliquée jusqu'ici et une fois avec la technique de commande numérique développée dans ce projet (source: ZHAW).

péen des gestionnaires de réseau de transport d'électricité (ENTSO-E), est dans ce projet utilisé pour la première fois à cette fin. Comme exemple, les variations de fréquence pour trois lieux choisis au hasard dans la modélisation sous l'effet d'une défaillance soudaine de deux générateurs synchrones en France, d'une puissance totale de 2600 MW, sont reproduites dans l'illustration du haut. Pour simuler les conséquences de l'arrêt des centrales nucléaires en Suisse et en Allemagne, les générateurs synchrones concernés sont remplacés par des injections de 10 GW de courant d'origine renouve-

lable, avec des répercussions directes sur la fréquence et son taux de variation. L'illustration du haut montre les courbes de fréquence subséquentes, qui prennent généralement des valeurs inférieures. La baisse est d'ores et déjà significative et devrait encore s'accroître avec une part accrue d'énergie renouvelable.

Aussi bien le comportement dynamique du système que la façon de l'exploiter doivent ainsi évoluer. Des infrastructures de mesure existantes telles que les systèmes de surveillance à longue portée permettent un contrôle plus ra-

pide et fiable que les systèmes classiques. La méthodologie développée dans le cadre du projet «CloudGrid» utilise des mesures de synchrophaseur pour adapter activement les paramètres de commande et empêcher ainsi une défaillance du système. L'illustration du bas compare l'efficacité d'une commande conventionnelle avec celle de cette nouvelle méthode. Elle montre que cette dernière permet d'atténuer l'oscillation avec un gain d'efficacité allant jusqu'à 25%.

Rafael Segundo, ZHAW



Potentiel thermique des tunnels urbains

Tunnelröhre der U-Bahn in München (Quelle: Wikipedia, Autor: OhWeh).

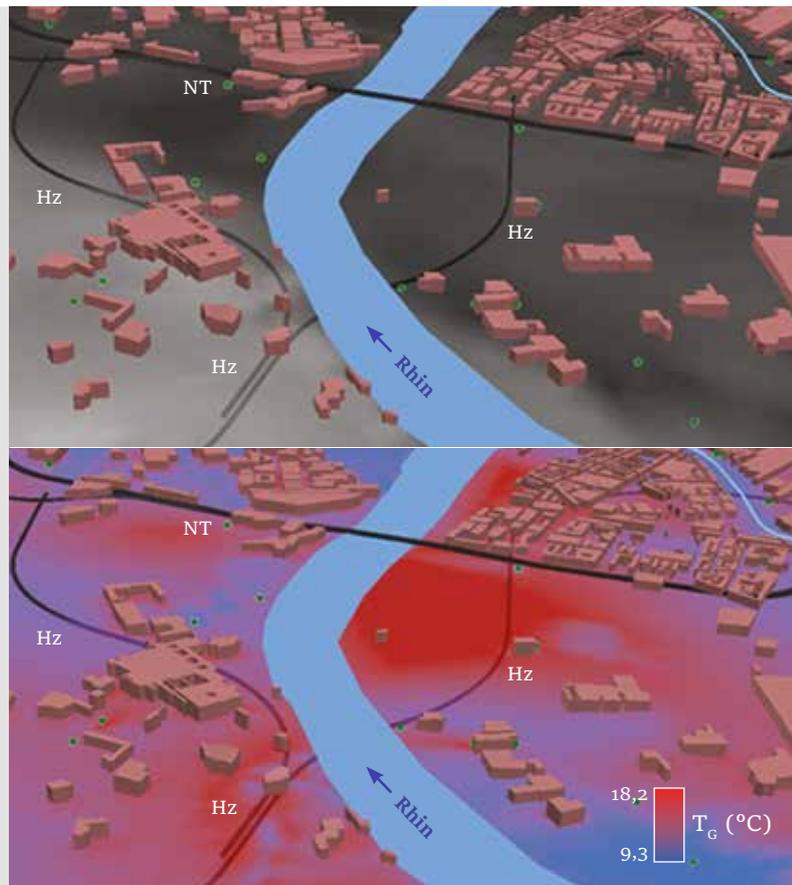
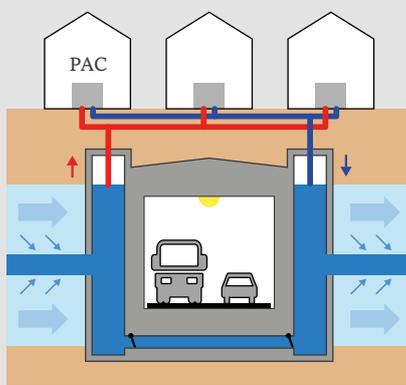
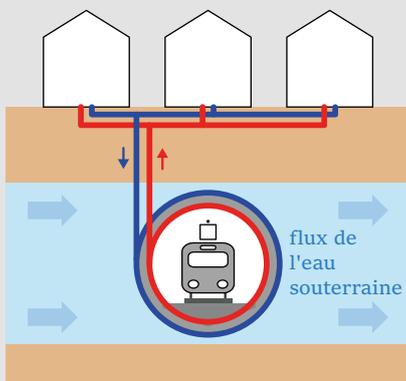
Dans les régions urbaines, les eaux souterraines ont souvent une température plus élevée et présentent un potentiel énergétique qui pourrait être exploité par voie souterraine. La faisabilité d'une telle utilisation des tunnels fait actuellement l'objet d'une analyse dans l'agglomération de Bâle.

Une augmentation de la température des eaux souterraines de la ville de Bâle pouvant aller jusqu'à 18 °C est observée suite à l'exploitation thermique du sous-sol en lien avec la climatisation des bâtiments et la chaleur induite par les constructions souterraines (bâtiments, tunnels, etc.). La question se pose de savoir si l'on peut récupérer cette chaleur et stabiliser ainsi l'évolution de la température des eaux souterraines. De premières études montrent que l'énorme quantité de rejets de

chaleur dans le sous-sol pourrait couvrir par endroits 20 à 100% de la demande en énergie de chauffage.

Des chercheurs de l'Université de Bâle développent actuellement des outils pour évaluer l'exploitation énergétique des tunnels et étudier les influences thermiques sur les ressources en eaux souterraines. Le transport de chaleur par les courants d'eau souterraine dans la roche meuble très perméable est essentiel à cet égard. Les im-

portantes surfaces de contact entre les tunnels et le sous-sol permettent ici une exploitation thermique, en particulier dans les quartiers où des réaménagements à large échelle sont prévus et dont les besoins en énergie peuvent être couverts par des systèmes de pompe à chaleur «actifs» qui utilisent l'eau souterraine et des absorbeurs d'énergie «passifs». Les échangeurs de chaleur installés dans les segments des tunnels constituent des systèmes dits «passifs» (voir l'illustration du



Exploitation thermique des tunnels (en haut) avec des éléments absorbants dans le coffrage du tunnel et (en bas) avec une exploitation de l'eau souterraine au moyen de systèmes de pompe à chaleur (PAC).

(En haut) Constructions souterraines urbaines dans le coude du Rhin à Bâle: tracé des infrastructures ferroviaires prévues (élément central [Hz] du tunnel destiné au trafic régional) et des infrastructures autoroutières existantes (tangente nord [NT]) par rapport à la couche de roche dans le sous-sol (surface grise). (En bas) Températures actuelles des eaux souterraines dans le coude du Rhin à Bâle (source: Université de Bâle).

haut). Des systèmes «actifs» sont utilisés dans les conduites d'eau souterraine qui passent sous les tunnels. Ces systèmes garantissent la continuité de l'eau souterraine et évitent les effets de remous ainsi que les zones de stagnation dans les tunnels.

Il existe différentes solutions pour une exploitation thermique en fonction du type de tunnel et des conditions locales du sous-sol : dans les tunnels ferroviaires, la chaleur dégagée par les trains, avec des températures de 30 °C, peut être utilisée de manière «passive» tout en refroidissant l'in-

frastructure du tunnel. Les tunnels autoroutiers de grand diamètre conviennent mieux à une utilisation «active», en particulier quand le tunnel est transversal à un écoulement souterrain dans la roche meuble.

Une étude menée actuellement à Bâle montre qu'il serait possible d'exploiter des puissances thermiques de près de 4,8 et 1,8 MW dans deux tronçons d'une longueur de 740 et 280 mètres situés aux entrées d'un nouveau tunnel ferroviaire destiné au trafic régional. Cela correspond à 10 et 3,7 GWh de chaleur qui pourraient ainsi être fournis pendant la période

de chauffage. Dans le tunnel autoroutier qui doit passer sous le Rhin, seules des sections transversales à l'écoulement souterrain comparativement chaud conviennent à une exploitation thermique. Il serait envisageable d'exploiter une puissance thermique de près de 0,5 MW dans une section d'une longueur de 320 mètres. Les résultats obtenus à Bâle peuvent servir à développer des stratégies pour une gestion durable des ressources du sous-sol urbain.

