

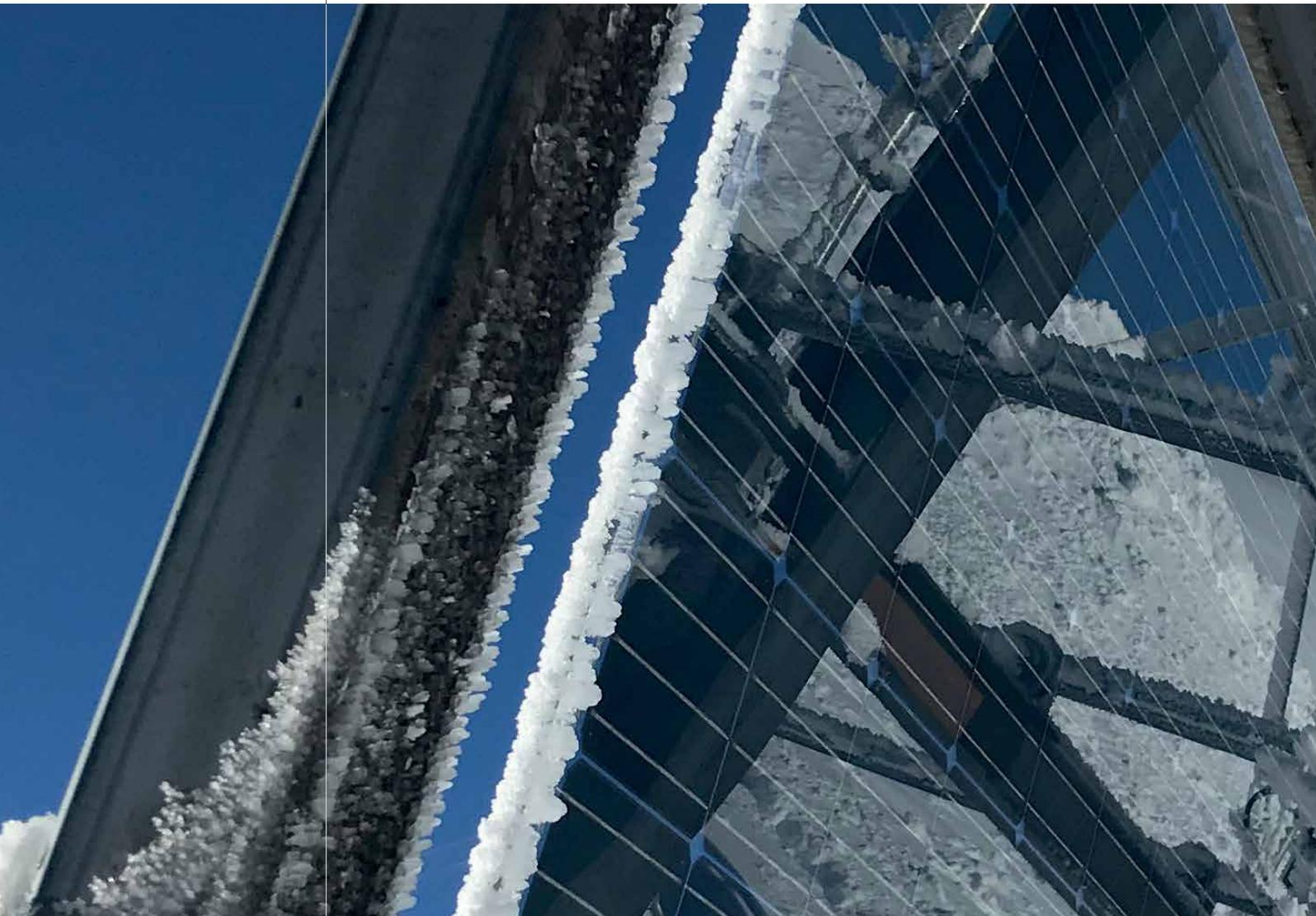


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Recherche énergétique et innovation

Rapport 2017





Renforcement des énergies renouvelables, incitations à une utilisation efficace de l'énergie et sortie du nucléaire : l'année passée, la Suisse a posé des jalons importants pour son approvisionnement durable et sûr en énergie. La transformation annoncée du système énergétique réserve d'importants défis marqués par des développements économiques et technologiques aussi bien que par des décisions politiques en Suisse et à l'étranger. Un approvisionnement davantage décentralisé accroît par exemple les exigences relatives à la flexibilité du réseau électrique.

Cette mutation du système énergétique est toutefois bien plus qu'une simple liste de problèmes et de défis : elle constitue une chance immense pour le développement économique et l'innovation, réduit les dépendances et contribue en fin de compte au bien-être du pays. La recherche indispensable à l'innovation a donc été développée de manière ciblée dans le cadre de la « Stratégie énergétique 2050 ».

En principe, la recherche doit être libre de toute directive. Néanmoins, 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 30 ans par son encouragement articulé autour de programmes.

Les exemples présentés dans cette brochure reflètent un grand nombre de projets portés et suivis de près par l'OFEN.



Benoît Revaz
Directeur OFEN

Couverture et image à gauche : Installation solaire d'essai de la ZHAW Wädenswil au Totalpsee dans la région du Parsenn au-dessus de Davos. Des modules monofaciaux conventionnels et des modules bifaciaux sont installés ; ces derniers utilisant également le rayonnement à l'arrière du module pour générer de l'électricité. L'influence de la réflexion de la lumière à la surface de la neige sur la production d'électricité des modules solaires (effet albédo) est l'une des questions abordée par ce test de terrain (source : ZHAW Wädenswil).

