

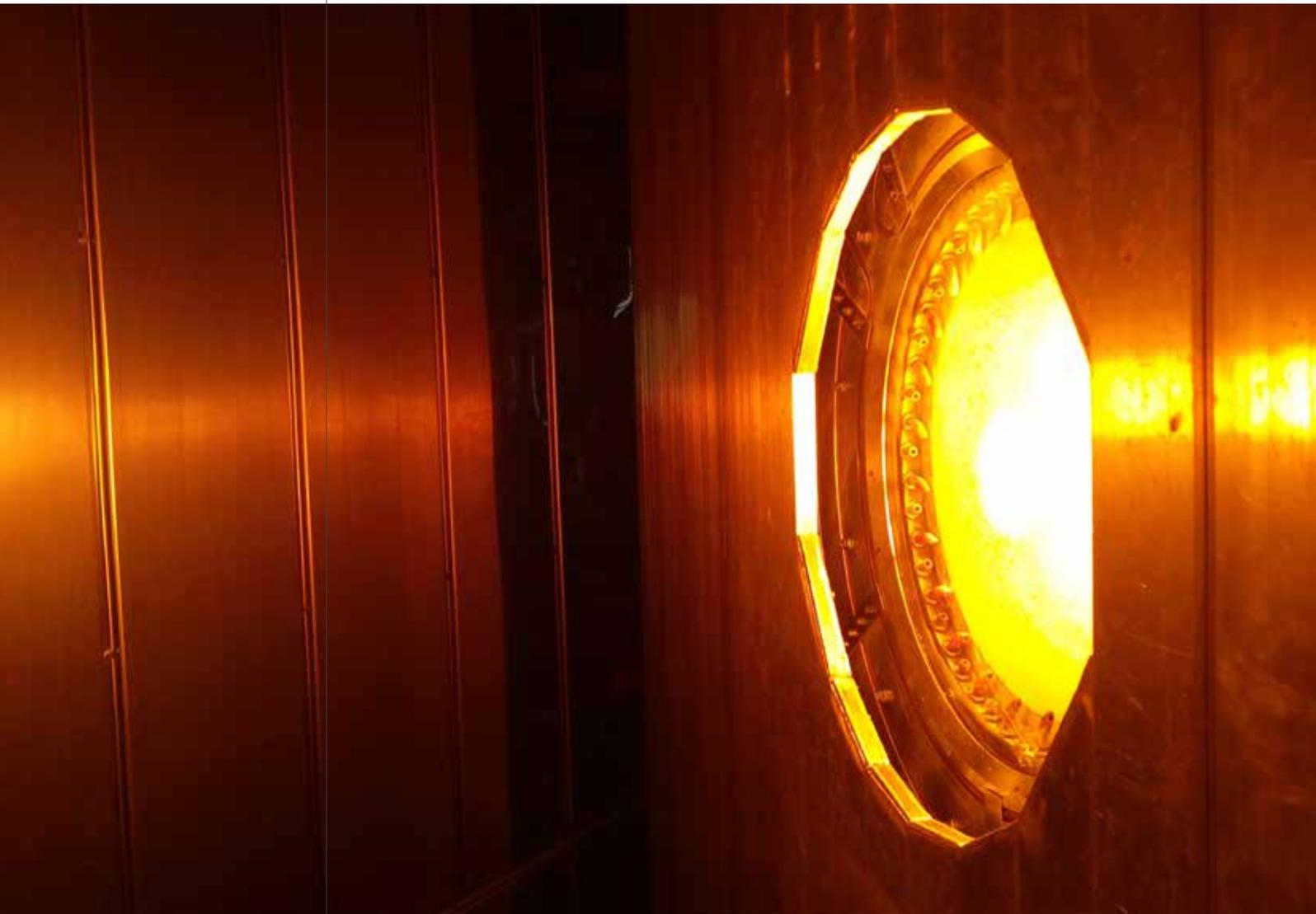


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Recherche énergétique et innovation

Rapport 2014



« Avec ses vastes et solides compétences techniques et ses connaissances du secteur énergétique, l'Office fédéral de l'énergie est un partenaire très apprécié dans la promotion de l'innovation sur les questions énergétiques. Nous profitons de son expertise confirmée dans la promotion ordinaire de la CTI, mais également dans le pilotage des nouveaux pôles de compétences SCCER (Swiss Competence Centers for Energy Research). »

Walter Steinlin, président de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI)



ÉDITORIAL

Depuis toujours, la recherche énergétique suisse porte sur tous les aspects des processus d'innovation, de la recherche fondamentale jusqu'aux développements proches des produits et aux projets pilotes et de démonstration en passant par la recherche appliquée. Alors que dans certains domaines, les technologies s'implantent assez rapidement sur le marché, d'autres technologies énergétiques requièrent un développement plus long, s'étendant parfois sur plusieurs décennies. En Suisse, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), en collaboration avec d'autres organismes de promotion, assume une fonction importante en matière de coordination et de promotion de la recherche énergétique, notamment en termes de développement des compétences, de regroupement et de concertation de partenaires très différents, de coordination internationale ou de soutien direct. L'objectif général est d'encourager la restructuration de notre système énergétique et ainsi de garantir à long terme l'approvisionnement de la Suisse en électricité et en énergie.

Cette brochure présente une sélection de projets au bénéfice des instruments de promotion de la technologie de l'OFEN.



Dr. Walter Steinmann
Directeur

CONTENUE

Recherche énergétique en Suisse	3
---------------------------------------	---

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Générer de l'électricité directement à partir de la chaleur	7
Un capteur de gaz pilote le processus de combustion.....	9
Double générosité du soleil	11
Le potentiel d'efficacité des transformateurs est loin d'être épuisé	13
Accumulateurs thermiques de glace.....	13

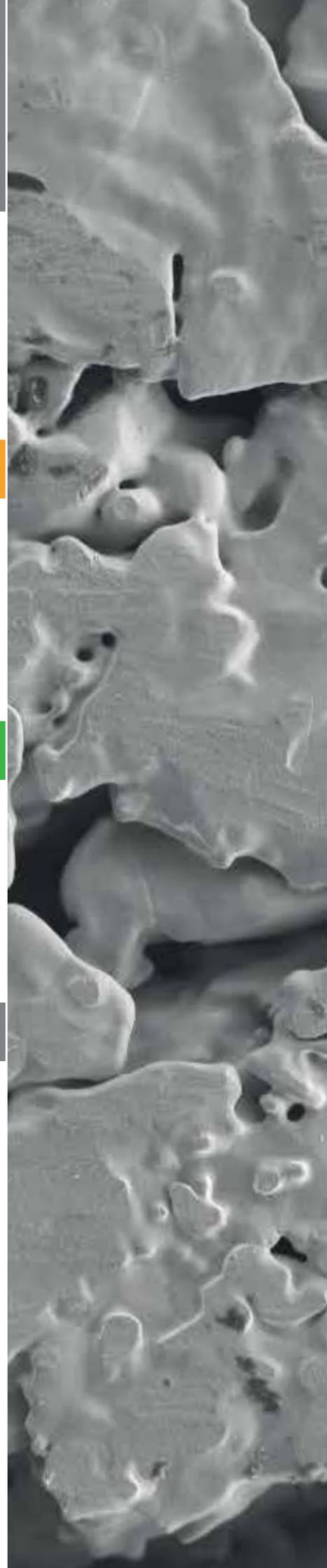
ÉNERGIES RENOUVELABLES

Production d'hydrogène solaire	15
La station-service directement à la ferme.....	17
Une ligne de production pilote pour des cellules solaires haute performance	19
Chauffage à bois automatique et séparateur de poussières fines..	21
L'énergie éolienne atteint de meilleurs rendements	21

ASPECTS SOCIOÉCONOMIQUES DES TECHNOLOGIES ET SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Conséquences du stockage décentralisé de l'électricité et de la gestion de la demande	21
Participation à la sélection de sites pour dépôts en couches géologiques profondes	23
Faits et chiffres.....	26
Collaboration internationale.....	28

Une liste de projets actuels dans le domaine de l'énergie se trouve dans le document supplémentaire à cette brochure disponible sous forme électronique sur le site www.recherche-energetique.ch.



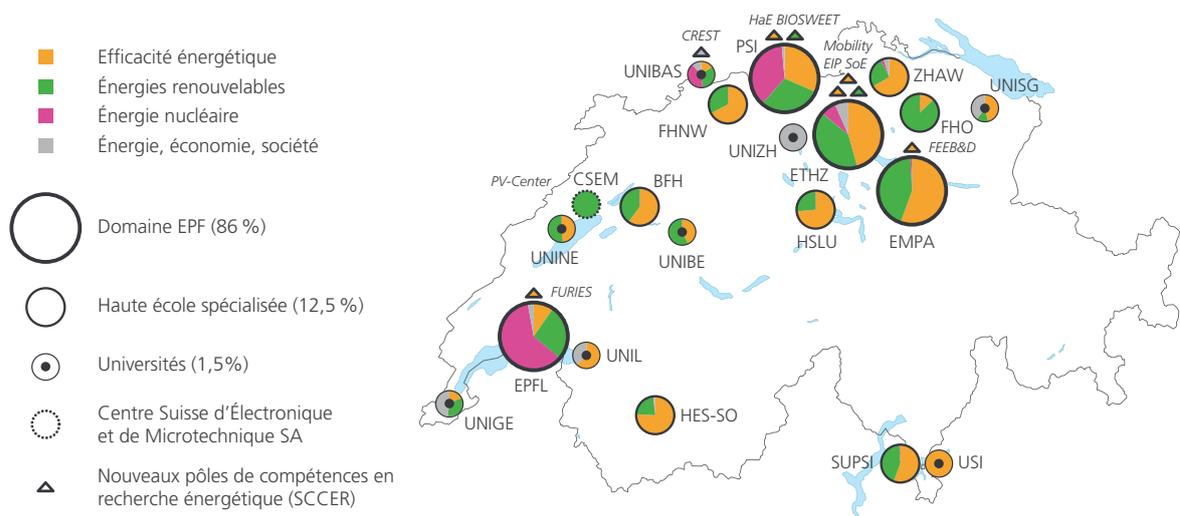
RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE EN SUISSE

L'innovation est un facteur essentiel pour la compétitivité d'une économie nationale. Grâce à des résultats remarquables en comparaison internationale, la Suisse confirme régulièrement qu'elle joue parmi les grands dans ce domaine. En 2014, elle s'est ainsi classée pour la quatrième fois de suite en tête du Global Innovation Index. La recherche constitue la clé de l'innovation, elle est à l'origine des connaissances et des idées nouvelles, qui génèrent des produits novateurs et concurrentiels.