Jannis Epting et Peter Huggenberger, Université de Bâle

Batteries à haute température fabriquées en Suisse

Les batteries sodium-chlorure de nickel (NaNiCl) sont des batteries spéciales éprouvées d'une grande fiabilité. Sur la base de premiers travaux de recherche à la fin des années 1970 en Afrique du Sud, cette technologie a été développée ces dernières décennies en Grande-Bretagne, en Allemagne et en Suisse. Aujourd'hui, les batteries NaNiCl de l'entreprise suisse FZSoNick sont fabriquées à Stabio (Tessin). FZSoNick est le leader mondial dans la fabrication de ce type de batteries avec plus de 150 employés et une capacité de production de 800 000 cellules (80 MWh) par an.

La production de ces batteries utilise des matières premières qui sont entièrement recyclables et disponibles en grandes quantités (inox, nickel, fer, sel gemme, électrolyte en céramique à base d'oxyde d'aluminium). Les cellules chargées se composent d'une anode de sodium liquide, d'une cathode partiellement liquide et d'un électrolyte solide en céramique comme composants actifs. La température

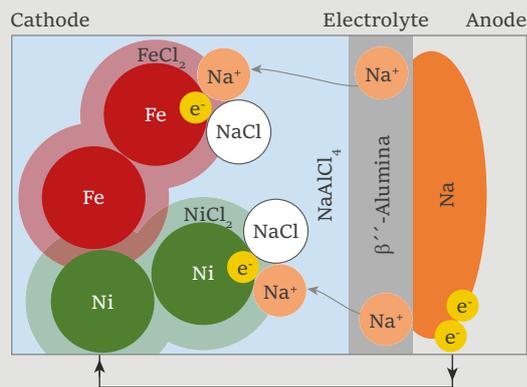
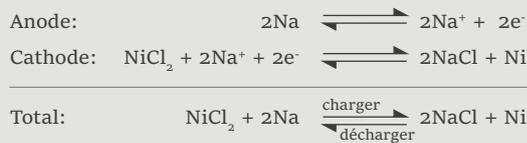
interne de fonctionnement de la cellule s'élève à près de 270 °C afin de réduire la résistance interne de la cellule et ainsi renforcer l'efficacité énergétique de la batterie. La température de surface extérieure des batteries ne dépasse, elle, que de quelques degrés la température ambiante. Les batteries NaNiCl ont une durée de vie de 20 ans, ne nécessitent aucun entretien jusqu'à 4500 cycles de charge et

de décharge et, contrairement aux batteries au lithium-ion, supportent des températures extérieures entre -20 °C et +60 °C à puissance constante.

Au vu de ces propriétés, les batteries NaNiCl présentent de faibles coûts totaux pour les applications de stockage dans le domaine des télécommunications, des systèmes embarqués dans le trafic ferroviaire

Un avantage de la technologie sodium-chlorure de nickel tient à ce que la fabrication ne doit pas se faire sous atmosphère protectrice. Les essais en «glovebox» (p. ex. avec du sodium métallique) aident à déterminer les procédés qui réduisent la vitesse de charge des cellules «de pointe» (source: Empa).





Structure schématique d'une cellule sodium-chlorure de nickel (NaNiCl): cathode en nickel et chlorure de sodium (NaCl) qui contient par ailleurs du fer (Fe), ce qui permet des taux de charge et de décharge plus élevés. Anode en sodium, électrolyte en oxyde d'aluminium. Les équations chimiques de l'anode et de la cathode sont indiquées en haut.

Les cellules NaNiCl doivent être isolées thermiquement car la température de fonctionnement de telles batteries s'élève à près de 270 °C pour que les électrodes soient à l'état liquide et que l'électrolyte possède une haute conductivité (source: FIAMM SoNick, R. Simon).

ou de l'alimentation sans coupure. Avec des densités énergétiques spécifiques de 140 Wh/kg et de 280 Wh/litre au niveau de la cellule, elles sont en outre 70% plus légères et 30% plus petites que les systèmes de stockage classiques à base d'acide et de plomb. Les batteries NaNiCl les plus modernes sont aussi utilisées dans les grands accumulateurs d'énergie stationnaires (jusqu'à 1,4 MWh, 400 kW) et pour les applications de mobilité électrique (véhicules utilitaires, bus, exploitation des mines). Par rapport aux batteries au lithium-ion, les batteries NaNiCl présentent toutefois des désavantages : des taux de charge et de décharge plus faibles et un processus de fabrication relativement complexe. Pour l'heure, les coûts de cette technologie ne sont pas encore au même niveau que les batteries au lithium-ion, qui sont devenues nettement

plus avantageuses ces derniers temps du fait des économies d'échelles réalisées suite à leur forte diffusion.

La recherche a donc pour objectif d'améliorer le procédé industriel des batteries NaNiCl, ce qui doit renforcer la compétitivité tout en améliorant l'efficacité du processus sur le plan de l'énergie et des ressources. Des chercheurs de l'Empa et de l'EPFL développent une nouvelle génération de cellules NaNiCl à haute capacité en collaboration avec l'entreprise FZSoNick dans le cadre d'un nouveau projet lancé en 2018. Ils travaillent ensemble à la conception des cellules, au développement de l'électrolyte en céramique et des électrodes. Contrairement aux cellules tubulaires qui sont répandues aujourd'hui, il est là question de développer une géométrie

plane qui réduit la complexité de la fabrication, augmente les taux de charge et améliore la fiabilité tout en garantissant une haute sécurité d'exploitation et une longue durée de vie.

Une modélisation multiphysique en corrélation avec une caractérisation électrochimique des cellules permet de déterminer des procédés qui réduisent la vitesse de charge de la nouvelle génération de cellules NaNiCl. Ces résultats permettent d'adapter la composition et la microstructure de la cathode et des collecteurs de courant afin de maximiser la part de matériau actif et d'accroître les taux de charge. Par ailleurs, la recherche porte sur de nouveaux procédés de fabrication des cellules pour permettre la fabrication de masse.

Meike Heinz, Empa

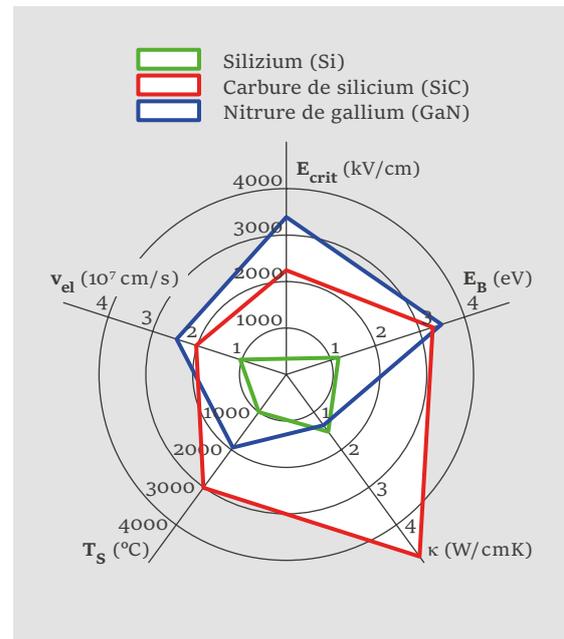
Une électronique de puissance efficace

L'utilisation de semi-conducteurs à large bande comme le carbure de silicium (SiC) ou le nitrure de gallium (GaN) dans les composants pour l'électronique de puissance promet des hausses d'efficacité significatives par rapport au silicium ordinaire. Le champ d'application de ces composants est immense et va de la petite alimentation (ordinateurs et téléphones portables) aux plus grands domaines de puissance, comme la propulsion électrique, en passant par les onduleurs pour le photovoltaïque. Une étude américaine de 2015 estime le

potentiel d'économie annuel à plus de 7500 GWh dans le seul domaine des ordinateurs portables, des tablettes et des téléphones portables. À l'initiative de l'OFEN, une vaste évaluation des technologies ainsi que l'élaboration d'une feuille de route pour les applications les plus prometteuses sont réalisées dans le cadre de la collaboration avec l'AIE.

Roland Brüniger

Par rapport au silicium, les semi-conducteurs SiC et GaN ont une plus grande bande interdite (E_B), sont plus rapides (v_{el}), conduisent mieux la chaleur (k) et peuvent être exploités sous une tension plus élevée (E_{crit}) (T_s = point de fusion).



L'aérogel de silice comme isolant thermique

Grâce à sa conductivité thermique extrêmement faible, l'aérogel de silice peut servir d'isolant thermique en couches minces et s'avère particulière-

ment intéressant pour les rénovations de bâtiments en milieu urbain. Malheureusement, sa fabrication est aujourd'hui coûteuse et peu efficace. Une installation pilote de l'Empa vise à démontrer la faisabilité technique et économique d'une fabrication industrielle pour faire passer l'aérogel de silice d'un marché de niche à une application à large échelle.