Sommaire

Editorial	3
-----------------	---

Sommaire	4
----------------	---

Chiffres & Faits

La promotion de la recherche et de l'innovation par l'Office fédéral de l'énergie	5
Programmes de recherche de l'Office fédéral de l'énergie	6
Origine et utilisation des fonds pour la recherche énergétique en Suisse.....	6

Efficacité énergétique

Les géodonnées au service de la planification du tracé des réseaux électriques	11
Réchauffement climatique et besoin de climatisation des bâtiments	13
Extraction du dioxyde de carbone de l'air ambiant	15
« E-Dumper »	17
« Memory Motor »	17
Système intelligent de gestion de l'énergie aux usines	17

Energie renouvelable

Chaleur solaire pour procédés industriels en Suisse.....	19
« Forage à la flamme »	21
Contrôle intelligent du rotor d'éoliennes	23
Nouveau système de transmission pour éolienne.....	25
Potentiel énergétique des engrais de ferme.....	25
Production de cellules solaires à haut rendement.....	25

Aspects socioéconomiques

Comment réduire les risques en capital pour les projets d'énergie renouvelable?	27
---	----

Collaboration internationale	30
------------------------------------	----

Eolienne de 3 MW à Haldenstein (GR)
(source : www.suisse-eole.ch)



La promotion de la recherche et de l'innovation par l'Office fédéral de l'énergie

La première Conférence suisse sur la recherche énergétique s'est tenue sous la houlette de l'Office fédéral de l'énergie en mars 1988. Elle découlait d'une motion du Conseil national qui, en réaction à la catastrophe du réacteur de Tchernobyl, sollicitait la promotion de projets de recherche prometteurs pour l'approvisionnement en énergie et les économies d'énergie. Deux ans auparavant, la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) était instituée. Elle élabore régulièrement le « Plan directeur de la recherche énergétique » et établit ainsi les grandes lignes pour les objectifs et les mesures de soutien. Avec son dispositif d'encouragement (programmes) et son rôle de coordination, l'OFEN assume une fonction de plaque tournante du paysage suisse de la recherche énergétique.

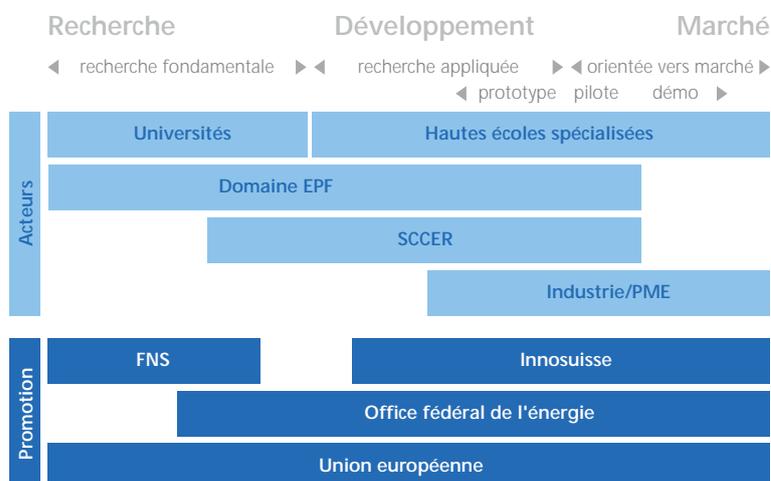
L'Office fédéral de l'énergie encourage et coordonne la recherche nationale dans le domaine de l'énergie et soutient le développement de nouveaux marchés dans l'optique d'un approvisionnement durable en énergie. Afin d'assumer cette tâche de coordination, il engage des moyens pour faire avancer de manière ciblée le développement de technologies et de concepts novateurs selon une approche programmatique. 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, les hautes écoles spécialisées et les universités. Les projets soutenus sont suivis par l'Office fédéral de l'énergie, qui, selon le cas, fait appel à des experts et à des représentants d'autres organismes de soutien.

A travers ses prises de position, l'Office fédéral de l'énergie peut apporter son expertise à l'évaluation de propo-

sitions de projet adressées à d'autres organismes de soutien. En outre, il favorise l'échange régulier d'informations entre les différents programmes nationaux d'encouragement et soutient les mesures visant la transmission générale des connaissances. L'Office fédéral de l'énergie est ainsi étroitement lié aux segments de la recherche tout au long de la chaîne de création de valeur et veille en permanence à l'accroissement du savoir et à sa concrétisation dans des applications tangibles.

Figure 1 : L'Office fédéral de l'énergie 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, auparavant Commission pour la technologie et l'innovation CTI ; UE = Union européenne ; FNS = Fonds national suisse).



Programmes de recherche de l'Office fédéral de l'énergie

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. Le développement des technologies énergétiques relève plutôt du long terme : les nouveaux systèmes et approches technologiques demandent beaucoup de temps jusqu'à leur introduction. Les programmes de recherche axés sur le long terme, de pair avec le soutien accordé par le biais des projets pilotes et de démonstration, permettent un transfert plus rapide vers des technologies commercialisables.