Pour garder sa position, la Suisse doit en permanence contrôler ses performances en matière de recherche, identifier les lacunes existantes et, si besoin est, renforcer ses capacités de recherche. En lien avec la « Stratégie énergétique 2050 » proposée par le Conseil fédéral et compte tenu de la décision de principe de sortir de l'énergie nucléaire, cet effort s'avère particulièrement pertinent pour la recherche et le développement dans le secteur énergétique. Après l'accident nucléaire de Fukushima, le Conseil fédéral a analysé le paysage suisse de la recherche et demandé l'élabora-

tion d'un plan d'action pour la recherche énergétique. Au cours de la législature 2013–2016, la Suisse connaîtra un fort développement de ses capacités en matière de recherche dans le cadre de huit nouveaux centres de compétences, les Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER).

Les SCCERs sont censés élaborer des solutions aux défis techniques, sociaux et politiques qui apparaissent dans le contexte de la transition énergétique. Dans le domaine de l'efficacité énergétique, un SCCER est ainsi prévu sur le thème de la technique durable des bâtiments (www.sccer-feebd.ch) et un autre sur celui de l'efficacité des procédés industriels (www.sccer-eip.ch). Le développement de la production d'électricité d'origine renouvelable pose de nouvelles exigences au réseau électrique et nécessite de nouvelles possibilités pour stocker efficacement l'énergie. Ce domaine est abordé par deux centres de compétences portant sur les infrastructures électriques futures (<http://sccer-furies.epfl.ch>) et sur le stockage de la



Dépenses dans les quatre domaines de recherche « Efficacité énergétique », « Énergies renouvelables », « Énergie nucléaire » et « Énergie, économie et société » dans diverses hautes écoles suisses (données 2011). La majeure partie des activités de recherche énergétique en Suisse (86 %) se déroule dans le domaine des EPF (EPF de Zurich et de Lausanne, LFEM, PSI, IFAEPE et WSL), suivi par les Hautes écoles spécialisées (12,5 %) et les universités cantonales (1,5 %).



RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE EN SUISSE

chaleur et de l'électricité (www.sccer-hae.ch). Un autre SCCER est consacré au thème de l'approvisionnement en continu (www.sccer-soe.ch) dans les domaines des énergies géothermique et hydraulique. Avec environ un tiers de la consommation finale d'énergie, le domaine de la mobilité revêt une importance particulière. Le SCCER « Mobilité » traite des concepts, processus et composants efficaces dans les transports (www.sccer-mobility.ch). Le SCCER « Biosweet » se concentre sur l'utilisation de la biomasse pour la production de carburants gazeux et liquides ou encore pour la production d'électricité et de chaleur d'origine renouvelable (www.sccer-biosweet.ch). Un dernier SCCER étudie le cadre réglementaire et les mécanismes incitatifs en lien avec la « Stratégie énergétique 2050 » (www.sccer-crest.ch).

Dans un approvisionnement énergétique axé sur le développement durable, l'énergie photovoltaïque revêt une importance toujours plus grande au niveau national et international. Selon la stratégie énergétique nationale, près de la moitié de l'électricité provenant de sources renouvelables devra, à l'horizon 2050, être générée à partir du soleil. Sur ce thème, le Centre de systèmes photovoltaïques (PV-center) a été créé en 2013 au Centre suisse d'électronique et de microtechnique de Neuchâtel (www.csem.ch/pv-center) avec les objectifs suivants : accélérer le processus d'industrialisation des composants et systèmes solaires, développer de nouvelles générations de cellules et modules PV et accompagner le passage à un système énergétique national où l'électricité solaire jouera un rôle essentiel. Entre 2013 et 2016, la Confédération accorde à ce centre un crédit de soutien de 19 millions de francs.

La Confédération soutient les idées prometteuses à différents niveaux. La recherche énergétique de l'OFEN couvre prioritairement la recherche appliquée jusqu'au développement de prototypes et de projets pilotes et de démonstration, alors que la Commission pour la

technologie et l'innovation (CTI) se concentre sur l'application des résultats de la recherche couronnés de succès dans des produits et services innovants et capables de s'imposer sur le marché. Les projets soutenus par la CTI et généralement réalisés en commun par les hautes écoles et les entreprises contribuent à renforcer la compétitivité des entreprises suisses. Avec la mise en place des huit SCCER, les budgets de l'OFEN pour les projets pilotes et de démonstration et celui de la CTI pour la promotion des projets dans le domaine de l'énergie ont fortement augmenté.

Suite à l'accident nucléaire à Fukushima, le Conseil fédéral a chargé le Fonds national suisse (FNS) de lancer des appels d'offres publics pour les Programmes nationaux de recherche (PNR) sur les thèmes « Virage énergétique » (PNR 70) et « Gérer la consommation d'énergie » (PNR 71). Alors que le PNR 70 se concentre sur les aspects de la transition énergétique relatifs aux sciences naturelles et à la technologie ainsi que sur la mise en œuvre d'un nouveau système énergétique en Suisse, le PNR 71 se focalise sur les aspects sociaux, économiques et normatifs de cette transition et cherche à comprendre comment inciter les acteurs privés et publics à utiliser l'énergie de manière efficace. Les travaux de recherche des PNR ont débuté en 2014 et se termineront en 2018. Ils disposent d'un budget total de 45 millions de francs.

A l'exception du programme de recherche Déchets radioactifs, l'OFEN ne dirige pas de programme dans le domaine de l'énergie nucléaire. Les activités de recherche en matière de fission nucléaire sont menées par l'Institut Paul-Scherrer (PSI) et celles en matière de fusion nucléaire par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Quant à l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), elle est responsable de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire.

Rolf Schmitz / Stefan Oberholzer

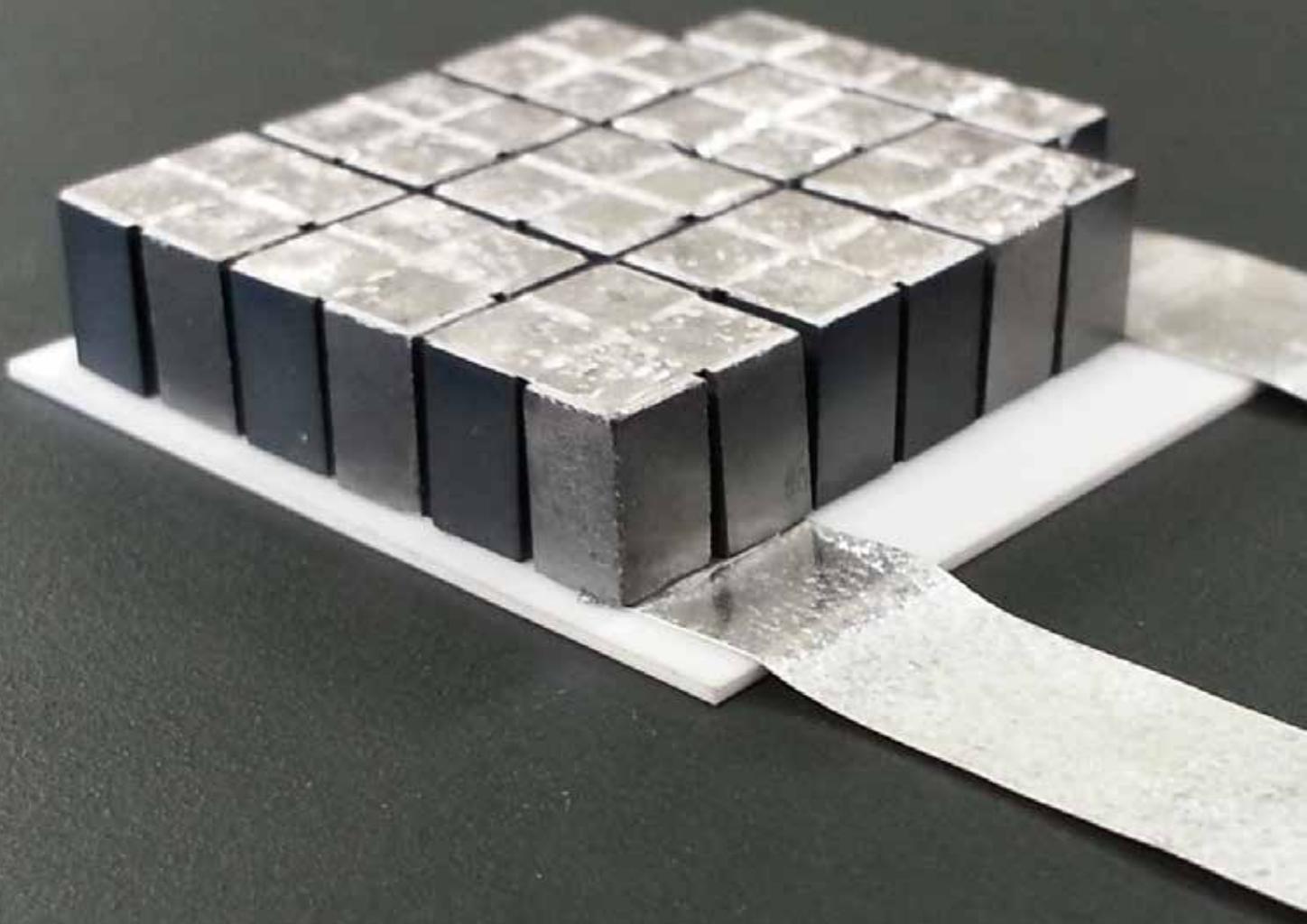




EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

L'efficacité énergétique revêt une grande importance pour réaliser les objectifs prévus dans la « Stratégie énergétique 2050 » de la Confédération. Le Conseil fédéral et le Parlement ont reconnu ceci : au cours des quatre prochaines années, 72 millions de francs doivent être investis pour créer huit nouveaux centres de compétences, dont cinq dans le domaine de l'efficacité énergétique. Cela renforcera principale-

ment les capacités de recherche en matière de réseaux, de bâtiments et d'industrie, de mobilité et de technologies de stockage. 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.