Wim Malfait, Empa

Injection d'eau dans le moteur diesel

La réduction des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de suie des grands moteurs diesel utilisés pour la propulsion des bateaux et la production stationnaire d'électricité est un défi. Pour réduire à un minimum les besoins liés à l'installation et à l'exploitation de compo-

sants externes tels que des catalyseurs et des filtres à particules, la recherche porte sur des mesures de réduction des émissions au niveau des moteurs. On connaît la recirculation des gaz d'échappement (EGR) qui, si elle réduit la formation de NO_x , abaisse en même temps la température de combustion et produit davantage de suie en raison d'une oxydation insuffisante. En injectant de l'eau dans le carburant, l'Institut Paul Scherrer a pu montrer, sur un moteur équipé de l'EGR, que les émissions de suie peuvent être réduites de 85% tout en faisant baisser les émissions de NO_x . Le rendement du moteur a même augmenté de 0,85%. L'effet est attribué à une évaporation explosive des gouttes d'eau dans le moteur qui entraîne une meilleure pulvérisation et, ainsi, une meilleure combustion. Stephan Renz

Stephan Renz



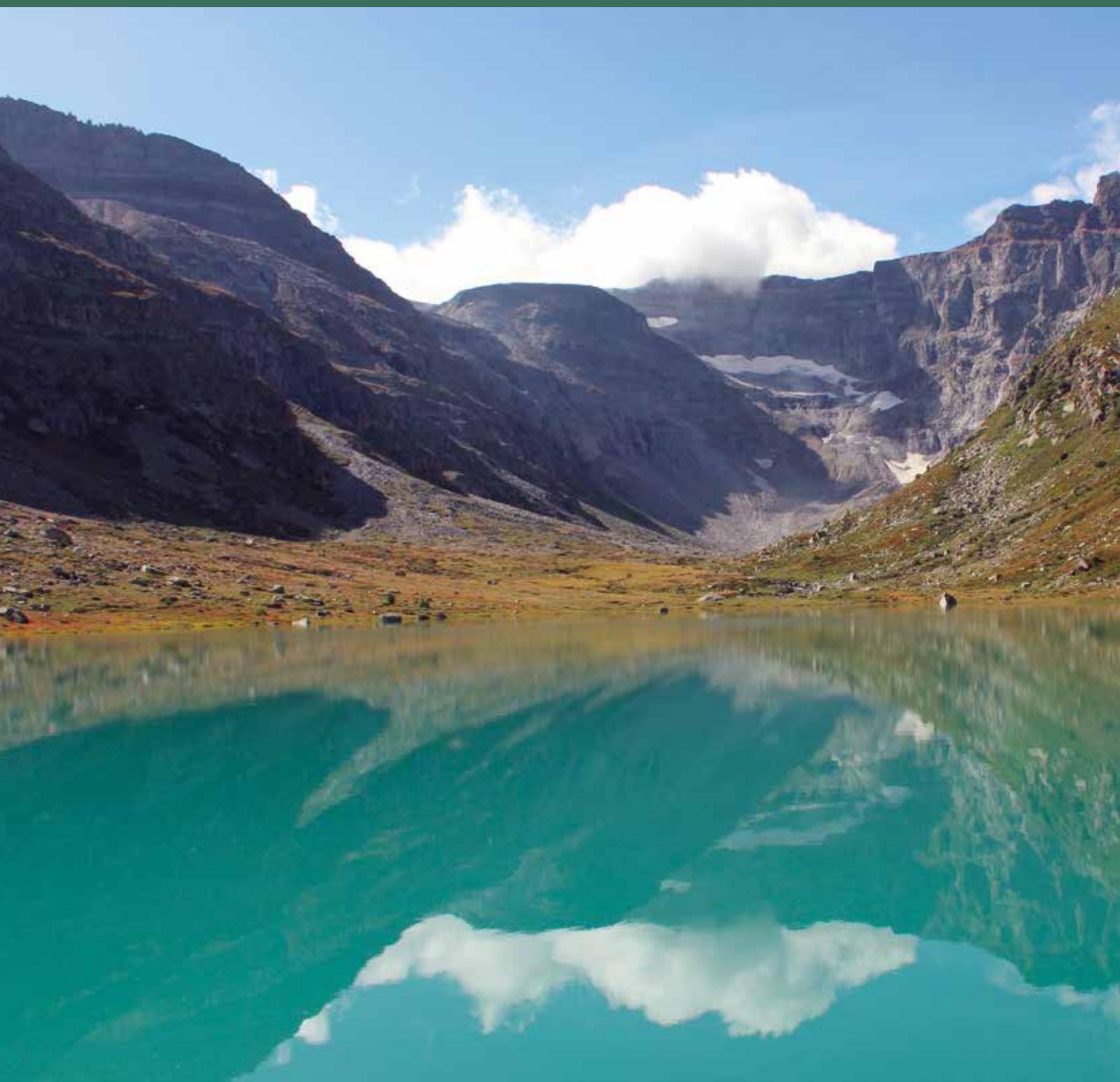
(En haut) L'aérogel à base de silice est un matériau solide léger et poreux qui est idéal pour l'isolation thermique grâce à sa faible conductivité thermique (source: Empa). (En bas) Banc de test pour les moteurs (source: PSI).

Energie renouvelable

La part des énergies renouvelables augmente constamment à travers le monde, notamment dans le secteur de l'électricité pour l'éolien et pour le photovoltaïque. D'autres technologies comme l'énergie hydraulique, la biomasse et la géothermie connaissent également un fort développement avec des centaines de GW de capacité supplémentaire dans le monde entier.

Dans le domaine des énergies renouvelables, l'OFEN soutient la recherche et le développement de technologies qui peuvent immédiatement contribuer à l'approvisionnement énergétique durable de la Suisse, mais aussi les thématiques censées servir à la création de valeur

ajoutée industrielle en Suisse.



Aide à la planification pour la rénovation des centrales hydroélectriques

Des chercheurs suisses développent des outils pour identifier les variantes architecturales et électromécaniques les plus rentables parmi une multitude d'options de rénovation et d'agrandissement des ouvrages hydroélectriques. Ce sujet est d'actualité car une nette augmentation de la production hydroélectrique est escomptée dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050 et le renouvellement des concessions est à l'ordre du jour pour la plupart des centrales suisses dans les prochaines décennies.

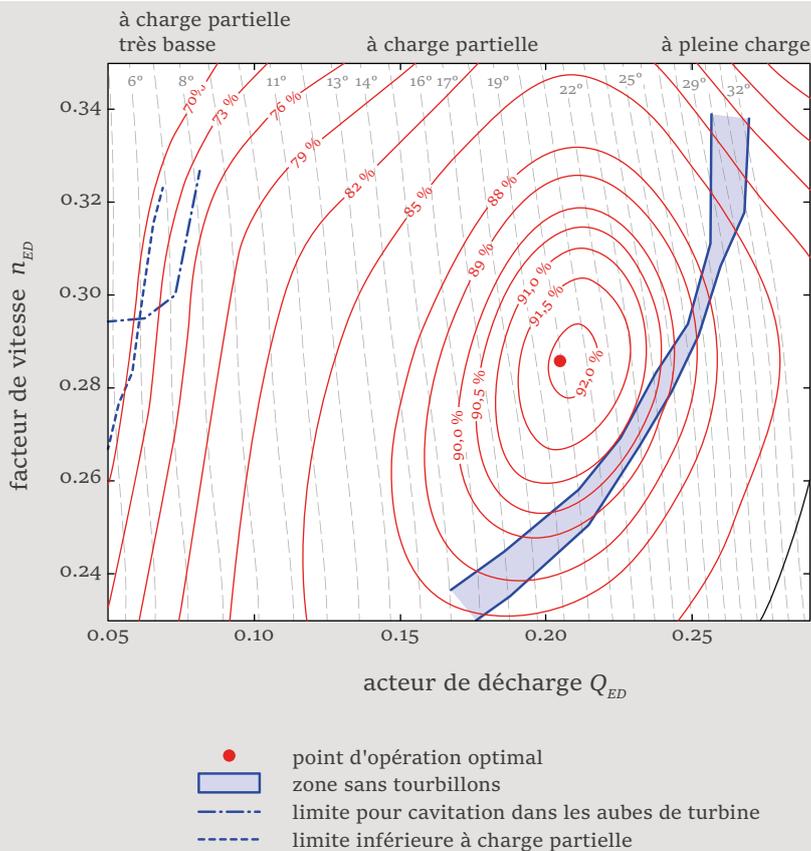
Pour compenser la perte de production résultant de la sortie du nucléaire, la Stratégie énergétique 2050 s'appuie sur une exploitation accrue du potentiel hydroélectrique suisse et sur les nouvelles énergies renouvelables. Les dispositions plus strictes en matière de protection des eaux, le développement d'énergies renouvelables fluctuantes ainsi que les besoins de flexibilité qui en découlent placent l'énergie hydraulique suisse devant de nouveaux défis.