Origine et utilisation des fonds pour la recherche énergétique en Suisse

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, cantons), par le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI, Innosuisse depuis 2018) ou par la Commission de 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 spécifique sont disponibles dans le système d'informa-

tion public de la Confédération (ARAMIS : 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 1980 (en millions de francs, après correc-

tion 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 énergétique 2050 » et du plan d'action « Recherche énergétique suisse coordonnée ». Les éléments suivants y ont largement contribué : (1) la constitu-

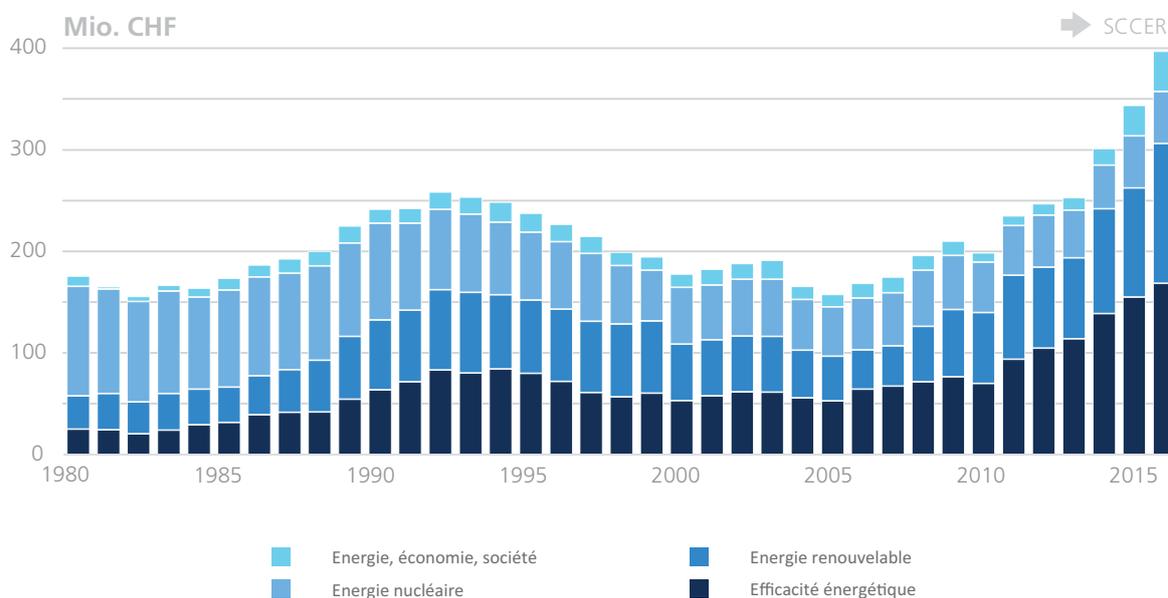


Figure 2 : Aperçu à long terme des fonds publics dépensés pour la recherche énergétique. Les données sont présentées en valeurs réelles, c'est-à-dire corrigées du renchérissement. Les valeurs se situent entre 0,3 et 0,65 pour-mille du produit intérieur brut.

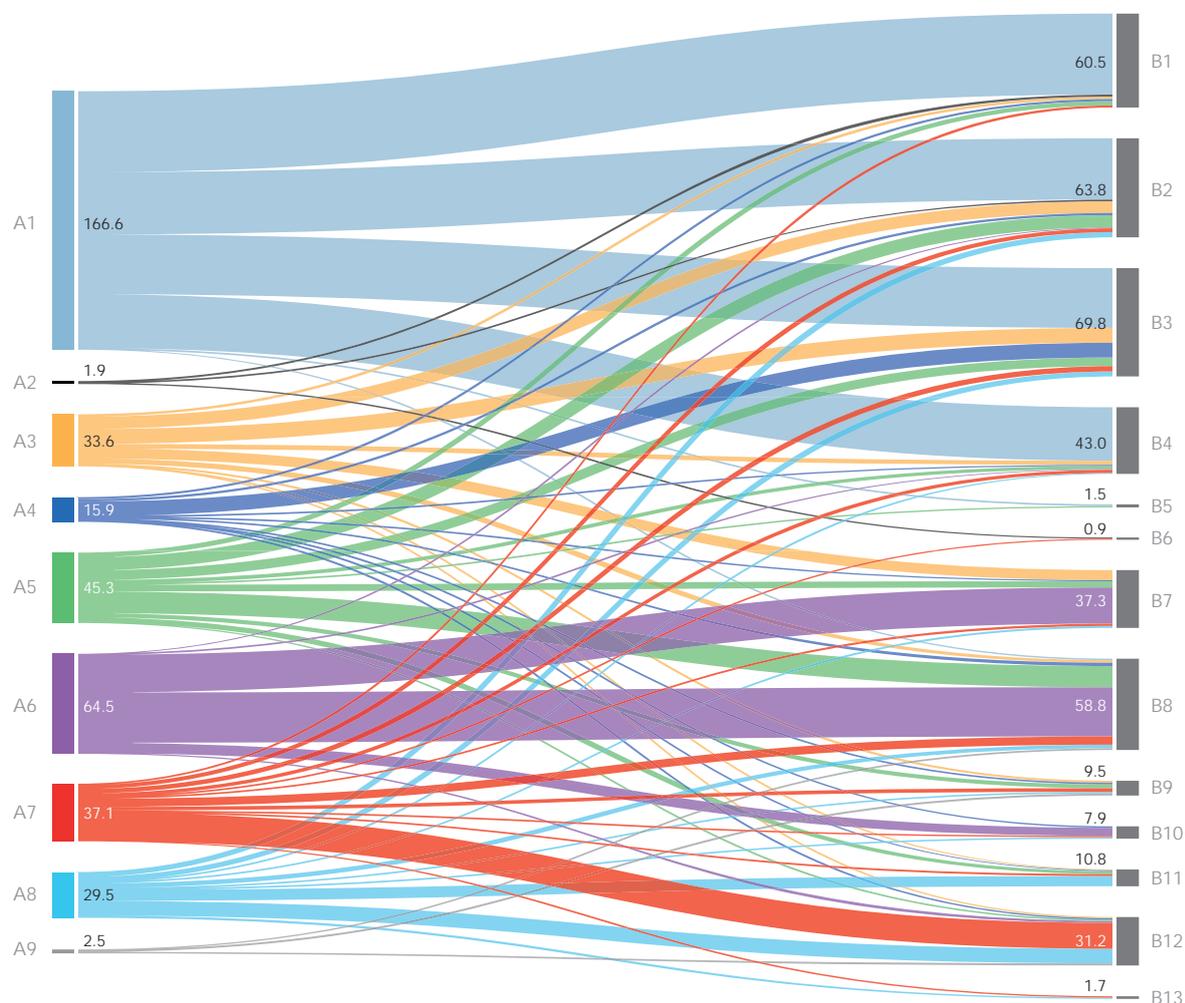
tion de pôles de compétence en recherche énergétique à l'échelle nationale par la CTI/Innosuisse (Swiss Competence Center for Energy Research, SCCER) depuis 2013 (figure 4), qui sont entrés dans la seconde phase en 2017 ; (2) de nouveaux programmes nationaux de recherche (PNR 70 et 71) du FNS dans le 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 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.