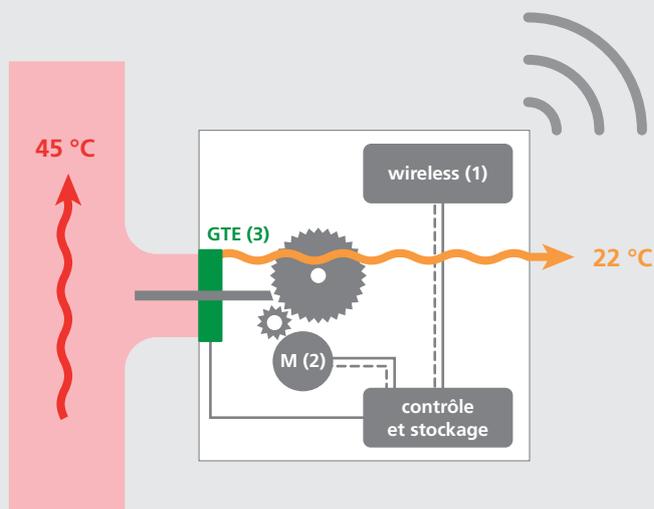
Générer de l'électricité directement à partir de la chaleur

Les générateurs thermoélectriques (GTE) sont capables de produire de l'électricité directement à partir de l'énergie thermique sans utiliser d'éléments mobiles. L'effet physique fondamental, appelé effet Seebeck, décrit l'apparition d'une tension électrique (tension thermoélectrique) au point de contact entre deux matériaux électro-conducteurs qui se trouvent à différents niveaux de température. Cet effet est réversible et depuis longtemps, par exemple pour le refroidissement de mini-réfrigérateurs silencieux, mais avec un rendement relativement modeste. La production d'électricité basée sur des différences de température peut toutefois s'avérer intéressante, à condition d'utiliser les rejets de chaleur au lieu de les rejeter dans l'environnement sans les avoir utilisés. Rien que pour la Suisse, le potentiel des rejets thermiques industriels non utilisés est estimé à quelque 250 GWh.

En 2008, l'Office fédéral de l'énergie a lancé une étude de potentiel sur le thème de la thermoélectricité pour comparer la technologie thermoélectrique avec d'autres technologies concurrentes. Cette étude a démontré entre autres que les matériaux thermoélectriques disponibles doivent être considérablement améliorés en termes de performance et de stabilité thermique. Elle a donné lieu à plusieurs travaux de recherche dans le domaine des matériaux. En parallèle, on a construit et testé les premiers prototypes de générateurs thermoélectriques. En 2014 s'est achevée une étude de faisabilité sur l'utilisation des rejets thermiques de la grande industrie, à l'instar des aciéries et des fonderies : il en résulte qu'une utilisation thermoélectrique

pourrait s'avérer très intéressante. L'étude a aussi démontré que l'utilisation thermoélectrique nécessite des composants assez volumineux pour pouvoir absorber une puissance calorifique résiduelle de plusieurs kilowatts, voire mégawatts. A cela s'est ajoutée la question de la rentabilité.

La technologie thermoélectrique recèle également un fort potentiel dans le secteur du captage d'énergie. Il s'agit de la possibilité de capter de l'énergie en exploitant le solaire, la chaleur ou l'énergie cinétique à l'aide de mini-générateurs mobiles et indépendants du réseau. Une application prometteuse est la valve thermostatique GTE qui capte l'énergie nécessaire au fonctionnement en exploitant la différence de température entre l'air



Vanne de chauffage automatique pour contrôler la température ambiante. L'énergie pour l'unité de commande radio (1) et l'entraînement (2) est fournie par générateur thermoélectrique (3).

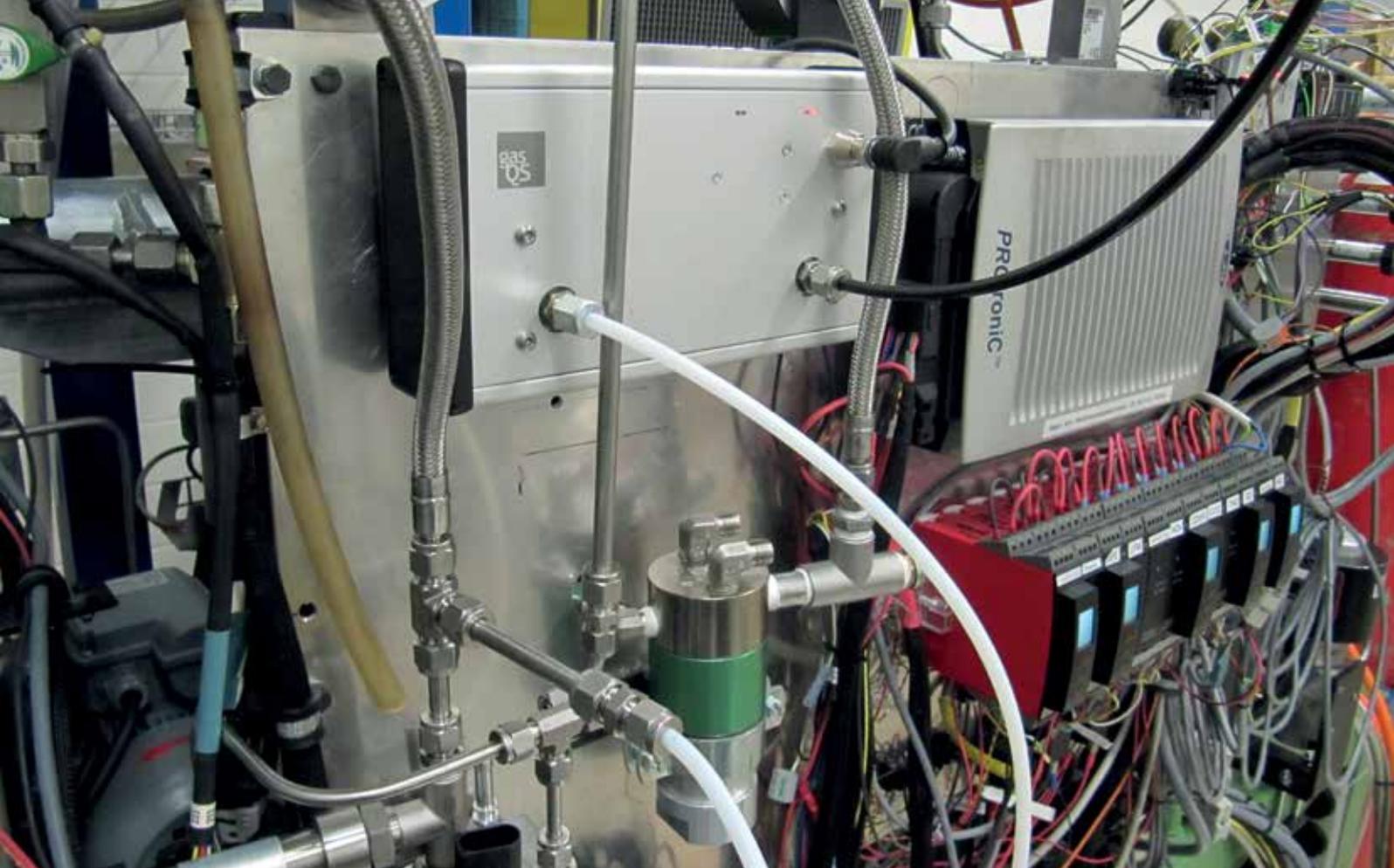
ambiant et le fluide du radiateur. Les valves thermostatiques conventionnelles (thermostats) sont très répandues. Elles fonctionnent de manière fiable, mais souvent ne règlent pas la température ambiante de manière optimale du point de vue de l'efficacité énergétique. Ainsi, dans les appartements, le chauffage fonctionne habituellement à plein régime pendant toute la journée, bien que les habitants ne soient pas chez eux. De même en cas d'absence prolongée pendant les vacances, les radiateurs conservent leur température si personne ne prend la peine d'abaisser manuellement les thermostats. On pourrait éviter cela si le réglage de la température ambiante était transféré à un système de commande automatique. Ces systèmes règlent le chauffage de manière « intelligente » : lorsque les habitants sont dans le logement, le chauffage fournit la chaleur souhaitée, alors qu'en cas d'absence, il abaisse la température. Ces sys-

tèmes transmettent par radio leurs commandes aux valves thermostatiques qui les exécutent automatiquement. Combinés à des valves thermostatiques automatiques, ces systèmes permettent d'économiser environ 25 % de l'énergie de chauffage, et cela sans diminuer le confort pour les habitants.

Comparativement à une valve thermostatique conventionnelle, une valve automatique contient des éléments supplémentaires : (1) un récepteur radio qui reçoit le signal; (2) un moteur qui ouvre et ferme l'arrivée du radiateur en fonction des besoins. Le récepteur radio et le moteur ont besoin d'électricité : elle est produite par le générateur thermoélectrique (GTE) directement dans la valve thermostatique. Comme source d'énergie, le GTE utilise la différence de température de 10 à 40 °C entre la température de départ du chauffage (35 à 60 °C) et la température ambiante (20 à 25 °C).

Pour cette application, un générateur thermoélectrique pourrait être disponible à la fin de l'année prochaine déjà. Actuellement, l'entreprise zurichoise GreenTEG s'efforce, dans le cadre d'un projet soutenu par l'OFEN, de développer un prototype totalement fonctionnel qui devrait être fabriqué en série par la suite. Le mini-générateur doit fournir suffisamment de courant pour faire fonctionner la valve thermostatique. Pour ce faire, le GTE, de la grandeur d'un ongle, est censé fournir environ 100 à 200 microwatts. Cette puissance ne suffit pas à approvisionner directement une valve thermostatique automatique. C'est pourquoi le GTE alimente un accumulateur électrique intermédiaire (supercondensateur ou batterie) et si besoin est, la valve thermostatique avec le récepteur radio et le moteur récupère la puissance de cet accumulateur intermédiaire.

Roland Brüniger / Michael Moser



Capteur de qualité de gaz dans le projet « GasPot » sur le banc d'essai de l'Empa.

Un capteur de gaz pilote le processus de combustion

La qualité du carburant peut être à l'origine d'un cliquetis, d'un moteur qui tousse ou d'une puissance insuffisante du moteur à combustion. Les carburants et combustibles gazeux revêtent toujours plus d'importance pour la propulsion des véhicules ou pour la production d'électricité. Ils proviennent de diverses sources et leur composition chimique diffère. La détection de la qualité du gaz et l'adaptation de la commande du processus de combustion en temps réel permettent d'éviter les pertes de rendement. Cela a été démontré avec succès sur le banc d'essai grâce à un nouveau capteur de qualité du gaz.

La qualité du carburant peut être à l'origine d'un cliquetis, d'un moteur qui tousse ou d'une puissance insuffisante du moteur à combustion. Les carburants et combustibles gazeux revêtent toujours plus d'importance pour la propulsion des véhicules ou pour la production d'électricité. Ils proviennent de diverses sources et leur composition chimique diffère. La détection de la qualité de gaz et l'adaptation de la commande du

processus de combustion en temps réel permettent d'éviter les pertes de rendement. Cela a été démontré avec succès sur le banc d'essai grâce à un nouveau capteur de qualité du gaz.