Ces prochaines années, il y aura un renouvellement de concession pour près de 24 TWh (70%) de la production annuelle d'électricité hydraulique indigène. Les variantes architecturales et techniques les plus diverses sont imaginables, par exemple le relèvement des barrages ou l'augmen-

tation du volume d'accumulation, mais aussi de nouveaux équipements dans la technique des machines, comme des turbines supplémentaires ou plus flexibles. Il est ainsi nécessaire de comparer un nombre important de scénarios possibles ce que permet l'outil de planification «RENOVHydro», développé par l'EPFL en collaboration avec des partenaires. Cet outil permet de comparer de multiples variantes et de tenir compte aussi bien de la production d'énergie et des services réseau possibles que des différentes conditions cadres, comme par exemple la protection des écosystèmes aquatiques.

Les rendements des turbines et des pompes-turbines réversibles sont présentés pour différents points de fonctionnement à l'aide de «hill charts», où

Réservoir d'eau «Chummibort» d'une centrale hydroélectrique des Forces motrices de Conches (source: Pedro Manso, EPFL).



l'efficacité est une fonction du débit Q et de la vitesse de rotation n de la turbine/pompe. Les données empiriques du Laboratoire de machines hydrauliques de l'EPFL permettent d'établir des «hill charts» génériques à l'aide d'algorithmes d'interpolation spéciaux. Ce faisant, le laboratoire tire profit de son banc d'essai unique en son genre, où les turbines des principales centrales hydroélectriques du monde sont testées depuis 50 ans à l'aide de modèles physiques réduits correspondant aux normes internationales en vigueur. Les diagrammes («hill charts») qui en découlent permettent la simulation numérique de n'importe quelle turbine, nouvelle ou partiellement renouvelée, dans les points de fonctionnement les plus variés. La hauteur de chute H ou du débit Q peut par exemple être mo-

difiée comme ce pourrait être le cas à l'avenir dans une centrale hydroélectrique à moderniser. Le couplage avec le réseau électrique est également pris en compte dans l'outil de modélisation.

Cet outil a été testé en pratique dans un système réel de centrales hydroélectriques exploitées par les Forces motrices valaisannes et Groupe E qui sont partenaires du projet. Plus de 700 scénarios différents ont été examinés pour la rénovation et le choix d'un mode d'exploitation pour ce système composé de plusieurs ouvrages d'accumulation et centrales hydroélectriques. L'analyse s'est fondée sur une année hydrologique et un scénario pour les prix qui peuvent être obtenus sur le marché de l'électricité. Les dix scénarios présentant le

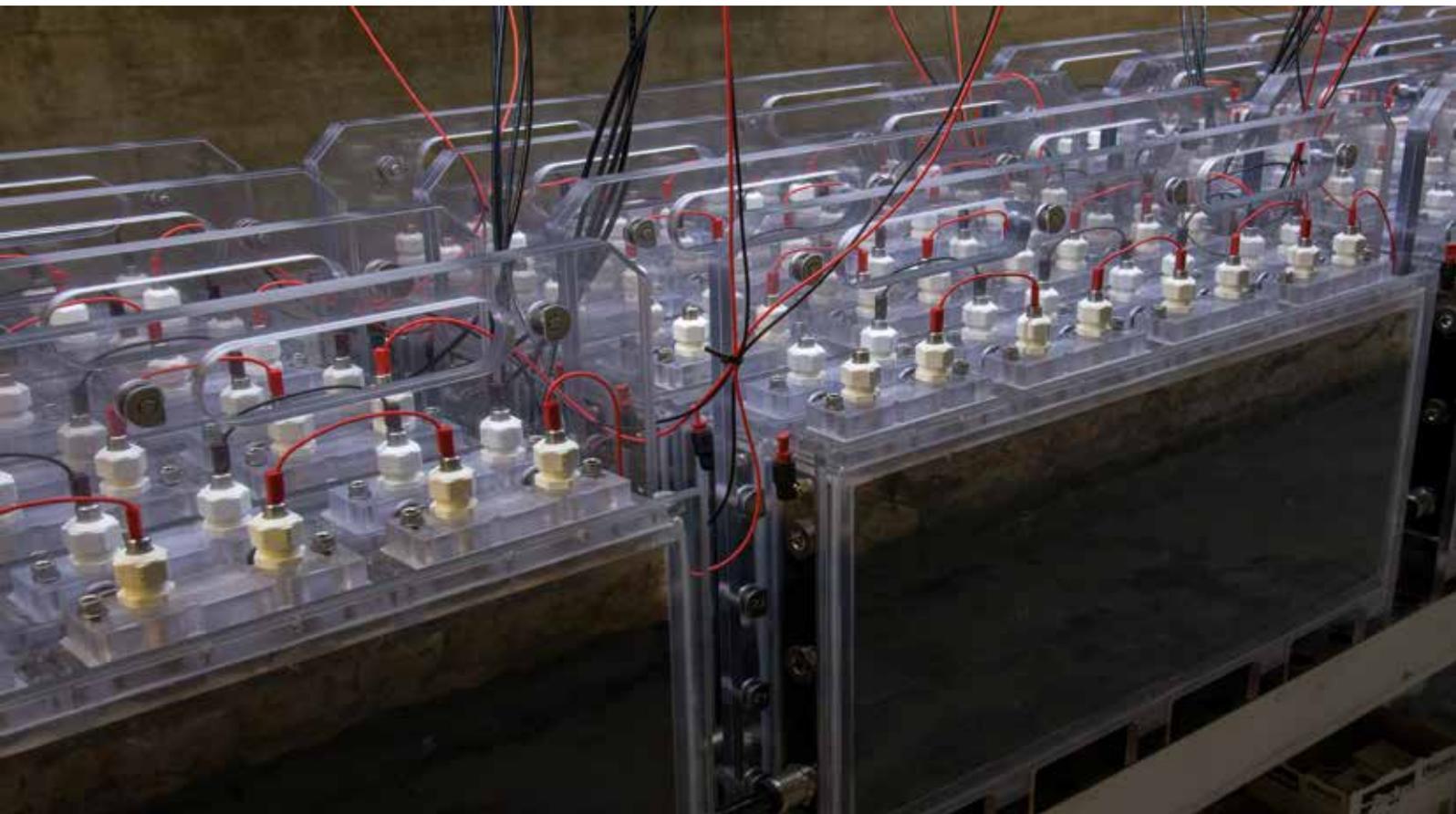
«Hill chart» d'une turbine Francis, où l'efficacité est montrée comme une fonction de la vitesse de fonctionnement ou de la fréquence de rotation n (s^{-1}) et du débit Q (m^3/s). La vitesse de fonctionnement et le débit sont représentés comme des valeurs adimensionnelles pour pouvoir comparer différentes turbines: facteur de vitesse: $n_{ED} = nD/(gH)^{0.5}$ et facteur de décharge $Q_{ED} = D^2/(gH)^{0.5}$ avec le diamètre de la turbine D , l'accélération de la pesanteur g et la hauteur de chute H . Les lignes pointillées indiquent l'angle d'ouverture des aubes de guidage (0° à 32°).

Un outil de modélisation développé à l'EPFL en collaboration avec différents partenaires permet de produire de tels «hill charts» de manière générique afin d'estimer le potentiel d'amélioration lors de rénovation des centrales hydroélectriques existantes. Il s'appuie sur une base de données provenant d'études empiriques (source: EPFL).

meilleur résultat économique ainsi que les prestations de service réseau possibles et les recettes qui en découlent ont pu être identifiés. En même temps, les investissements nécessaires pour les modifications architecturales et techniques ont été estimés.

Ces informations permettent de déterminer les options de rénovation et/ou d'agrandissement les plus prometteuses en vue du renouvellement de la concession des différentes centrales. L'utilisation de l'outil «RENOVHydro» réduit l'investissement nécessaire pour de telles études d'un facteur 20 par rapport à une approche traditionnelle.

François Avellan, Christophe Nicolet et Christian Landry, EPFL



Empilement de piles à combustible microbiennes. Les eaux usées coulent de la droite vers la gauche pendant l'épuration et de l'électricité est produite à travers les piles reliées en parallèle (source: HES-SO Valais).

Des microorganismes qui produisent de l'électricité

En Suisse, la part de l'épuration des eaux communales dans la consommation globale d'électricité est estimée à 1%. Plus de la moitié est consacrée à l'aération active des bassins de décantation biologiques. Les piles à combustible microbiennes, qui épurent les eaux usées tout en produisant de l'électricité, promettent une consommation d'électricité nettement plus faible. Une pile microbienne de 1000 litres est en phase de test dans la station d'épuration (STEP) de Sion.

Dans les piles à combustible microbiennes, des microorganismes vivants transforment des substances organiques (substrat) et transmettent les électrons résultant à une anode (voir l'illustration en page 21).

Comme dans une pile à combustible basse température «normale», les protons générés migrent par la membrane vers la cathode tandis que le flux des électrons passe par un circuit électrique extérieur depuis

l'anode et peut servir à produire de l'énergie.