Comme le révèle la figure 3, 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 Commission fédérale pour la recherche énergétique (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 énergétique 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 la CTI (désormais 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 affluent en grande partie dans des projets européens. La part du SEFRI sera toutefois moins importante à l'avenir, car les partenaires suisses de projets européens sont de nouveau financés directement par l'UE depuis 2017.

L'OFEN en particulier 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.

Stefan Oberholzer



Origine des fonds :

- A1 Conseil des EPF
- A2 Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
- A3 Fonds nationale suisse FNS
- A4 Union européenne UE
- A5 Commission pour la technologie et l'innovation CTI
- A6 Cantons
- A7 Office fédéral de l'énergie OFEN
- A8 Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation SEFRI
- A9 Divers

Utilisation des fonds :

- B1 Institut Paul Scherrer PSI
- B2 EPF Zurich
- B3 EPF Lausanne
- B4 Empa
- B5 Eawag/WSL
- B6 Organisations internationales
- B7 Universités
- B8 Hautes écoles spécialisées
- B9 Autres agences fédérale
- B10 Autres agences cantonales
- B11 Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique CSEM
- B12 Secteur privé
- B13 Communes

Figure 3 : origine des fonds publics pour la recherche énergétique suisse en 2016 et leur utilisation dans les différentes institutions du secteur de la recherche énergétique. Les fonds privés ne sont pas pris en compte (p. ex. prestations propres importantes dans des projets de la CTI ou des projets pilotes et de démonstration de l'OFEN). Les chiffres sont indiqués en millions de francs (Empa : Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche ; Eawag : Institut fédéral des sciences et technologies de l'eau ; WSL : Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage).

	2015	2016		2015	2016
1 Energy Efficiency	94.4	101.8	4 Nuclear Fission and Fusion	51.2	51.3
11 Industry	9.4	12.4	41 Nuclear fission	25.6	24.8
12 Residential and commercial buildings	33.7	33.9	42 Nuclear fusion	24.3	25.4
13 Transport	40.1	39.9	49 Unallocated nuclear fission and fusion	1.2	1.2
14 Other energy efficiency	11.0	14.9	5 Hydrogen and Fuel Cells	27.9	29.3
19 Unallocated energy efficiency	0.3	0.7	51 Hydrogen	11.3	17.4
2 Fossil Fuels: Oil, Gas and Coal	13.2	9.8	52 Fuel cells	6.4	5.5
21 Oil and gas	7.0	4.9	59 Unallocated hydrogen and fuel cells	10.2	6.3
23 CO ₂ capture and storage	6.2	4.9	6 Other Power and Storage Technologies	39.6	56.4
3 Renewable Energy	92.3	113.2	61 Electric power generation	7.6	6.9
31 Solar energy	45.9	53.5	62 Electricity transmission and distribution	23.3	38.2
311 Solar heating and cooling	5.0	4.0	63 Energy storage (non-transport)	8.7	11.4
312 Solar photovoltaics	32.2	37.2	631 Electrical storage	4.5	6.5
313 Solar thermal power (CSP/STE)	6.4	9.8	632 Thermal energy storage	2.3	3.0
319 Unallocated solar energy	2.2	2.4	639 Unallocated energy storage	1.9	1.9
32 Wind energy	1.9	2.8	7 Other Cross-Cutting Research	26.5	35.1
34 Biofuels (incl. biogases)	17.7	20.8	71 Energy system analysis	24.9	32.9
35 Geothermal energy	14.1	20.4	72 Basic energy research (not specified)	1.0	0.4
36 Hydroelectricity	12.5	15.4	73 Other	0.6	1.8
39 Unallocated renewable energy sources	0.2	0.3	Total	345.1	396.9

Dépenses des collectivités publiques en 2015 et 2016 pour la recherche énergétique appliquée, y compris les projets pilotes, de démonstration et phares en millions de francs (valeurs nominales).