En Suisse, le gaz naturel est fourni dans la qualité « H » (pourcentage élevé de méthane) dont le pouvoir calorifique est garanti dans une fourchette étroite. Mais sa composition chimique peut varier. Le

gaz russe affiche ainsi 97 mol% de méthane, alors que le gaz provenant de la Mer du Nord n'affiche que 87 %. Par contre, ce dernier contient davantage d'éthane, de propane et de dioxyde de carbone. A l'avenir de plus grandes quantités de gaz naturel liquéfié (GNL) affichant encore une autre composition seront injectées dans le réseau européen. Mais on y ajoutera aussi plus souvent du biogaz valorisé ou de l'hydrogène produit par électro-



Capteur de qualité du gaz de l'entreprise MEMS AG analysant la composition du gaz en temps réel, afin de régler correctement les paramètres de combustion dans un moteur à gaz.

lyse. Le biogaz utilisé directement (sans traitement) présente presque constamment des variations dans sa composition et contient notamment un très grand pourcentage de dioxyde de carbone.

Les différences de composition de gaz peuvent provoquer un retard à l'allumage ou un cliquetis (autoallumage), se répercuter sur le processus de combustion ou sur les polluants des gaz d'échappement. Les effets diffèrent en fonction du concept de combustion – par exemple un mode de fonctionnement stœchiométrique avec recirculation des gaz d'échappement ou un mode pauvre avec un excès d'air. Les conséquences possibles des différentes compositions de gaz sont une plus forte usure et le déplacement du point de déclenchement de la combustion réduisant sensiblement le rendement. Dans les moteurs de véhicules modernes, une partie de ces différences de carburant peut être compensée par la commande du moteur. Cela permet de constater le cliquetis et de régler en conséquence l'instant d'allumage. Mais sans connaître avec précision la composition des gaz, il est quasiment impossible de corriger d'autres effets.

Pour pouvoir adapter immédiatement le processus de combustion aux variations de la composition du gaz, il faudrait connaître les caractéristiques du carburant en matière de combustion. Pour cela, un dispositif mesurant la qualité du gaz dans le moteur et transmettant ces informations à la commande du moteur est nécessaire. Un tel composant a été développé en commun par l'entreprise MEMS AG, – spin-off du centre de recherche suisse du groupe ABB – et par l'Empa.

La mesure de la température par une puce micro-thermique permet de déterminer la conductibilité de la chaleur, la capacité thermique massique et la densité du gaz. Une buse mesure en outre le volume spécifique. Par comparaison avec les valeurs de référence d'un grand nombre de gaz différents, les algorithmes de corrélation définissent la qualité quantitative du gaz.

Sur le banc d'essai de l'Empa, un moteur monocylindre a été équipé pour fonctionner avec divers processus de combustion (aspiration de l'air sans obstacle, suralimentation, stœchiométrique avec récupération des gaz d'échappement, mode pauvre avec excès d'air) et doté d'un ensemble complet d'ins-

truments de mesure. Le moteur a fonctionné avec six différentes compositions de gaz : 100 % de méthane, méthane avec jusqu'à 40 mol% de CO₂, 13 mol% d'éthane, 25 mol% d'azote et 15 à 25 mol% d'hydrogène. Cela a permis d'identifier et de mesurer une large gamme de différentes qualités de gaz.

La teneur en hydrogène influence en particulier l'inflammabilité du carburant, ce qui provoque un plus petit retard à l'allumage et un début de combustion plus rapide. Cela est plus marqué lors d'une combustion pauvre que lors d'une combustion stœchiométrique avec récupération des gaz d'échappement. Une proportion plus élevée de CO₂, par exemple celle du biogaz, conduit à un fort ralentissement du processus de combustion.

Entre-temps, le capteur de gaz, appareil de laboratoire, a été perfectionné pour devenir un produit précurseur. Les fabricants de moteurs ou les constructeurs d'installations s'y intéressent, mais également les exploitants de réseaux de gaz pour contrôler la qualité du gaz dans le réseau.

Stephan Renz



Le village de vacances Reka à Blatten (VS) : Les toits sont orientés vers l'ouest et vers l'est pour obtenir un rendement solaire en particulier le matin et l'après-midi, puis lorsque le village de vacances enregistre des pics de consommation.

Double générosité du soleil

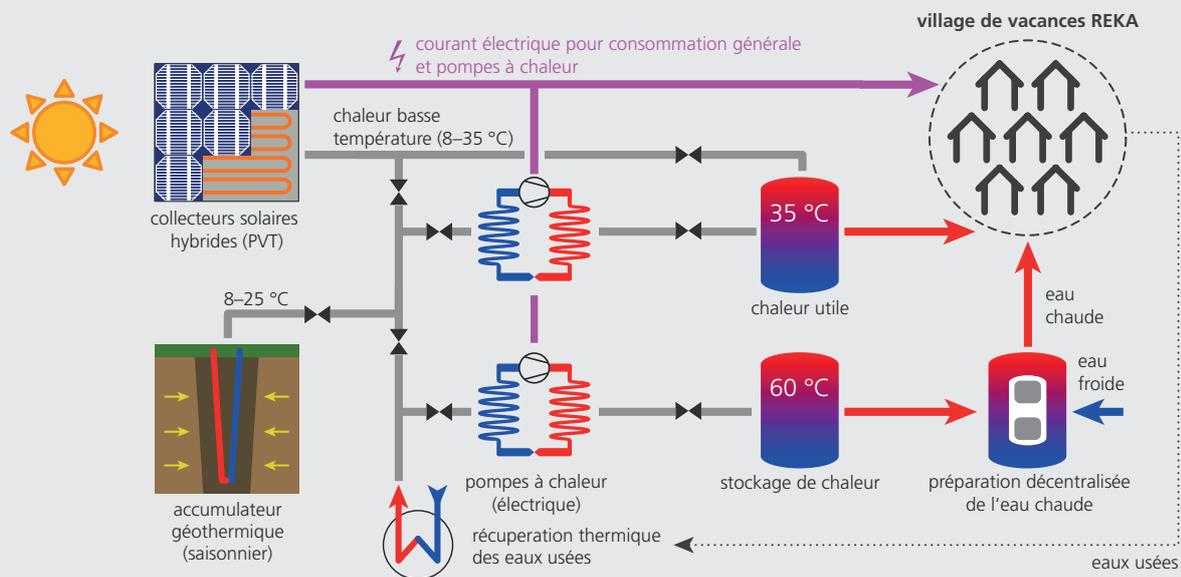
Celui qui passera ses vacances dans le village Reka (Caisse suisse de voyage) de Blatten (VS) profitera doublement du soleil. Il pourra savourer les chaleureux rayons sur le versant sud du Valais et il profitera du soleil indirectement, car le centre de vacances couvre plus de deux tiers de ses besoins énergétiques grâce au soleil. Des collecteurs solaires hybrides produisent l'eau chaude et l'électricité, si bien que le village de vacances peut se passer des énergies fossiles.

Le village de vacances Reka a ouvert ses portes à Blatten pour le lancement de la saison d'hiver en décembre 2014. Il s'agit du 14^{ème} village de vacances que la Reka exploite en Suisse et en Italie. Jusqu'à 350 vacanciers peuvent être accueillis dans 50 appartements répartis dans neuf maisons de vacances. Le village de vacances de Blatten est non seulement le plus récent, mais également le plus moderne du point de vue énergétique.

Son système de chauffage se base sur un concept innovant au grand potentiel de diffusion. Les vacanciers peuvent y savourer pleinement leurs vacances en ayant conscience de respecter l'environnement du point de vue énergétique.

Lors de la planification de son nouveau village de vacances à Blatten, la Reka s'est concentrée sur le thème de l'énergie. Lors de la mise en œuvre, les planificateurs

ont d'abord prévu un chauffage au bois. Mais le bois aurait dû être livré depuis la vallée, ce qui aurait compliqué l'approvisionnement. Ainsi, l'équipe du projet a opté pour une utilisation efficace de l'énergie solaire. Blatten est à ce propos idéalement situé. Le rendement énergétique solaire y est de 20 % supérieur à celui du Plateau suisse en raison de l'altitude. De plus, les basses températures favorisent la production d'électricité solaire.



Vue d'ensemble du système énergétique du village de vacances Blatten-Belalp.

Pour le village de vacances, les planificateurs ont recouru aux nouveaux panneaux hybrides du fabricant suisse Meyer-Burger qui produisent aussi bien du courant photovoltaïque que de l'eau chaude. Quatre toits équipés de panneaux hybrides et trois autres équipés de panneaux photovoltaïques fournissent jusqu'à 380 kW de chaleur et 180 kW_p d'électricité. Ensemble, ils constituent la base de l'approvisionnement énergétique du village de vacances Reka.

Les panneaux hybrides alimentent le chauffage à basse température (35 °C) et approvisionnent le village de vacances en eau chaude (60 °C) qui représente ici une part relativement élevée des besoins énergétiques. Lorsque le soleil ne fournit pas la température souhaitée, des pompes à chaleur prennent le relais. Elles utilisent l'électricité nécessaire de leur propre installation photovoltaïque et le réseau fournit

le reste (centrale hydroélectrique de Blatten). Le système énergétique est complété par une installation de récupération thermique à partir des eaux usées (douches, lavabos, toilettes). Ces sources d'énergie peuvent couvrir plus de 70 % des besoins énergétiques sur une année.

Pour que le système fonctionne, un accumulateur composé de 31 sondes géothermiques posées à environ 150 m dans la roche est nécessaire. Ces sondes sont adaptées pour stocker la chaleur dans la pierre environnante ou pour l'en soutirer. L'accumulateur géothermique permet de passer l'hiver avec la chaleur excédentaire accumulée l'été : pendant les mois chauds, la terre peut chauffer jusqu'à 14 °C; cette chaleur est ensuite utilisée pendant la saison froide où la terre refroidit jusqu'à 4 °C. L'accumulateur souterrain permet le stockage temporaire pour de longues pé-

riodes (plusieurs mois) d'une grande part de la chaleur produite par les capteurs solaires.

Les coûts d'investissement et d'exploitation pour la chaleur destinée au chauffage s'élèvent à 24,5 ct./kWh selon les planificateurs énergétiques, soit environ un quart plus élevés qu'une production d'énergie par un chauffage à mazout. Les coûts d'investissement du concept d'énergie solaire sont supérieurs de 1,6 million de francs que pour le chauffage à pellets de bois initialement prévu, qui aurait coûté environ 0,9 million de francs.

Le système énergétique sélectionné est l'expression des objectifs de durabilité que la Reka s'est fixés en. Six des 14 villages Reka sont à jour en termes énergétiques et trois autres villages de vacances seront entièrement rénovés en matière énergétique d'ici à 2017.

Benedikt Vogel



EN BREF ...