Ces microorganismes sont présents naturellement dans les eaux usées communales et se fixent spontanément sur

les électrodes des piles microbiennes. Les biofilms qui en résultent contiennent une large palette de microbes spécialisés qui éliminent les multiples impuretés dans les eaux usées. Ces microbes anaérobies n'ont pas besoin d'oxygène moléculaire et rendent ainsi inutile une aération coûteuse durant l'étape d'épuration biologique.

A l'heure actuelle, une pile à combustible microbienne de 1000 litres est testée dans la STEP de Sion. En plus de la construction de l'installation proprement dite, la gestion de la puissance joue un rôle important. Les différentes piles mi-

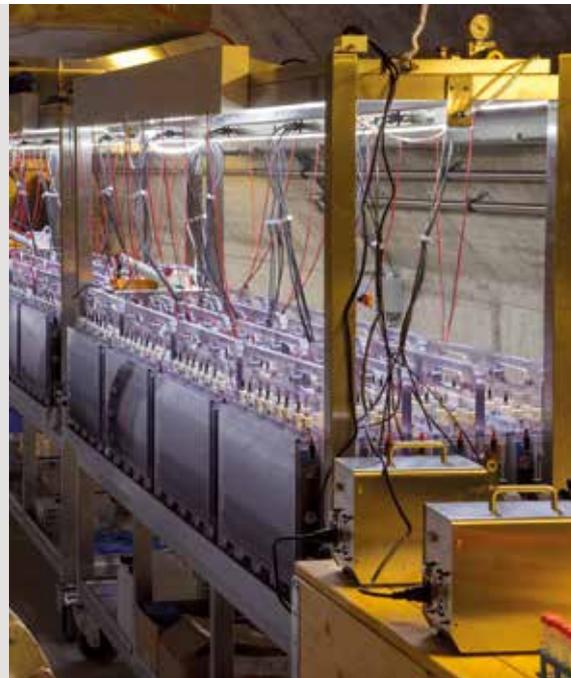
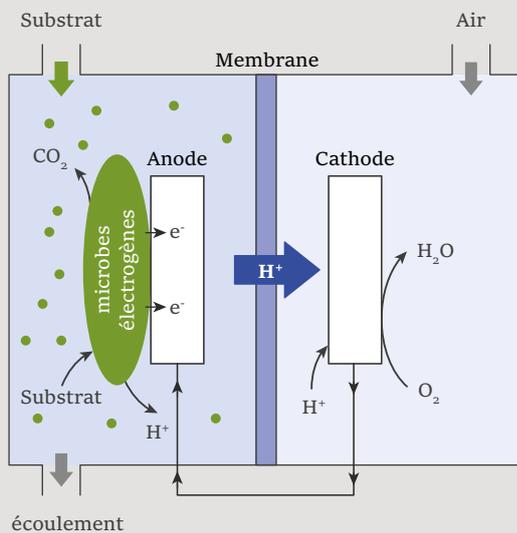
crobiennes sont empilées pour une production optimale d'électricité. Les variations de tension entre les différentes piles microbiennes sont recensées et réglées par un système de contrôle électronique. La puissance des piles est optimisée par ailleurs au moyen du principe du «Maximum Power Point Tracking», ce qui permet d'augmenter la vitesse de l'épuration des eaux. Les événements imprévus tels que l'afflux de substances toxiques, qui pourraient nuire aux microbes, sont enregistrés et les électrodes les plus affectées sont automatiquement découplées de la production d'électricité et régénérées

avant d'être automatiquement réactivées. Un accumulateur transforme les faibles puissances de sortie des 64 piles individuelles en électricité exploitable qui est stockée dans des batteries au lithium.

En résumé: les piles à combustible microbiennes servent à épurer les eaux usées tout en réduisant la consommation d'énergie au cours de l'étape biologique d'une station d'épuration et en produisant de l'électricité.

Fabian Fischer, HES-SO Valais

Pile à combustible microbienne_



Fonctionnement d'une pile à combustible microbienne: des microorganismes vivants sur l'anode transforment des substances organiques (substrat) et transmettent les électrons résultant de leur métabolisme à une anode. Comme dans une pile à combustible «normale», les protons générés migrent par la membrane conductrice d'ions vers la cathode tandis que le flux des électrons passe par un circuit électrique extérieur depuis l'anode et peut servir à produire de l'énergie.

Station d'épuration de Sion avec des piles à combustible microbiennes. Le réacteur de 1000 litres avec 64 piles à combustible reliées en série fait plus de douze mètres de long. Le système produit de l'électricité tout en épurant les eaux usées. L'électricité est stockée dans des batteries au lithium (source: HES-SO Valais).

Les «vieilles» installations photovoltaïques et les leçons qu'on peut en tirer

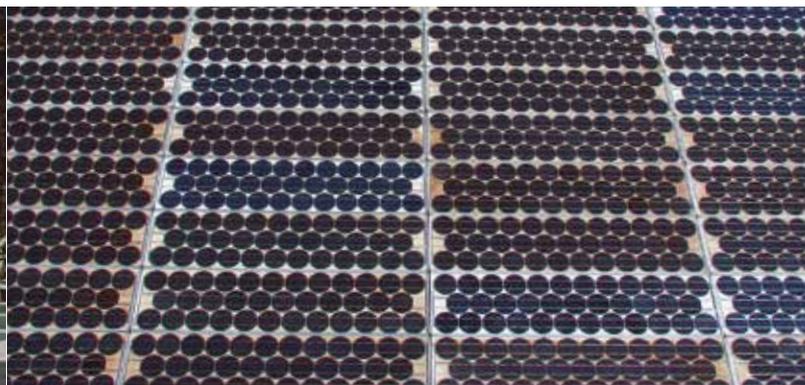
La rentabilité d'une installation photovoltaïque dépend de la quantité d'électricité qui sera produite pendant une période donnée. La façon dont le module et sa puissance évoluent au fil du temps est ainsi particulièrement décisive. Pour cette raison, les modules doivent remplir certaines exigences de qualité minimales à démontrer au moyen de test standardisés à l'échelle internationale avant leur mise sur le marché. Afin de valider les prévisions faites à partir de ces tests de vieillissement accélérés, des analyses à long terme des modules exploités en conditions réelles sont importantes. La Haute école spécialisée du Tessin (SUPSI) fournit une contribution importante en l'espèce en assurant le suivi de l'installation de 10 kW «TISO» depuis 1982.

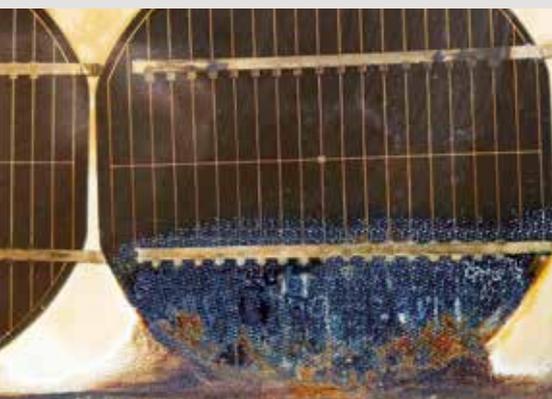
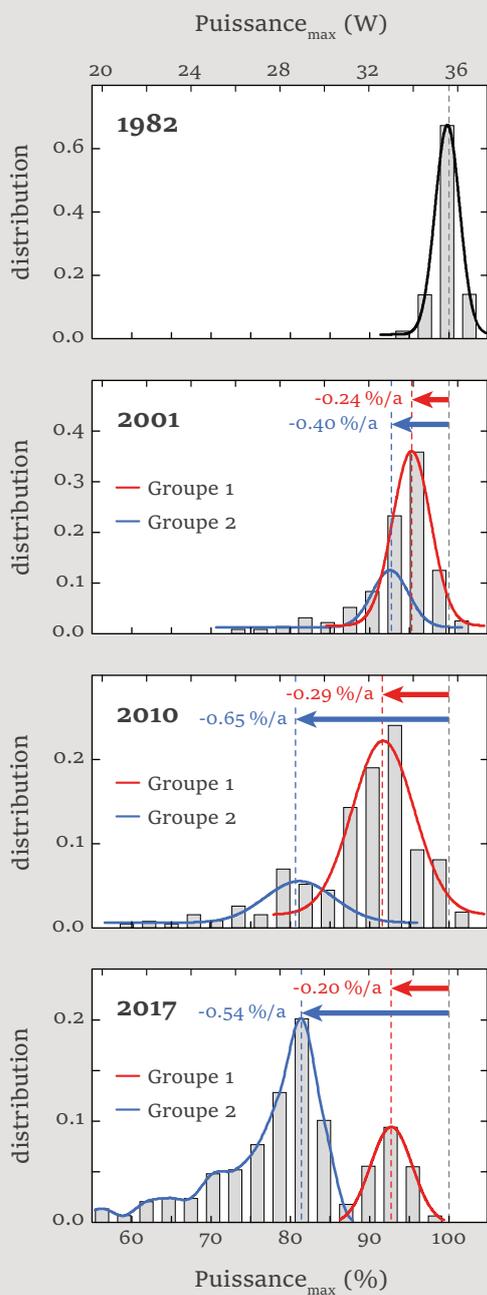
En 1982, l'installation «TISO» fut la première en Europe à être couplée au réseau public. Elle se compose de 288 modules en silicium monocristallins d'une puissance nominale de 37 W et d'un rendement de près de 10%

du fabricant ARCO Solar. A part son âge respectable, le caractère unique de cette installation réside dans le fait que 18 modules de référence ont été régulièrement mesurés en laboratoire et que ces mesures

peuvent être comparées avec la caractérisation de 1982. En 2001, 2010 et 2017, les modules composant l'installation ont fait l'objet d'un examen complet de la puissance, de l'isolation électrique et des

L'installation de 10 kW «TISO» à la SUPSI est en exploitation depuis 1982 et se compose de 288 modules en silicium cristallins du fabricant ARCO Solar. Vue de l'installation en 1982, 2002, 2005 et 2013 (source: SUSPI).