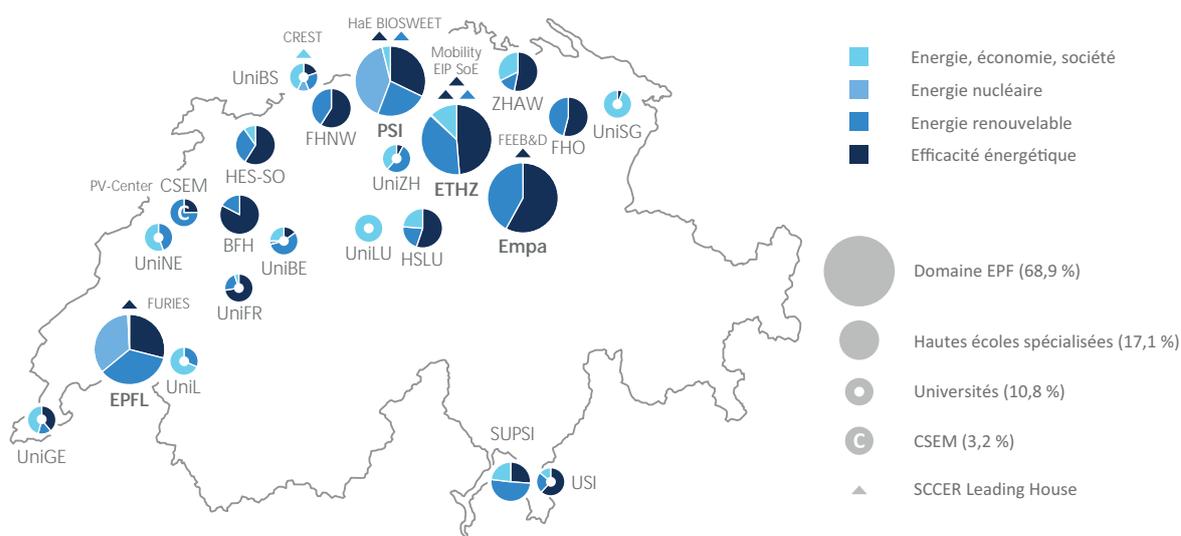


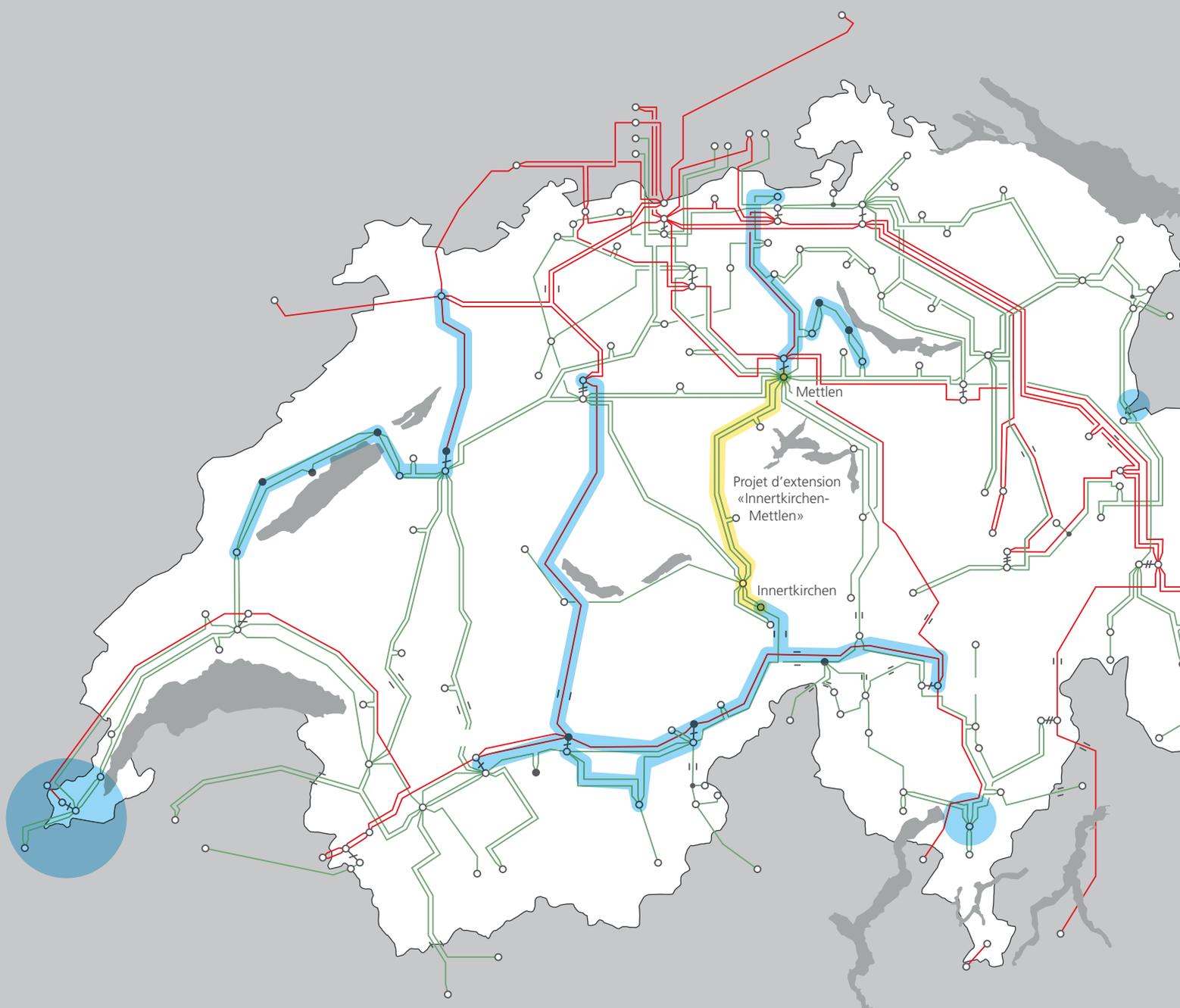
Figure 4: Recherche énergétique aux hautes écoles suisses (données 2016). Domaine des EPF : EPF de Zurich et de Lausanne, Empa, PSI, Eawag et WSL ; CSEM = Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique ; SCCER = Swiss Competence Centre in Energy Research.



Effacité 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 ont été considérablement renforcées. Aujourd'hui, les po-

tentiels 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.