Le potentiel d'efficacité des transformateurs est loin d'être épuisé

Lorsqu'on parle d'utilisation économe de l'électricité, on pense généralement aux consommateurs privés ou commerciaux. Cependant, le réseau électrique lui-même recèle un énorme potentiel d'efficacité. Une étude a estimé le potentiel des transformateurs de distribution des réseaux de moyenne et basse tension pour la plage de puissance de 100 à 2000 kVA. Les transformateurs de tension des quelque 700 gestionnaires suisses du réseau de distribution ainsi que des entreprises artisanales et industrielles enregistrent des pertes d'énergie annuelles d'environ 400 GWh. Ces pertes pourraient se réduire de moitié en employant les transformateurs les plus modernes à noyau amorphe, ce qui correspondrait à une économie de plus de 0,3 % de la consommation nationale d'électricité.

Michael Moser



Le potentiel d'économie par transformateur équivaut à peu près à la consommation annuelle d'électricité d'un ménage de plusieurs personnes.

Accumulateurs thermiques de glace

La rénovation totale de deux immeubles de huit étages de la coopérative d'habitation « La Cigale » au centre de Genève est la plus grande rénovation de bâtiment conforme à la norme d'efficacité énergétique « Minergie P » jamais réalisée en Suisse. Grâce à une isolation thermique efficace de l'enveloppe du bâtiment et à l'installation d'une aération

douce, la consommation annuelle pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est passée à 34 kWh/m², ce qui représente une réduction d'environ 70 %. Le système de chauffage intégré comprend 1 680 m² de capteurs solaires non vitrés, cinq pompes à chaleur et deux accumulateurs de glace. Ces accumulateurs retiennent l'énergie excédentaire des capteurs solaires et complètent ainsi le système de chauffage à basse température.

Benedikt Vogel

Installation solaire thermique sur deux immeubles d'habitation à Genève avec un total de 273 appartements et une surface de référence énergétique totale de 19 000 m².





ÉNERGIES RENOUVELABLES

La part des énergies renouvelables augmente constamment à travers le monde, notamment dans le secteur de l'électricité. Les taux de développement annuels de certaines technologies affichent un pourcentage à deux chiffres : 27 % pour l'éolien et 42 % 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 en-

tier. En revanche, par rapport à la demande globale d'énergie primaire, la part des énergies renouvelables est demeurée stable ces 10 dernières années à hauteur de 13 % environ. 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.





Production d'hydrogène solaire

La production d'électricité solaire revêt toujours plus d'importance à travers le monde. En 2014, pour la première fois, une puissance photovoltaïque de plus de 50 gigawatts a été installée, ce qui met la question du stockage de cette énergie au premier plan. L'une des possibilités est de transformer l'électricité solaire pour produire des agents énergétiques chimiques, par exemple de l'hydrogène, par électrolyse de l'eau. Mais les porteurs de charge obtenus dans une cellule solaire par l'effet photoélectrique peuvent aussi servir à transformer directement l'eau en hydrogène et en oxygène afin de stocker directement l'énergie solaire – à l'image des plantes qui, lors de la photosynthèse, séparent l'eau en oxygène et en hydrogène grâce pour ensuite transformer le dioxyde de carbone en glucose.

En Suisse, plusieurs groupes de chercheurs travaillent dans le domaine de la photocatalyse pour produire des carburants chimiques riches en énergie à partir de l'énergie solaire et de l'eau. Le grand défi à relever concerne la tension requise pour la dissociation de l'eau d'au moins 1,23 volt (dans la pratique, au moins 1,7 volt) que l'on peut seulement obtenir avec plusieurs cellules photovoltaïques standards en série. L'année dernière, une nouvelle approche à ce sujet a été présentée dans une publication dans le journal « Science » par un groupe de chercheurs de l'EPFL de Lausanne (EPFL-LPI). Dans une cellule produisant de l'hydrogène sous l'incidence de la lumière du soleil, on a placé deux nouvelles cellules solaires de pérovskite qui affichent une tension de

circuit ouvert relativement élevée de plus d'un volt, ce qui a permis d'obtenir, seulement avec deux cellules solaires de ce type, une tension totale de deux volts, suffisante donc pour la dissociation de l'eau. En l'occurrence, on a aussi notamment utilisé des catalyseurs basés sur du nickel et du fer qui réduisent fortement les surtensions (différence entre la tension à appliquer effectivement pour la séparation de l'eau et celle de 1,23 volt théoriquement nécessaire). En conditions de test standard, on a pu démontrer en laboratoire une production d'hydrogène solaire de 12,3 %. Par le passé, une telle efficacité ne pouvait être réalisée qu'avec des cellules solaires beaucoup plus onéreuses basées sur des matériaux semi-conducteurs III-V et en utilisant des matériaux catalyseurs basés sur des terres rares.



Production de l'hydrogène au moyen d'un processus solaire thermique en deux étapes reposant sur des oxydes métalliques : une première étape de dissociation thermique de l'oxyde métallique et une seconde étape d'hydrolyse du métal produisant l'hydrogène et de nouveau l'oxyde métallique.

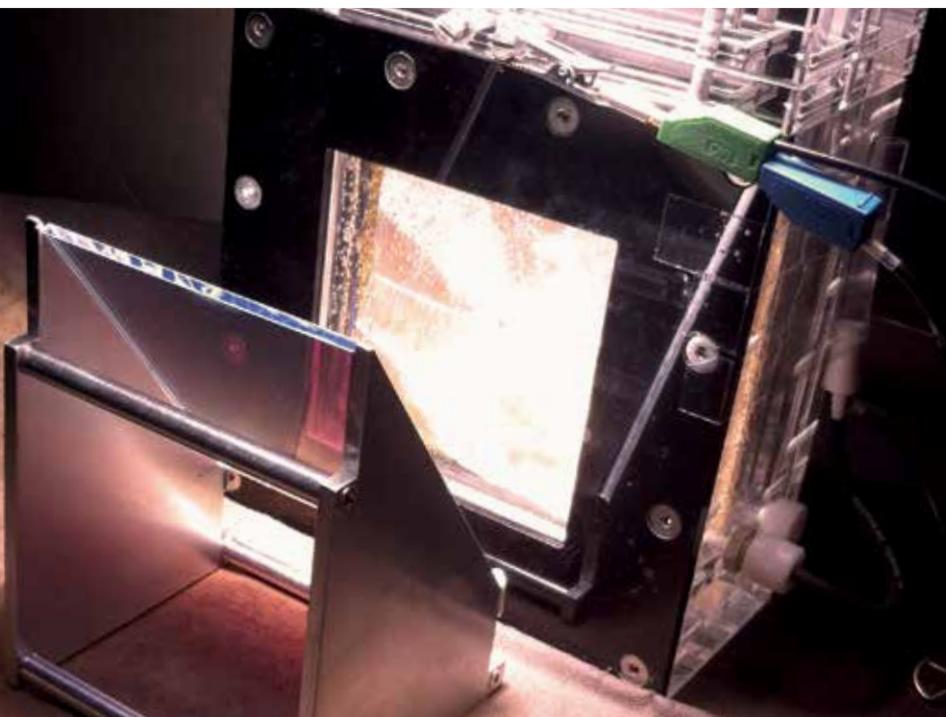
Un autre groupe de chercheurs de l'Empa et de l'Université de Bâle a été récompensé fin 2014 aux Etats-Unis pour ses travaux dans le domaine de la production d'hydrogène solaire en tant que l'un des « 100 leading global thinkers ». Ces chercheurs utilisent des photo-électrodes basées sur de l'oxyde de fer (hématite) pour décomposer l'eau en oxygène et en hydrogène. Au contraire des travaux susmentionnés, les photocellules et les électrodes qui décomposent l'eau sont directement intégrées dans une cellule photo-électrochimique. L'hématite est résistante à la corrosion et bon marché, mais les porteurs de charge libres ne peuvent

pas s'y déplacer facilement, de sorte que les couches absorbant la lumière doivent être extrêmement minces. La nouveauté des travaux réside dans la disposition particulière de ces couches d'hématite en forme de sphère («œil de mite») qui permet d'absorber la lumière incidente, de sorte qu'on obtient des courants photoélectriques suffisamment élevés pour décomposer l'eau malgré une mince couche d'absorption.

Les chercheurs à l'EPF de Zurich (PREC) et à l'Institut Paul Scherrer au laboratoire solaire ont opté pour une toute autre approche. Ils utilisent l'énergie solaire concentrée

pour dissocier, par des processus thermochimiques, de l'hydrogène et/ou du CO_2 , et ainsi obtenir de l'hydrogène pur ou du gaz de synthèse, un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Grâce à d'autres processus chimiques intermédiaires, le gaz de synthèse permet de fabriquer des hydrocarbures liquides tels que l'essence ou le kérosène. Comme les températures ici sont beaucoup plus élevées, les systèmes de matériaux sont très différents de ceux des cellules utilisées par la photocatalyse et la photo-électrochimie.

Stefan Oberholzer



Configuration en tandem « PEC-PV » pour la production hydrogène solaire à l'EPF de Lausanne en en échelle élevée : un miroir dichroïque rejette la moitié de la lumière incidente sur une cellule photoélectrochimique (photo-anode en oxyde de cuivre) et l'autre moitié sur une cellule photovoltaïque à hétérojonction.



Faire le plein avec 100 % de biométhane à une station-service « Blue BONSAI-Tankstelle » à Reiden (LU).

La station-service directement à la ferme

Comment doit-on et peut-on remplacer les carburants fossiles ? Une possibilité est de transformer le biogaz en carburant. Le territoire exigu de la Suisse exige des techniques spécifiques pour des installations de petite taille et décentralisées. Les petites installations ont longtemps été considérées comme impossibles car non rentables. Le projet « Blue BONSAI » présente des solutions qui permettent de faire le plein directement chez l'agriculteur.

Le gaz brut à partir du fermenteur de biogaz se compose d'environ 50 à 62 % de méthane, le reste est en grande partie du dioxyde de carbone. Un mètre cube de gaz brut contient 5 à 6 kWh d'énergie, ce qui suffirait pour parcourir une dizaine de kilomètres. Mais un traitement est nécessaire pour l'utiliser

comme carburant : il faut éliminer l'humidité et plusieurs sous-produits indésirables comme l'ammoniac ou l'hydrogène sulfuré. Ensuite, on augmente la teneur en méthane en extrayant le dioxyde de carbone. Il en résulte un gaz composé au moins à 96 % de méthane et environ 10 kWh d'énergie (comparable au gaz naturel).