(A gauche) Evolution dans le temps de la répartition de la puissance des 288 modules de l'installation de 10 kW «TISO». Si certains modules (groupe 1) présentent un taux de dégradation modéré, la dégradation est beaucoup plus marquée pour le second groupe de modules (groupe 2) (source: SUPSI).

(En haut) Exemple de dégâts importants qui s'expliquent par l'interaction de différents effets (délamination sur le bord du module, apparition de moisissures, oxydation, points chauds) (source: SUPSI).

dégâts apparents. Cet ensemble de données permet d'étudier les phénomènes de dégradation à long terme. Diverses études montrent que la dégradation des modules photovoltaïques est généralement continue. D'ordinaire, une perte de puissance inférieure à 20% par rapport à la puissance de départ est garantie par la plupart des fabricants sur 20 ans.

En 2017, l'installation «TISO» a été entièrement démontée et les modules ont été examinés séparément en collaboration avec l'EPFL, qui a analysé les caractéristiques de puissance, l'isolation des modules et l'état des diodes bypass. Des mesures d'électroluminescence pour identifier les dégâts aux cellules (p. ex. microfissures) ainsi qu'une analyse visuelle ont également été effectuées. Les différents défauts ont ensuite fait l'objet d'une évaluation statistique et d'une comparaison avec les précédentes campagnes de test de 1982, 2001 et 2010.

L'analyse de ces mesures a révélé que 56% des modules atteignent encore plus de 80% de la puissance nominale après 35 ans et satisferaient encore à une garantie de puissance limitée à une perte maximale de 20%. Les mesures de 2017 ont montré une dégradation

supplémentaire des modules et que l'évolution des performances n'est pas homogène: si un groupe de modules (env. 21%, «groupe rouge») enregistre un taux de dégradation modéré avec une perte de puissance de seulement $-0,2\%$ par an (a), un second groupe, plus important (env. 73%, «groupe bleu»), présente un taux de dégradation accru de $-0,5\%$ par an, voire davantage. Seul 5% des modules ne fonctionnent plus après 35 ans d'activité.

La question qui se pose inévitablement est de savoir quels résultats de l'analyse d'une technologie photovoltaïque datant de 1982 peuvent s'appliquer aux modules modernes. En effet, la technologie du silicium cristallin, qui domine aujourd'hui le marché photovoltaïque, s'est fortement développée depuis les années 1980 et les modules installés sur «TISO» diffèrent des produits actuels sur de nombreux points. Aujourd'hui, les cellules sont par exemple deux fois plus minces et ce sont d'autres matériaux qui servent à encapsuler les cellules pour les protéger des influences extérieures. L'étude a d'ailleurs montré que les différences de dégradation des modules s'expliquent en particulier par l'état d'encapsulation. A l'époque, les modules de l'installation «TISO» ont été montés avec trois types d'encapsulation différents. Il est ainsi nécessaire de comprendre l'interaction des différents mécanismes de dégradation pour pouvoir garantir une plus longue durée de vie.

Stefan Oberholzer

Pour plus d'informations:
A. Virtuani et al., Prog. Photovolt Res Appl. 2019;27:328-339.
<https://doi.org/10.1002/pip.3104>

Pré-séchage novateur pour la biomasse humide

L'entreprise OekoSolve a développé un séchoir novateur pour plaquettes de bois qui permet d'augmenter l'efficacité du chauffage de plus de 10% tout en réduisant la quantité de poussière fine dans les effluents gazeux grâce au pré-séchage des plaquettes. Ces dernières sont amenées sur un séchoir à bande depuis une scierie voisine et séchées par la chaleur des effluents gazeux de l'installation de combustion avant d'arriver dans la chaudière. Les plaquettes nécessitent ainsi moins d'énergie pour être brûlées et retiennent une part substantielle des poussières fines. A la sortie du séchoir à bande, les effluents gazeux saturés sont nettoyés au moyen d'un électrofiltre qui peut être, en conséquence, redimensionné à la baisse en raison du pré-refroidissement. Le succès de l'installation de démonstration de la centrale thermique de Bérocourt SA à Saint-Aubin-Sauges ouvre de nouvelles possibilités pour une exploitation efficace et rentable de la biomasse humide. Men Wirz

Chaudière à grille à vis sans fin

Les chauffages à bois automatisés peuvent alimenter les réseaux de chauffage à distance ou remplacer les chauffages au mazout ou au gaz dans les grands bâtiments. Comme le potentiel de bois suisse est limité, on recourt de plus en plus aux assortiments de bois ou aux pellets à partir de biomasse, qui présentent une teneur en cendres accrue. A cet égard, il est nécessaire de développer des installations de 100 à 300 kW adaptées à de tels combustibles. Les projets correspondants s'appuient sur les brûleurs à vis sans fin, qui garantissent une évacuation continue des cendres, évitent l'encrassement et émettent peu de poussières fines et d'oxydes d'azote

Abrasion dans les centrales hydroélectriques

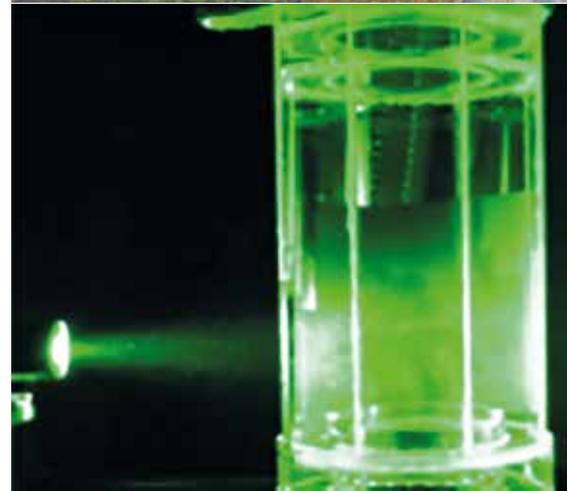
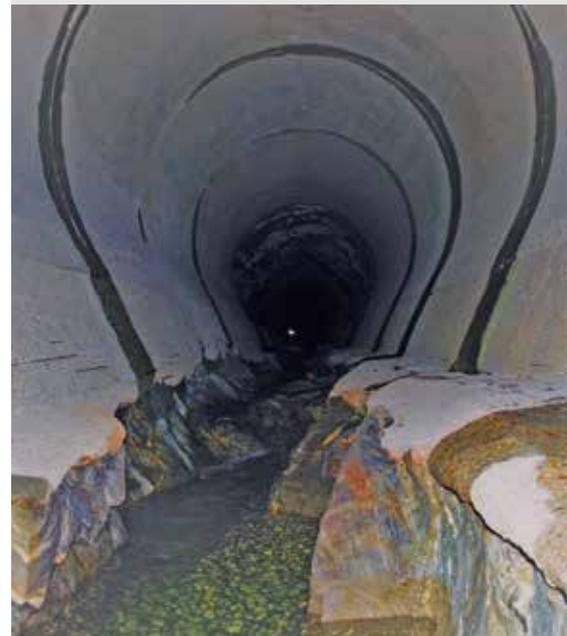
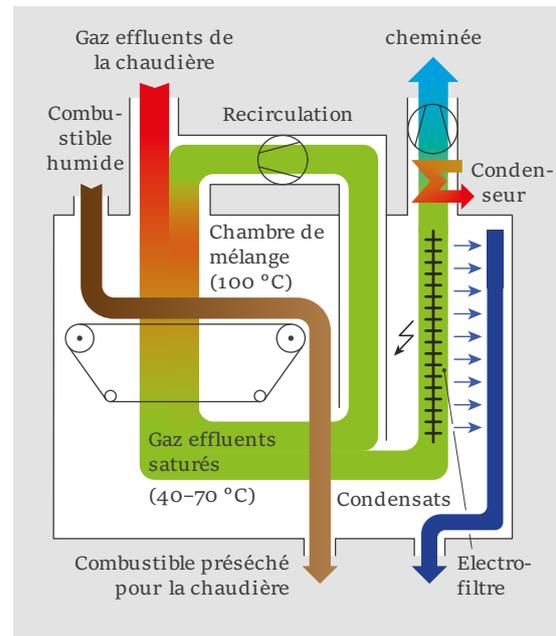
Les dégâts par abrasion dus aux sédiments sur les turbines et les galeries de dérivation des centrales hydroélectriques ne cessent d'augmenter en raison de l'atterrissement croissant des lacs d'accumulation. Cela entraîne une hausse des coûts d'exploitation et des pertes de rendement ainsi qu'une baisse de la capacité de stockage. Les nouveaux modèles d'abrasion de l'EPFZ permettent de prévoir plus précisément les événements de crue et la concentration de matières en suspension dans l'eau et d'optimiser l'exploitation des turbines et des galeries de dérivation des sédiments. Il est ainsi possible de réduire les besoins en eau et d'éviter des dégâts aux installations avec, pour corollaire, une utilisation énergétique accrue et une exploitation plus rentable des centrales hydroélectriques. Men Wirz

(En haut) Séchage du combustible pour la biomasse humide.