Les géodonnées au service de la planification du tracé des réseaux électriques

La construction de nouvelles lignes aériennes nécessite la pesée de nombreux intérêts. Une équipe de chercheurs de l'EPF de Zurich a développé un outil logiciel doté d'une visualisation 3D qui aide les planificateurs dans leur travail et facilite la communication par le biais de tracés adéquats.

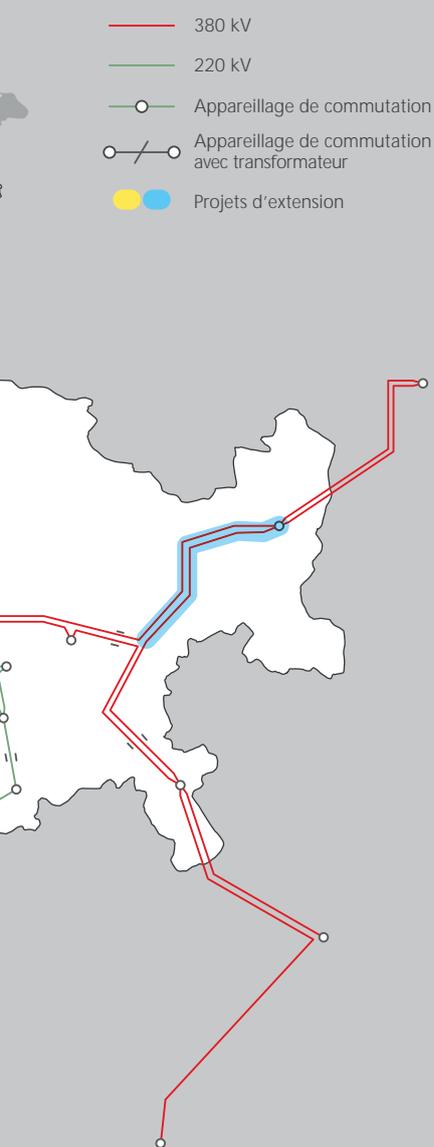
La Suisse dispose aujourd'hui d'un réseau à très haute tension performant. Celui-ci se trouve à la croisée de plusieurs facteurs externes sur lesquels Swissgrid, la société nationale pour l'exploitation du réseau, ne peut pas influencer. Il y a notamment la « Stratégie énergétique 2050 » de la Confédération, la politique énergétique des pays européens limitrophes, l'exploitation des centrales, l'échange énergétique avec l'Europe ou le développement technologique. Différents scénarios ont permis d'identifier neuf mesures d'extension et quatre projets juridiquement motivés qui constituent ensemble le « Réseau stratégique 2025 ».

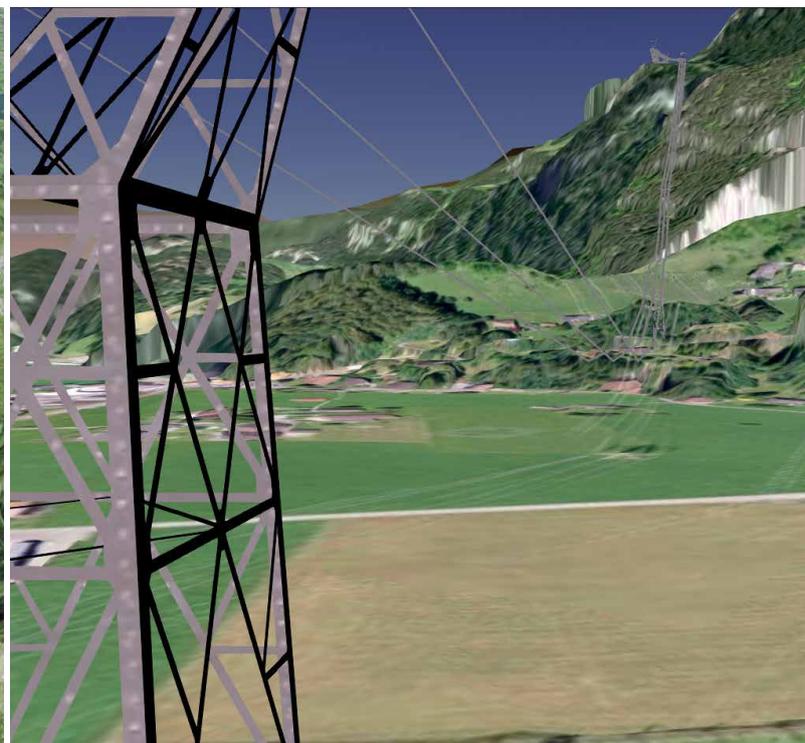
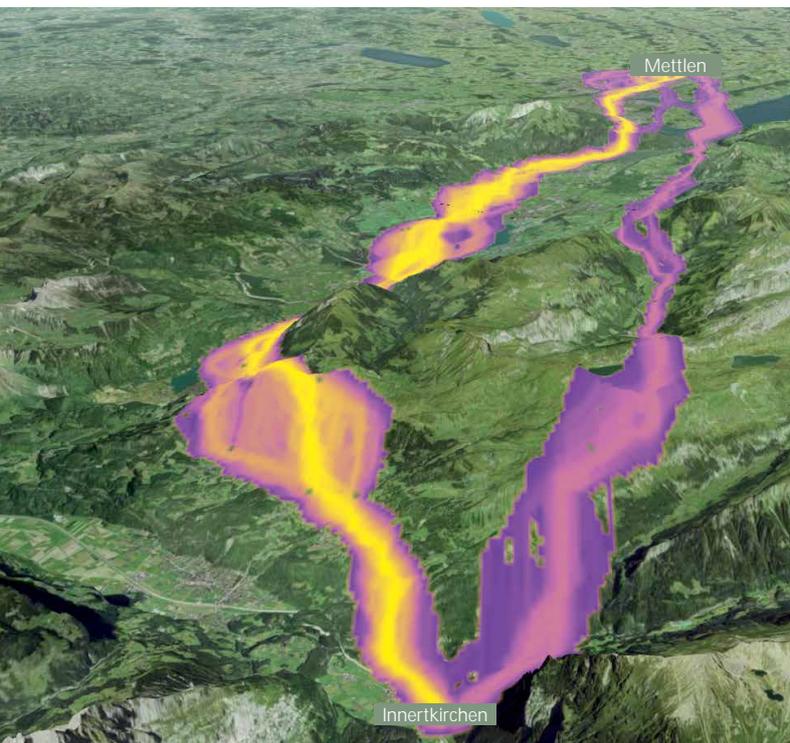
Pour planifier l'exécution des projets, Swissgrid recourra à l'avenir au « 3D Decision Support System » que les chercheurs de l'Institut de cartogra-