Pour extraire le dioxyde de carbone, il existe différentes techniques : adsorption à pression alternée, lavage à l'eau sous pression, traitement aux amines. La pression sur les coûts pour les petites installations est énorme : la base de l'installation en termes de technique et de sécurité coûte aussi cher que pour une grande ins-

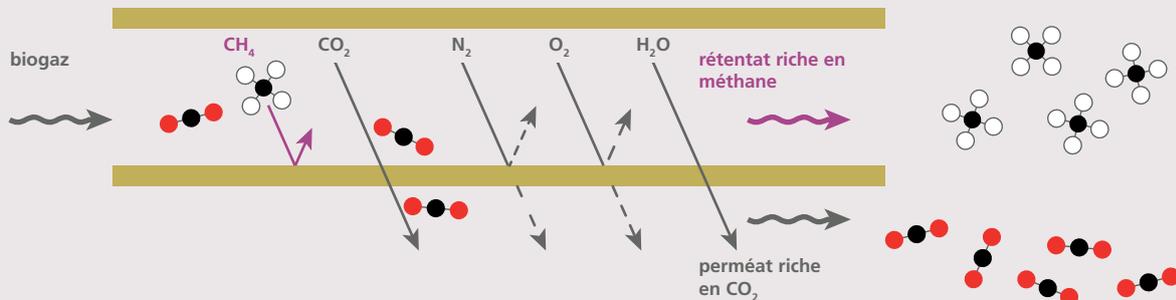


Illustration d'une fibre creuse en section transversale : le CO₂ (en rouge et noir) traverse les pores, le CH₄ (en noir et blanc) reste dans la fibre et peut dès lors être extrait.

tallation. Les économies au niveau de la conduite des procédés, dans la technique de commande et dans la construction sont donc nécessaires et influencent le développement du projet « Blue BONSAI » (Apex SA et Duttwiler Energietechnik). Une autre particularité du biogaz suisse joue également un rôle : les substrats sont plus variés, car, de manière cohérente, seuls les déchets biogènes sont utilisés pour la fermentation. Avec des intrants qui fluctuent, la quantité et la qualité du gaz varient également. Le système doit faire face à ces contraintes.

Dans le projet « Blue BONSAI », on utilise la séparation membranaire qui permet le traitement pour les petites installations (le modèle fonctionnel de l'installation au biogaz Grossenbacher à Reiden a une capacité de seulement 2,5 Nm³/h de gaz brut ou d'environ 1,5 Nm³/h de biométhane). A cause de la différence de pression, la membrane agit comme un filtre

qui laisse passer le CO₂ à travers les pores, tout en retenant le méthane. Une installation « Blue BONSAI » comprend la purification du biogaz brut, la préparation du biogaz, le compactage sous haute pression et le stockage du gaz dans une station-service à biogaz avec un dispositif de distribution du carburant.

Une installation « Blue BONSAI » est idéale pour une exploitation agricole ou pour une station d'épuration des eaux usées avec une centrale de cogénération. On peut ainsi transformer une partie du biogaz en carburant et le reste en électricité. La co-exploitation permet d'optimiser la production de gaz, c'est-à-dire de produire davantage de carburant ou d'électricité selon la demande, les débouchés et le prix.

Les installations agricoles au biogaz sont souvent isolées et éloignées du réseau de gaz naturel, et il manque des stations-service délivrant du gaz naturel. Une instal-

lation « Blue BONSAI » permet de combler ces lacunes sur la carte suisse des stations-service.

Le biogaz clôt le cycle du CO₂. Les biomasses actuelles (résidus tels que lisier, fumier, déchets verts, résidus alimentaires etc.) fermentent dans le fermenteur, les résidus de fermentation sont recyclés comme engrais, le gaz produit de l'électricité, de la chaleur ou précisément du carburant. Le CO₂ issu de l'effluent gazeux provenant de la transformation en biogaz ou des gaz d'échappement des voitures clôt le cycle, « neutre » du point de vue du CO₂.

A l'avenir, on pourra directement recycler le CO₂ séparé et concentré lors de la préparation. La voie est ouverte pour l'employer comme engrais dans une serre, pour la culture des algues ou pour la méthanisation visant à produire à nouveau du méthane avec l'hydrogène issu du « courant excédentaire ».

Sandra Hermle



Une ligne de production pilote pour des cellules solaires haute performance

Le photovoltaïque revêt une importance toujours plus grande à travers le monde dans un approvisionnement énergétique orienté vers le développement durable. La stratégie énergétique nationale prévoit ainsi qu'en 2050, près de la moitié de l'électricité issue de sources d'énergie renouvelables sera produit par le photovoltaïque. L'un des défis à relever par cette technologie réside dans une nouvelle réduction des coûts tout au long de la chaîne de création de valeur, notamment par une nouvelle augmentation de l'efficacité énergétique de certains composants et par la mise en œuvre industrielle de nouveaux produits et procédés de fabrication.

Après une période difficile pour l'ensemble de l'industrie photovoltaïque, marquée par des surcapacités, une énorme pression sur les prix et un grand assainissement du marché, le marché mondial se remet actuellement plus rapidement que ce que prévoyaient

de nombreux experts. Une présence de plus en plus forte sur le marché de fabricants asiatiques de modules apporte surtout des nouveautés intéressantes pour les fournisseurs européens. Ce que l'on demande ici, ce sont des développements novateurs pour la fabrication à moindre coûts de cellules et

de modules solaires à haute performance, afin de réduire encore les coûts de production de l'électricité solaire.

Depuis 2013, le projet Swiss-Inno HJT de Meyer Burger Research, conjointement avec le PV-center du CSEM de Neuchâtel, a mis en place



En novembre 2014, une installation pilote pour la production de panneaux solaires à hétérojonction très performants (HJT) a été inaugurée sur le site du groupe Meyer Burger Research SA à Hauterive, Neuchâtel.

une ligne de production pilote pour les cellules solaires à haute performance basées sur la technologie « Hétérojonction ». L'Office fédéral de l'énergie et le canton de Neuchâtel soutiennent le projet. La technologie cellulaire utilisée a été développée dans le cadre d'une coopération étroite de plusieurs années entre le PV-Lab de l'EPFL à Neuchâtel et l'ex-Roth & Rau Research. Il s'agit en l'occurrence de plaquettes au silicium monocristallin recouvertes d'une couche de silicium amorphe de quelques nanomètres d'épaisseur. Les modules atteignent ainsi des rendements de 21 %, nettement supérieurs à la moyenne des modules au silicium

cristallin (16 %). Par ailleurs, cette technologie se caractérise par un rendement énergétique particulièrement élevé (kWh/kW).

La mise en place de cette ligne pilote, d'une capacité de production souhaitée de 600 kW_p/an, est censée démontrer le potentiel pour des coûts de production bas (moins de 0.65 CHF/W_p). Le projet peut contribuer à préparer une commercialisation prometteuse de cette technologie et partant à renforcer globalement la Suisse en tant que pôle technologique dans le domaine photovoltaïque.

Stefan Oberholzer



EN BREF ...

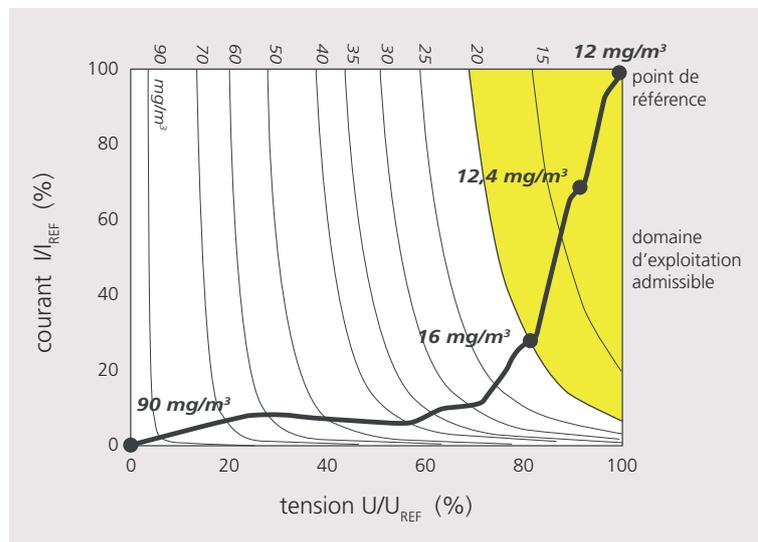
Chauffage à bois automatique et séparateur de poussières fines – un duo qui fonctionne ?

Les chauffages à bois automatiques d'une puissance supérieure à 500 kW sont généralement équipés de séparateurs électrostatiques pour respecter la valeur limite de poussières fines définie par l'ordonnance sur la protection de l'air. Comme, dans la pratique, les chauffages sont souvent opérationnels à charge partielle ou en mode marche-arrêt, les séparateurs électrostatiques ne sont parfois pas efficaces en continu, mais seulement de manière limitée. Une enquête menée sur deux ans montre que les dysfonctionnements auxquels on n'a pas remédié immédiatement réduisent considérablement la disponibilité des séparateurs et augmentent ainsi les émissions. L'analyse confirme donc l'utilité d'une surveillance des installations à l'aide des données des systèmes de commande des chaudières et des séparateurs électrostatiques.

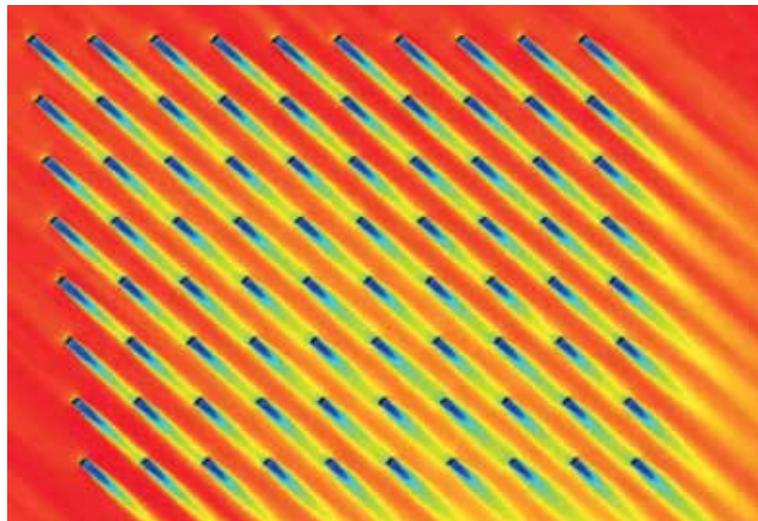
Sandra Hermle

L'énergie éolienne atteint de meilleurs rendements

Les résultats actuels de la recherche montrent que les conditions difficiles rencontrées en Suisse par l'énergie éolienne, telles que la topographie complexe, les turbulences ou le givre, sont mieux maîtrisées et peuvent également avoir des effets positifs. Dans les terrains vallonnés que l'on rencontre fréquemment en Suisse, les éoliennes peuvent être placées beaucoup plus près les



Champ caractéristique d'un séparateur électrostatique dans le diagramme électricité-tension. Les points démontrent les valeurs mesurées des poussières fines. Le point de référence est inscrit en haut à droite. La partie jaune désigne le domaine d'exploitation admissible.