(Au milieu) Abrasion dans une galerie de dérivation des sédiments (source: EPFZ).

(En bas) Modèle en plexiglas d'une chaudière à grille à vis sans fin avec des gouttes éclairées par un faisceau laser dans la chambre de combustion (source: HSLU).

grâce à la combustion par étapes. Une installation pilote de 35 kW a permis de démontrer que la chaudière à grille à vis sans fin peut utiliser des combustibles issus de la biomasse avec des teneurs en cendres pouvant atteindre 7% en poids tout en maintenant de faibles taux d'émission de particules fines. Sur la base des caractéristiques de combustion, les valeurs de références pour la construction d'une installation à l'échelle de 150 kW ont été déduites, et la chambre de combustion ainsi que l'injection d'air ont été optimisées grâce à des calculs de débits et des mesures sur le modèle. Sandra Hermle



Aspects socioéconomiques

Le programme transversal Energie - économie - société (EES) aborde des questions économiques, sociologiques, psychologiques et politiques tout au long de la chaîne de création de valeur de l'énergie. Le programme de recherche sert à la fois au développement de nouveaux instruments de politique énergétique et au contrô-

le des instruments existants. En 2018, une large palette de projets de recherche ont été soutenus, qui portent sur des thèmes aussi variés que le comportement des consommateurs d'énergie, les investissements dans les énergies renouvelables, la conception du marché de l'énergie et la mobilité.



Le marché suisse du gaz dans le contexte européen

L'évolution de l'approvisionnement de l'Europe en gaz naturel et ses répercussions pour la Suisse ont été analysées dans le cadre du projet «Modelling the Swiss Gas Market in a European Context». Les questions liées à la modélisation des marchés européen et suisse du gaz, à la sécurité de l'approvisionnement, aux modalités d'une éventuelle ouverture du marché et à la mise en œuvre d'un système «Entry-Exit» en Suisse étaient centrales à cet égard. Le projet a été soutenu par l'OFEN dans le cadre du programme de recherche Energie – économie – société (EES).

Dans le but d'estimer l'évolution du marché et la sécurité de l'approvisionnement, l'équipe de recherche a développé un modèle qui reproduit les marchés européen et mondial du gaz naturel. Une analyse de scénario a simulé et examiné différentes variantes d'extension du réseau («Southern Gas Corridor», «Nordstream 2»), des interruptions de l'approvisionnement (Russie-Ukraine) et des stratégies possibles pour améliorer la sécurité de l'approvisionnement en situation de crise (gestion du stockage, contrats à long terme). Les résultats de la modélisation montrent que l'infrastructure de réseau existante et les mesures d'extension prévues garantissent un niveau d'approvisionnement globalement élevé en Europe et en Suisse.

Une forte dépendance subsiste toutefois à l'égard des importations russes – en par-

ticulier en Europe de l'Est. Les mesures d'extension prévues ne permettent pas de les compenser intégralement. Pour pouvoir faire face à ce risque, il est nécessaire d'analyser les dispositions de stockage stratégique. Une réserve de 20 à 30% de la capacité de stockage totale permet déjà de compenser en grande partie une interruption de l'approvisionnement depuis la Russie et l'Ukraine pendant quatre mois si les différents réservoirs sont coordonnés efficacement en Europe. Pour la Suisse, qui ne dispose pas de possibilités de production ou de stockage, une coordination avec l'UE est judicieuse. Comme près de 30% de la demande de gaz en Suisse provient de clients bi-combustibles (p. ex. possibilité de chauffage au gaz naturel ou au mazout), notre pays dispose d'un certain potentiel de flexibilité.

Marquage du gazoduc à Seeberg, Cantond de Berne (source: Christoph Hurni).

Il a en outre été montré que de simples analyses de la situation d'approvisionnement, statiques ou fondées sur des paramètres et des structures purement techniques, sont insuffisantes pour évaluer correctement la dynamique en période de crise. Il est donc recommandé de combiner des évaluations techniques de sécurité avec une appréciation globale du marché afin de saisir la relation entre les dynamiques de l'offre et de la demande.

Afin d'analyser les modalités d'une ouverture du marché suisse, un modèle de marché «Entry-Exit» simplifié a été développé et différentes options tarifaires examinées. Les résultats montrent que les prix sur le marché européen resteront le moteur principal de l'évolution du marché suisse du gaz. La fiabilité de la modélisation est toutefois limitée en raison de la structure très agrégée du modèle et de l'indisponibilité de données détaillées sur le réseau.

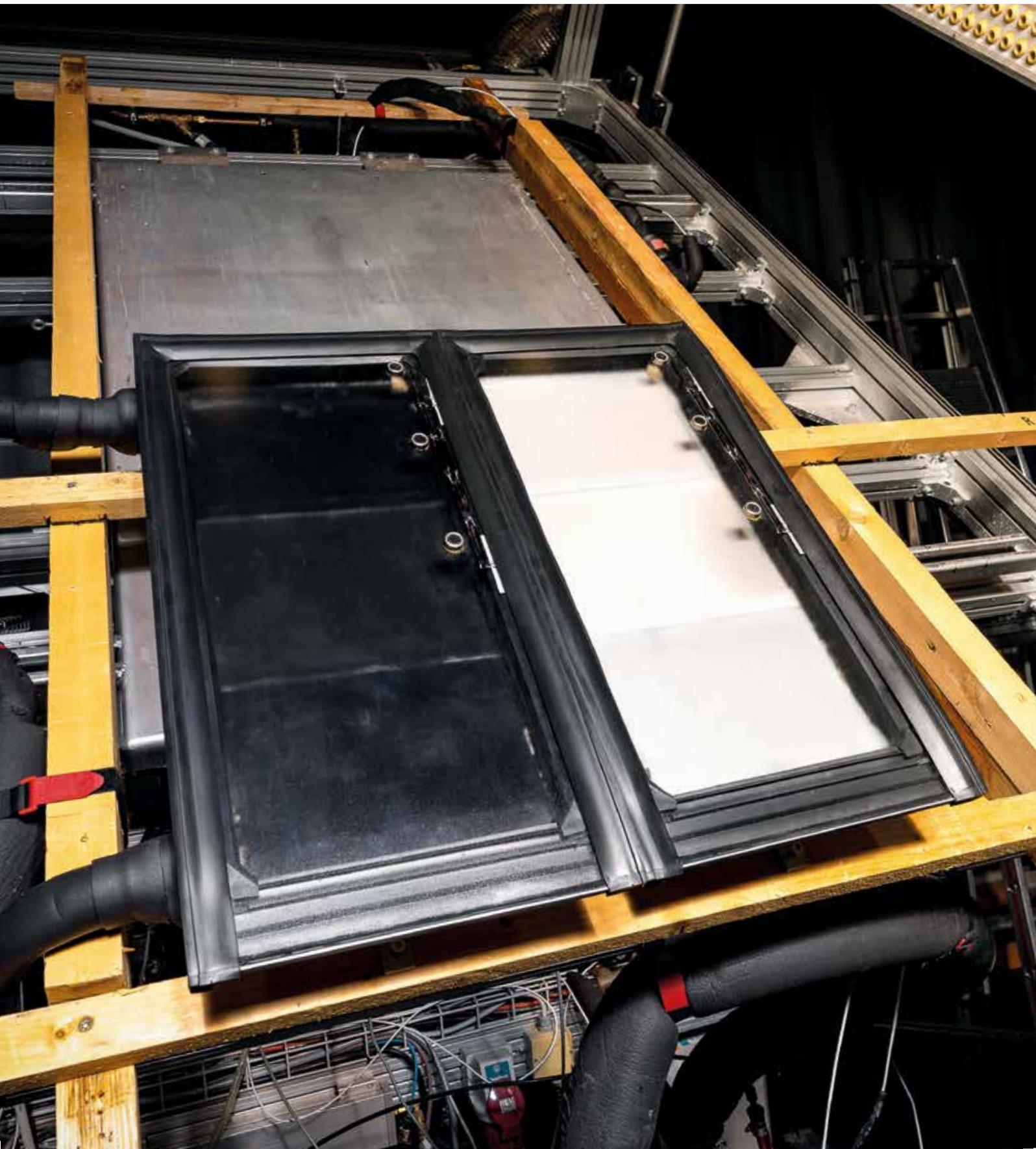
Léo Chavaz et Hannes Weigt (Centre de recherche sur l'approvisionnement durable en énergie et en eau de l'Université de Bâle) et Jan Abrell (Centre for Energy Policy and Economics de l'EPFZ)