phie et de géoinformation et de l'Institut de développement du territoire et du paysage de l'EPF de Zurich ont développé dans le cadre d'un projet de recherche mené sur trois ans. Cet outil de planification exploite les données des systèmes d'information géographique et en déduit des variantes appropriées de zones de planification, de corridors et de tracés. L'objectif est d'établir des tracés ayant le moins d'impact possible sur la population et l'environnement et d'améliorer la communication entre les acteurs impliqués dans le projet.

A l'heure actuelle, cet outil tient compte de 33 catégories de données dans trois domaines principaux : protection de l'environnement et du paysage (marais, zones de protection de la nature et des oiseaux etc.), habitat humain (zones d'habitation et de dé-

« Réseau stratégique 2025 », planification du réseau de Swissgrid avec les projets d'extension pris en compte. L'extension totale du réseau de 370 km est entièrement compensée par le démantèlement de 270 km (485 km de lignes) du réseau de transport, et de 145 km (211 km de lignes) du réseau de distribution (démantèlement de lignes avec des niveaux de tension inférieurs). Le projet d'extension « Innertkirchen-Mettlen » a servi d'étude de cas pour le développement du 3D Decision Support System (source : Swissgrid).





(A gauche) Visualisation d'une zone de planification possible pour la ligne entre Innertkirchen et Mettlen. La carte montre les coûts d'infrastructure relatifs pour la construction de lignes qui résultent de la prise en compte de la résistance spatiale pour toutes les catégories. Plus les surfaces violettes sont foncées, plus les coûts d'infrastructure sont élevés pour traverser les surfaces. (A droite) La visualisation comme outil d'aide à la prise de décision pour le renouvellement ou la construction de nouvelles lignes électriques (source : EPF Zurich).

tente, zones historiques etc.) et faisabilité technique (lacs, zones de dangers naturels, terrains difficilement accessibles etc.). Les catégories de données peuvent être adaptées en fonction de chaque projet. L'outil est conçu pour que l'utilisateur définisse chaque fois à quel point les catégories font obstacle à la construction d'une ligne.

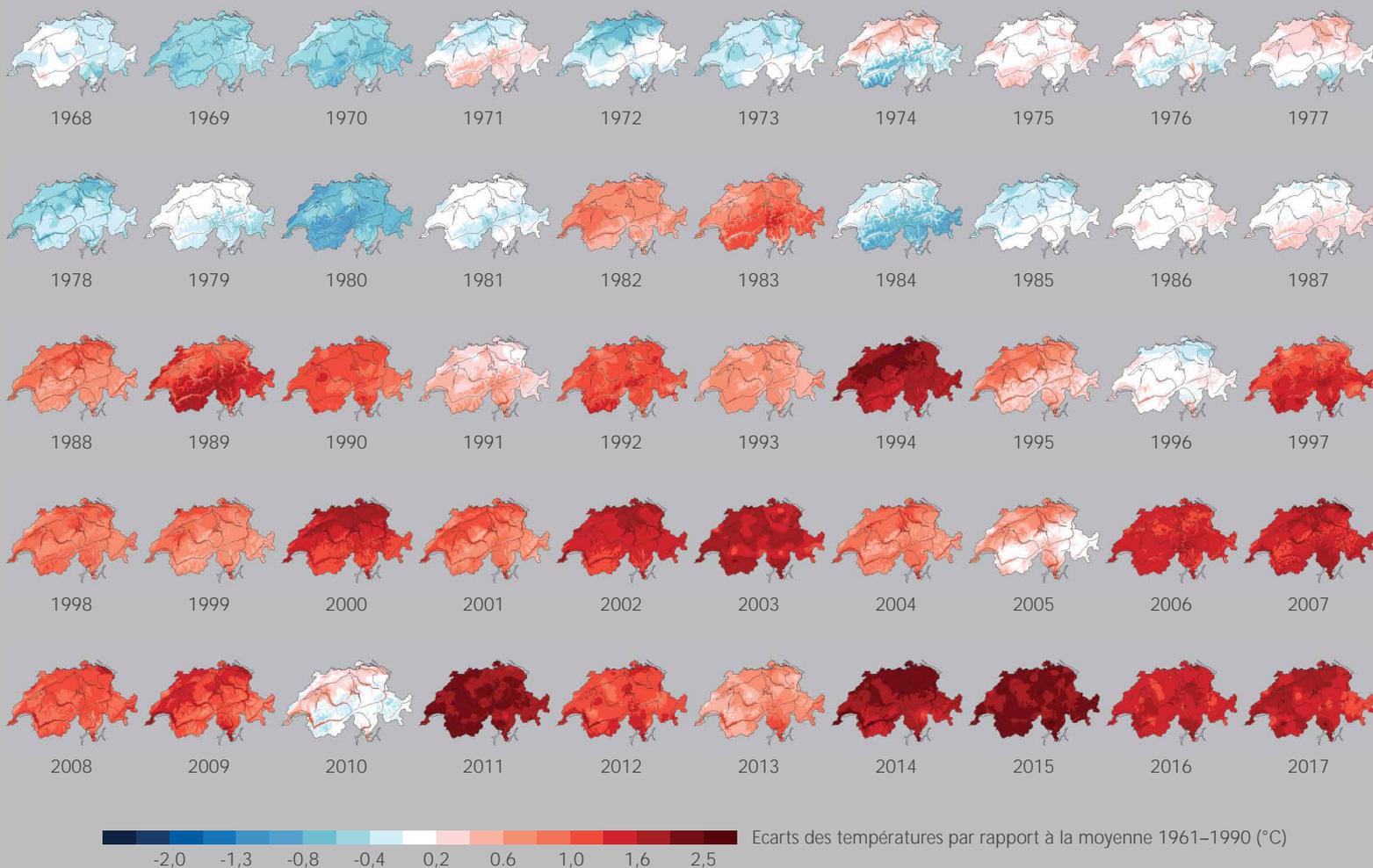
En guise de résultat, le logiciel propose des visualisations en trois dimensions des tracés de lignes possibles. Les planificateurs de la société autrichienne du réseau de transport APG, également impliquée dans le projet, veulent notamment exploiter les résultats dans la province autrichienne de Carinthie pour définir le tracé d'une ligne circulaire de 380 kV.