Modélisation numérique des vitesses moyennes du vent dans le temps dans un grand parc éolien pour analyser l'influence des générateurs de tourbillons (vent de 312° ; rouge : > 8 m/s ; bleu < 4 m/s).

unes des autres qu'en plaine, car grâce aux turbulences, le flux d'air, qui a été atténué derrière une turbine, circule à nouveau plus rapidement (www.lec.ethz.ch). Les nouvelles connaissances de la couche limite au cours de la journée ainsi

que la longueur différenciée du générateur de tourbillons jour et nuit peuvent encore améliorer les rendements de la gestion optimisée des turbines et des parcs éoliens (<http://wire.epfl.ch>).

Katja Maus



ASPECTS SOCIOÉCONOMIQUES DES TECHNOLOGIES ET SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Le programme transversal « Énergie – économie – société (EES) » aborde les 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 développer de nouveaux instruments de politique énergétique, mais également à vérifier les instruments existants. En 2014, une lar-

ge palette de projets de recherche sur des thèmes aussi variés que le comportement des consommateurs d'énergie, la conception du marché de l'électricité, le potentiel de la gestion de la demande ou les conséquences socioéconomiques potentielles des instruments de politique énergétique, ont été encouragés.





Conséquences du stockage décentralisé de l'électricité et de la gestion de la demande sur le développement du système énergétique

La décision de principe du Conseil fédéral et du Parlement de sortir progressivement de l'énergie nucléaire exige une transformation progressive du système énergétique suisse. Le mix énergétique devra être complété par une grande part d'énergies renouvelables disponibles de manière intermittente. Comme les conditions météorologiques changent en permanence, la disponibilité de l'énergie solaire et éolienne fluctue. Il faut admettre que les énergies intermittentes ne sont temporairement disponibles qu'en petite quantité.

Plusieurs stratégies sont envisageables pour surmonter ce problème. Les investissements dans les capacités de remplacement rapidement disponibles et garantissant l'équilibre au sein du réseau électrique, les investissements dans l'interconnexion avec les réseaux énergétiques des régions voisines pour pouvoir procéder à des échanges d'énergie, ainsi que les investissements dans les technologies de stockage et la mise en œuvre de mécanismes de gestion de la demande représentent différentes approches possibles. Cette dernière mesure vise à améliorer de manière dynamique l'adéquation entre production intermittente et demande.

Une étude menée dans le cadre du programme de recherche EES a identifié les conséquences du

stockage décentralisé et des mécanismes de réaction de la demande (demand response) sur le développement à long terme du système énergétique. Les mécanismes de stockage servent à absorber les excédents de production des énergies renouvelables réalisés par temps de grand vent et/ou lors d'un ensoleillement intense pour les réinjecter ultérieurement dans le réseau en cas de besoin. Quant aux mécanismes de réaction de la demande, ils exploitent la flexibilité de la demande. Une certaine flexibilité des courbes de profil de charge a été introduite pour modéliser les mécanismes de stockage et de réaction de la demande. Le calibrage de cette flexibilité a été effectué sur la base d'un sondage en Suisse romande. Il en résulte qu'environ 80 % des ménages participeraient aux mécanismes de stockage

dans les véhicules électriques et aux mécanismes de réaction de la demande, et cela même si les incitations financières étaient modestes. Il s'avère par ailleurs que les mécanismes de réaction de la demande ont tendance à diminuer l'attractivité du stockage dans les véhicules électriques, car la gestion de la demande réduit la disparité des prix et limite les possibilités d'arbitrage. Le stockage décentralisé dans les véhicules électriques tend à augmenter l'attractivité des énergies renouvelables, notamment celle de l'énergie éolienne.

Une autre étude a analysé le potentiel de flexibilisation de la demande d'électricité des ménages avec l'objectif de maximiser la part de la production d'électricité issue du photovoltaïque utilisé localement et d'améliorer ainsi l'adéquation entre production locale et demande. Une analyse technique des caractéristiques des ménages et des facteurs d'influence de la flexibilité a donné un potentiel théorique de flexibilisation de 6 % à 8 %. Mais il n'est pas si simple d'exploiter ce potentiel dans la pratique. Avec des incita-

tions financières, la part d'électricité qui était utilisée entre 11 et 15 heures s'est accrue de 2,9 %. Ceci est d'autant plus remarquable que la part d'électricité consommée pendant ce laps de temps s'élevait en moyenne à 20 % pour les participants. Ce résultat montre que les tarifs en fonction de l'heure de consommation représentent un instrument intéressant pour la gestion de la demande.

Anne-Kathrin Faust

Dans le cadre d'un module de formation, les membres des conférences régionales visitent le dépôt intermédiaire pour déchets radioactifs de Würenlingen (ZWILAG).





Participation à la sélection de sites pour dépôts en couches géologiques profondes

Dans les six régions suisses prises en compte comme sites potentiels de stockage pour les déchets radioactifs, plus de 500 personnes au total prennent part à la participation régionale. Ils collaborent à la procédure de sélection, par exemple pour l'implantation de l'installation de surface ou pour les études socioéconomiques. Une participation régionale à cette échelle et dans cette conception est unique non seulement au niveau national, mais aussi international. Le processus est-il vraiment transférable à d'autres grands projets? Quels sont ses points forts et ses points faibles? Telles sont les questions abordées par le projet de recherche Politique participative de gestion des déchets.

Dans le cadre de la participation régionale, la procédure suisse de sélection pour les dépôts en couches géologiques profondes veut offrir la possibilité d'intégrer les propositions régionales dans la planification de la gestion des déchets radioactifs. A cet effet, dans les six régions d'implantation potentielles, on a créé des organes de participation appelés conférences régionales et composés de représentants des communes et organisations concernées ainsi que d'autres habitants. La mise en place des conférences régionales entre 2009 et 2011 avait déjà été présentée dans un projet de recherche. Celui-ci a réuni les principales connaissances acquises sous forme de lessons learned. A propos de la communication par exemple : dès le début, l'objectif de la participation doit être communiqué clairement et de manière aisément compréhensible. Par ailleurs, au cours de la procédure, les rôles et les

tâches des participants doivent être définis avec précision. En termes de composition, les femmes et les jeunes en particulier sont sous-représentés dans les conférences régionales.

En 2014, le projet de thèse de doctorat «Politique participative de gestion des déchets» à l'Université de Berne a inauguré le deuxième volet de l'évaluation scientifique des conférences régionales. Ce projet analyse la mise en œuvre effective et en cours de la participation régionale dans les six régions d'implantation. Les résultats de ce projet de recherche doivent entre autres permettre à l'OFEN d'identifier les points faibles et les points forts et d'améliorer les processus participatifs. Il s'agit en outre d'établir une comparaison avec d'autres grands projets afin que les expériences et les connaissances acquises puissent être utilisées à plus large échelle. Pour intégrer les enseignements tirés de la

mise en place de la participation, une partie de l'étude est en outre consacré au thème des femmes et des jeunes dans les projets techniques à long terme. L'analyse se fonde sur une recherche dans la littérature et sur l'observation participante, mais également sur de nombreux entretiens avec les participants et sur un sondage auprès de tous les membres des conférences régionales.

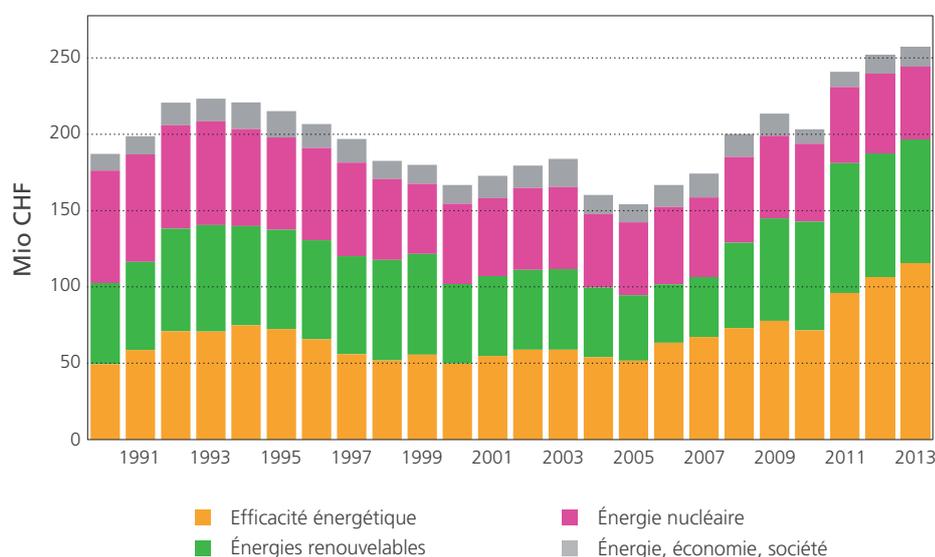
Les deux projets de recherche sur la participation font partie intégrante du programme de recherche de l'OFEN sur les déchets radioactifs. Ce dernier coordonne les activités de recherche réglementaires de la Confédération en matière de gestion des déchets radioactifs. Outre les projets de sciences naturelles et techniques pris en charge par l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), le programme traite également des sujets de sciences humaines et sociales.

Annatina Foppa

FAITS ET CHIFFRES

Depuis 1977, l'OFEN enregistre les dépenses des collectivités publiques pour les projets de recherche ainsi que les projets pilotes et de démonstration dans le secteur de l'énergie. Le relevé s'effectue sur la base d'une déclaration spontanée des données du projet et l'OFEN procède au classement thématique et

à l'examen final des projets. Les dépenses effectives des collectivités publiques ont ainsi tendance à être sous-estimées. Chaque année, environ 1 500 projets sont enregistrés, examinés et évalués statistiquement. Un aperçu des données saisies est publié sous www.recherche-energetique.ch.



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 pour l'année 2012. Les valeurs se situent entre 0,3 et 0,65 pour-mille du produit intérieur brut.

	EPF	FNS	CTI	OFEN	IFSN	SEFRI (FP6)	UE	cant./cnes.	divers
2012	146.3 (58.2 %)	4.3 (1.7 %)	22.8 (9.1 %)	22.7 (9.0 %)	2.7 (1.1 %)	0.5 (0.2 %)	25.0 (9.9 %)	10.7 (4.3 %)	16.5 (6.6 %)
2013	148.9 (58.0 %)	5.0 (2.0 %)	21.5 (8.4 %)	28.5 (11.1 %)	2.4 (0.9 %)	0.2 (0.1 %)	23.8 (9.3 %)	12.6 (4.9 %)	14.0 (5.5 %)

Provenance des fonds publics en millions de francs pour les projets de recherche et de développement ainsi que les projets pilotes et de démonstration. (EPF = domaine EPF : EPF Zurich, EPF Lausanne, Empa, PSI, Eawag, WSL ; FNS = Fonds national suisse ; CTI = Commission pour la technologie et l'innovation ; OFEN = Office fédéral de l'énergie ; IFSN = Inspection fédérale de la sécurité nucléaire ; SEFRI = Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation ; UE = Union européenne ; cant./cnes. = cantons et communes).