Léo Chavaz und Hannes Weigt (Forschungsstelle Nachhaltige Energie- und Wasserversorgung Universität Basel) und Jan Abrell (Centre for Energy Policy and Economics ETH Zürich)



Concentrateur solaire du Laboratory of Renewable Energy Science and Engineering de l'EPFL pour la production de gaz renouvelable (hydrogène). La combinaison d'un système photoélectrochimique à énergie solaire et d'une gestion intelligente de la chaleur permet de convertir l'énergie solaire en hydrogène avec des rendements jusqu'à 17% (S. Tembhurne, F. Nandjou & S. Haussener, Nature Energy 4, 399-407, 2019).

Les capteurs thermiques solaires vitrés atteignent des températures supérieures à 180 °C, ce qui implique des exigences élevées en termes de matériaux et de composants dans le capteur et son circuit ainsi que des répercussions sur les coûts du système. Dans le cadre du projet «ReSo-Tech», des chercheurs du SPF Rapperswil développent des solutions économiques pour limiter la température maximale à 100 °C. Dans un projet partiel, la surface de l'absorbeur du capteur est enduite de telle sorte qu'elle «commute» du noir au blanc en fonction de la température et n'absorbe ainsi presque plus le rayonnement solaire. L'illustration montre un capteur expérimental en état de marche avec une température <100 °C (noir, à gauche) et «désactivé» en cas de température >100 °C (blanc, à droite). (Texte: Elimar Frank, source: SPF Rapperswil).



Coopération internationale

La coopération internationale dans la recherche énergétique occupe une place privilégiée en Suisse. Au plan institutionnel, l'OFEN coordonne ses programmes de recherche avec les activités internationales afin d'en exploiter les synergies et d'éviter des doublons. Une importance particulière est accordée à la collaboration et à l'échange d'expériences dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Par le biais

de l'OFEN, la Suisse participe ainsi à plusieurs programmes de collaboration technologique de l'AIE, qui s'appelaient auparavant «Implementing Agreements» (www.iea.org/tcp).

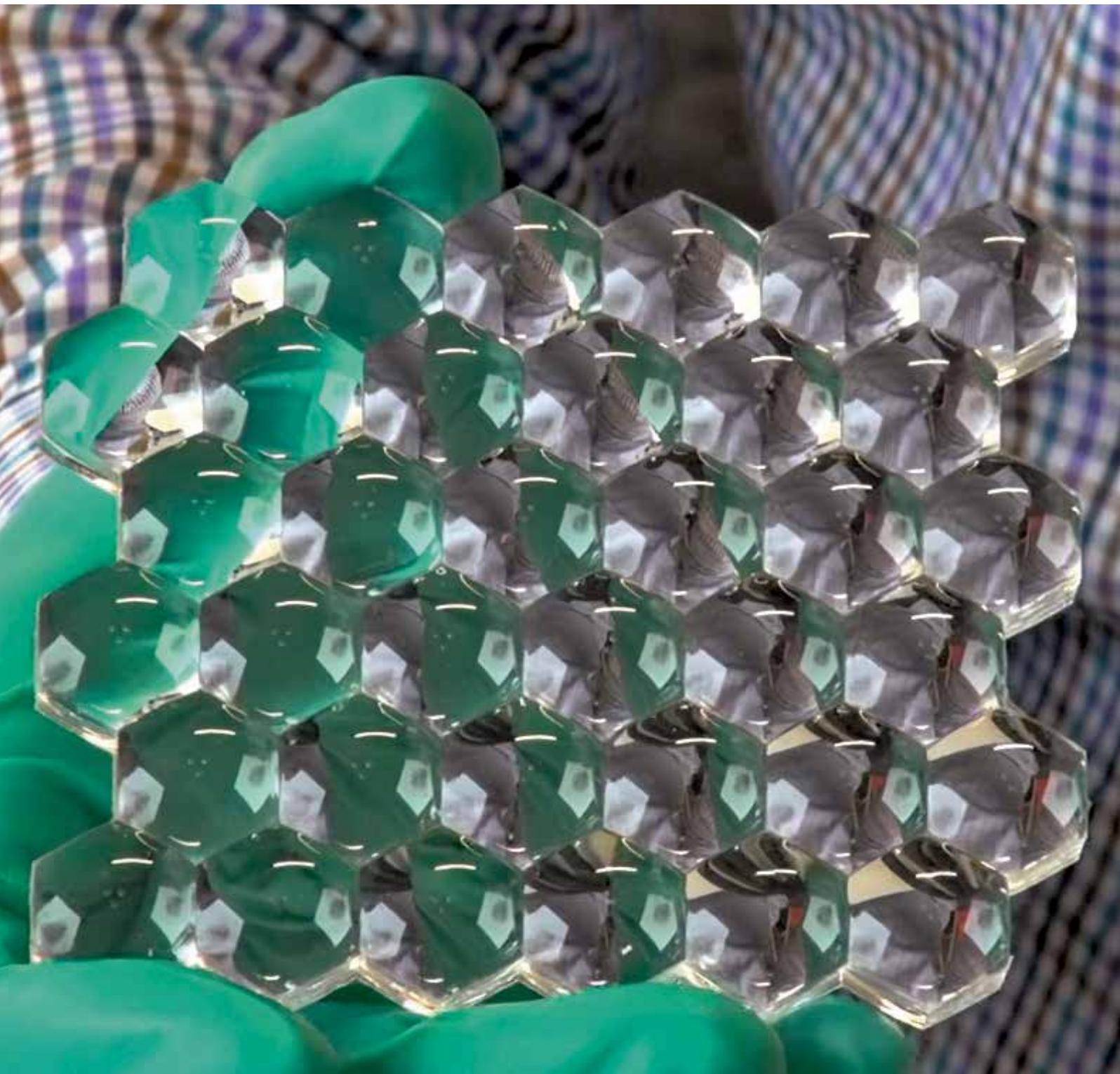
À l'échelle européenne, la Suisse prend une part active – dans la mesure du possible – aux programmes de recherche de l'UE. Au niveau institutionnel, l'OFEN coordonne notamment la recherche énergétique

avec le plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (SET-Plan), les European Research Area Networks (ERA-NET), les plates-formes technologiques européennes et les initiatives technologiques conjointes (JTI). Dans plusieurs domaines thématiques (réseaux intelligents, géothermie), la Suisse entretient une étroite coopération multilatérale avec certains pays.

Participation de la Suisse aux «Technology Collaboration Programmes» de l'AIE

- Energy Conservation through Energy Storage (ECES)
- Energy Efficient End-Use Equipment (4E)
- Energy in Buildings and Communities (EBC)
- Demand Side Management (DSM)
- High-Temperature Super Conductivity (HTSC)
- International Smart Grid Action Network (ISGAN)
- Advanced Fuel Cells (AFC)
- Emission Reduction in Combustion (Combustion)
- Advanced Motor Fuels (AMF)
- Hybrid and Electric Vehicles Technologies (HEV)
- Bioenergy
- Geothermal
- Hydrogen
- Photovoltaic Power Systems (PVPS)
- Solar Heating and Cooling (SHC)
- Solar Power and Chemical Energy Systems (SolarPACES)
- Wind
- Greenhouse Gas (GHG)
- Gas and Oil Technologies (GOT)
- Energy Technology Systems Analysis Program (ETSAP)
- Environmental, Safety & Economy (ESEFP)*
- Fusion Materials (FM)*
- Nuclear Technology of Fusion Reactors (NTFR)*
- Plasma Wall Interaction (PWI)*
- Reversed Field Pinches (RFP)*
- Spherical Tori (ST)*
- Stellarator-Heliotron Concept (SH)*
- Tokamak Programmes (CTP)*

* via Euratom (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/euratom>)



La start-up suisse Insolight a développé une technologie photovoltaïque axée sur des cellules solaires très efficaces, avec un panneau composé de petites lentilles qui concentrent le rayonnement incident. Contrairement aux installations photovoltaïques à concentration standard, où les modules doivent être réorientés d'après la position du soleil, la fonction «suiveur» est intégrée et permet des applications photovoltaïques à concentration sur les bâtiments (source: Insolight).

Impressum:

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne
stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

www.recherche-energetique.ch