	2012	2013
Efficacité énergétique	106,5	115,7
Energie dans les bâtiments	22,3	26,9
Transports	14,4	13,9
Accumulateurs & supercondensateurs	4,8	3,4
Technologies et utilisations de l'électricité	15,6	13,1
Réseaux	7,4	9,2
Couplage chaleur-force (CCF)	1,2	0,6
Piles à combustible	12,5	15,3
Combustion	16,5	18,2
Centrale thermique 2020 et CCS	4,8	4,3
Technologie des procédés	6,7	10,7
Énergies renouvelables	81,2	81,0
Énergie solaire	39,0	37,6
Chaleur solaire et stockage de chaleur	11,9	10,9
Photovoltaïque	21,6	21,4
Processus solaires à haute température	5,6	7,2
Hydrogène	12,3	12,2
Pompes à chaleur & froid	1,3	1,7
Biomasse & énergie du bois	11,5	12,7
Géothermie	7,3	9,6
Énergie éolienne	6,7	6,7
Force hydraulique	3,0	3,3
Barrages	0,1	0,6
Énergie nucléaire	52,3	48,0
Technique & sécurité nucléaires (Fission)	28,4	26,9
Sécurité nucléaire	17,9	12,6
Déchets radioactifs	5,1	3,4
Recherche prospective	5,4	10,9
Fusion nucléaire	24,0	23,4
Physique des plasmas, méthodes de chauffage	17,3	16,3
Technologies de la fusion	6,6	4,8
Thèmes transversaux	11,4	12,3
Energie, économie, société (EES)	7,7	10,2
Transfert scientifique & technologique (TST)	2,7	1,8
Coordination de la recherche énergétique	1,0	0,3
Totaux	251,5	256,9

Dépenses des collectivités publiques pour la recherche énergétique appliquée, y compris les projets pilotes et de démonstration en millions de francs (valeurs nominales). Dans le domaine de la fusion nucléaire, on se consacre prioritairement à la recherche fondamentale ; mais à l'instar de la pratique internationale, les activités de recherche font malgré tout partie de la recherche énergétique. Quant aux projets interdisciplinaires, ils sont imputés au domaine de recherche dominant.



COLLABORATION INTERNATIONALE

La collaboration internationale dans la recherche énergétique a une priorité élevée en Suisse. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) coordonne au niveau institutionnel ses programmes de recherche avec des activités internationales afin d'exploiter des synergies et pour éviter des duplications. La coopération et l'échange d'expérience dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) revêt une importance particulière. La Suisse participe à travers l'OFEN à plus de 20 des environ 40 programmes de l'AIE (Implementing Agreements).

Quant à la coopération européenne, la Suisse participe activement aux programmes de recherche de l'Union européenne. Au niveau institutionnel l'OFEN coordonne la recherche énergétique suisse avec le plan stratégique européen pour les technologies énergé-

tiques (plan SET), les réseaux de l'espace européen de recherche (ERA-NET), les plate-formes technologiques européennes, les initiatives technologiques conjointes (JTI), etc. Dans certains domaines (« Smart Grids », la géothermie) il existe une coopération multilatérale intense avec différents pays individuels :

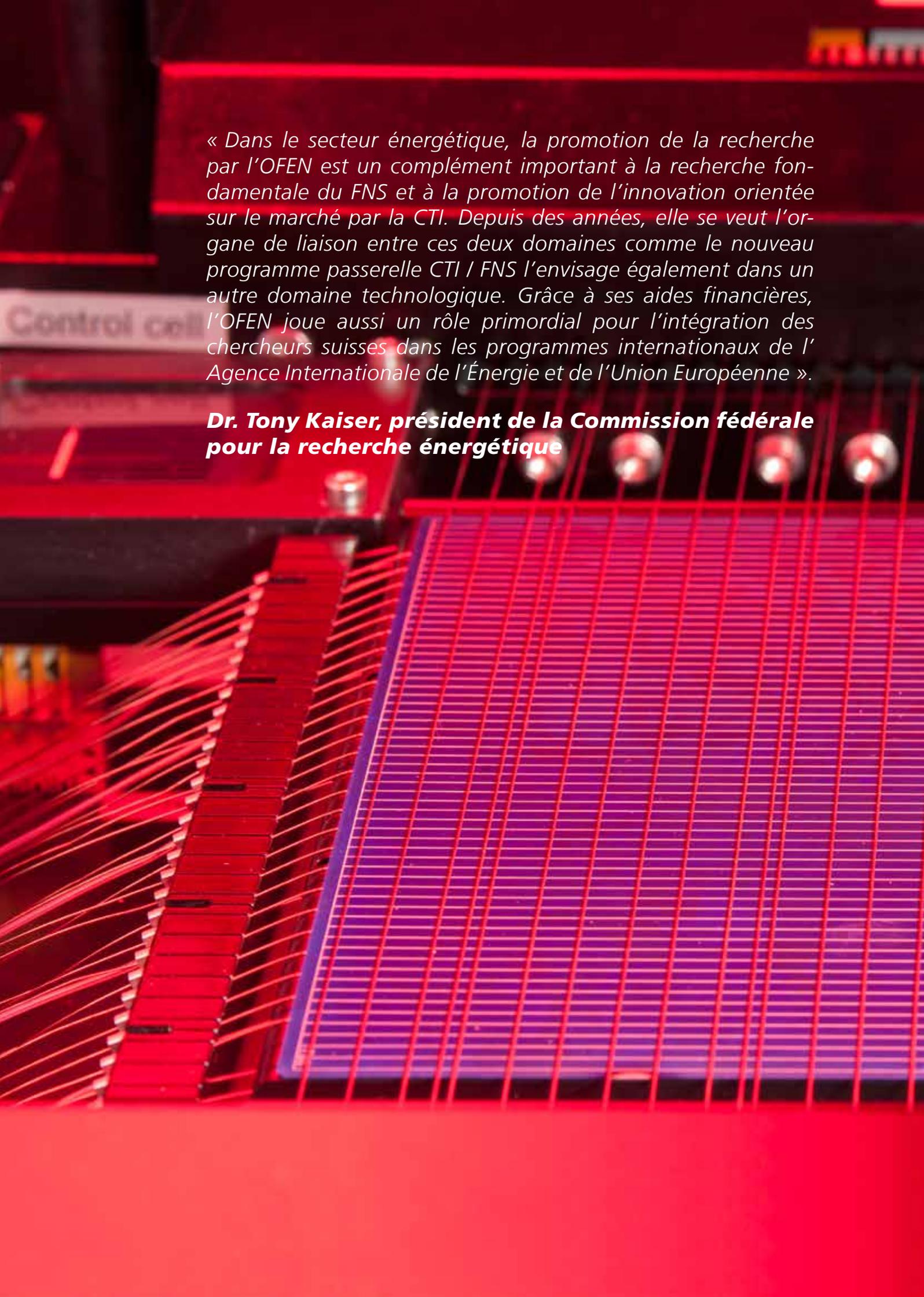
<http://www.recherche-energetique.ch> -> Affaires internationales
<http://www.sefri.admin.ch> -> Coopération internationale dans le domaine de la recherche scientifique et de l'innovation
<https://www.euresearch.ch>
<http://www.iea.org/techinitiatives>
<https://setis.ec.europa.eu>
<http://ec.europa.eu/research/energy>
<http://www.fch.europa.eu>

Crédit photographique :

page de titre	Réacteur prototype de 100 kW pour la dissociation solaire thermique du ZnO, Copyright Dr. Erik Koepf, LST, Institut Paul Scherrer (PSI)
page 0	Champs d'héliostats du four solaire de au CNRS-PROMES, Odeillo (F), Copyright Dr. Erik Koepf, LST, Institut Paul Scherrer (PSI)
page 2	Image microscope électronique à balayage d'un collecteur de courant en titan pour l'électrolyse de PEM, ECL, Institut Paul Scherrer (PSI)
page 5	Concentrateur parabolique solaire d'un système photovoltaïque/thermique à haute concentration (HCPVT), Airlight Energy SA / Dsolar
page 6	Convertisseurs thermoélectrique en design « Half-Skeleton », Empa
page 7	Office fédéral de l'énergie
page 9,10	MEMS AG
page 11	Lauber IWISA AG
page 12	Office fédéral de l'énergie
page 13	ABB (en haut), Energie Solaire SA (en bas)
page 14	Bulles d'hydrogène, qui s'échappent des électrodes sitôt que les cellules sont exposées à la lumière, Copyright Alain Herzog / EPF Lausanne
page 16	Institut Paul Scherrer (PSI) (en haut), EPFL-ISIC Laboratory for Photonics and Interfaces (en bas)
page 17	Duttwiler Energietechnik
page 18	Office fédéral de l'énergie
page 19,20	Meyer Burger Research AG
page 21	Office fédéral de l'énergie, d'après A. Lauber, T. Nussbaumer, «Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider», Verenum AG (en haut), EPFL-ENA-IIE, Laboratory of Wind Engineering and Renewable Energy (en bas)
page 22	Parc solaire Romande Energie-EPFL d'une puissance totale 2,1 mégawatts, Daniel Forster, Copyright NET Ltd. / DanielForster.com
page 24	Office fédéral de l'énergie
page 29	Système de contact innovant pour mesurer la caractéristique courant-tension et d'électroluminescence des cellules solaires sans busbar, Pasan SA / Meyer Burger AG

Impressum :

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



« Dans le secteur énergétique, la promotion de la recherche par l'OFEN est un complément important à la recherche fondamentale du FNS et à la promotion de l'innovation orientée sur le marché par la CTI. Depuis des années, elle se veut l'organe de liaison entre ces deux domaines comme le nouveau programme passerelle CTI / FNS l'envisage également dans un autre domaine technologique. Grâce à ses aides financières, l'OFEN joue aussi un rôle primordial pour l'intégration des chercheurs suisses dans les programmes internationaux de l'Agence Internationale de l'Énergie et de l'Union Européenne ».

Dr. Tony Kaiser, président de la Commission fédérale pour la recherche énergétique

Office fédéral de l'énergie (OFEN)
CH-3003 Berne

www.recherche-energetique.ch
www.bfe.admin.ch/cleantech