Swissgrid aimerait pour sa part utiliser cet outil comme un instrument de communication quand les spécialistes et le public intéressé débattent des tracés possibles dans le cadre du plan sectoriel. Le logiciel peut représenter plusieurs tracés en temps réel.

Dans un projet ultérieur, les chercheurs de l'EPF de Zurich veulent aussi tenir compte des approches de la réalité augmentée ou virtuelle : les personnes intéressées pourraient utiliser ces solutions à l'avenir pour afficher directement les tracés possibles sur leur téléphone portable ou leur tablette si elles se positionnent à un point donné dans le paysage. Dans le but de parvenir à un consensus, les différents acteurs peuvent évaluer et discuter les variantes pro-

posées. La nouvelle solution doit aussi tenir compte des câbles enterrés, qui ne sont toutefois pas encore compris dans l'outil actuel, car leur modélisation est nettement plus complexe que celle des lignes aériennes. L'entreprise spin-off de l'EPF de Zurich Gilytics GmbH, créée en 2017, est sur le point de commercialiser le logiciel et de l'étoffer pour permettre également de planifier des systèmes énergétiques décentralisés telles les éoliennes et les installations photovoltaïques et de modéliser leur impact sur le paysage, l'économie et l'environnement.

Benedikt Vogel et Michael Moser



Ecart des températures par rapport à la moyenne 1961–1990 (Source : MeteoSchweiz).

Réchauffement climatique et besoin de climatisation des bâtiments

A la suite du réchauffement significatif prévu avant la fin du siècle, les bâtiments seront moins chauffés en hiver alors que le besoin de climatisation augmentera l'été. L'étude « ClimaBau » de la Haute école de Lucerne a analysé, à l'aune d'exemples de construction concrets, les conséquences attendues ces prochaines années et l'influence du mode de construction et du comportement des utilisateurs sur les températures dans les bâtiments, en particulier l'été.

Dans un premier temps, il a fallu préparer les données sur les températures heure par heure comme base pour les simulations de l'étude « ClimaBau ». Pour ce faire, les données climatiques obtenues lors des mesures ont été utilisées pour plusieurs sites en Suisse et combinées avec des projections de dix modèles climatiques. Dans les analyses, les chercheurs se sont limités aux bâtiments résidentiels. Pour la simulation, quatre types d'immeubles différents ont représenté le parc im-

meuble : deux anciennes et deux nouvelles constructions.

Le changement des températures extérieures a une forte influence sur la fréquence des heures dites de surchauffe, pendant lesquelles la température ambiante dépasse 26,5 °C. Si 27 heures seulement ont été calculées pour le site de Bâle dans la moyenne « 1995 » de la période de la norme 1980–2009, leur nombre augmente à près de 900 pour la

moyenne « 2060 » dans la période 2045–2074. En tenant compte des îlots de chaleur dans les zones urbaines denses, le nombre d'heures de surchauffe passe à 1200 en « 2060 », et même à 1400 sur le site de Lugano.

Si la température ambiante doit être maintenue à un niveau normal l'été par le biais de moyens techniques, le besoin en énergie nécessaire pour la climatisation augmente fortement



« Ancien bâtiment standard » (Source : HSLU)



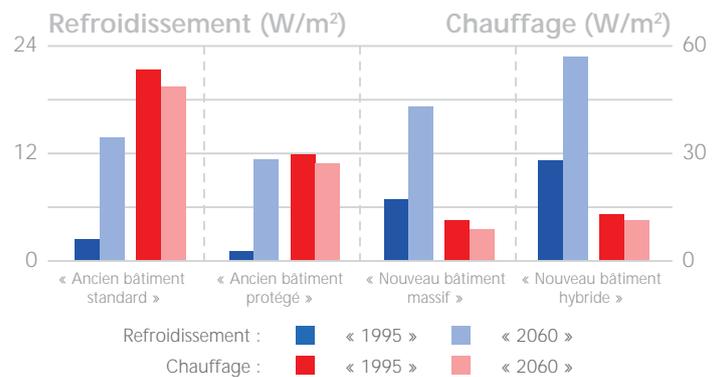
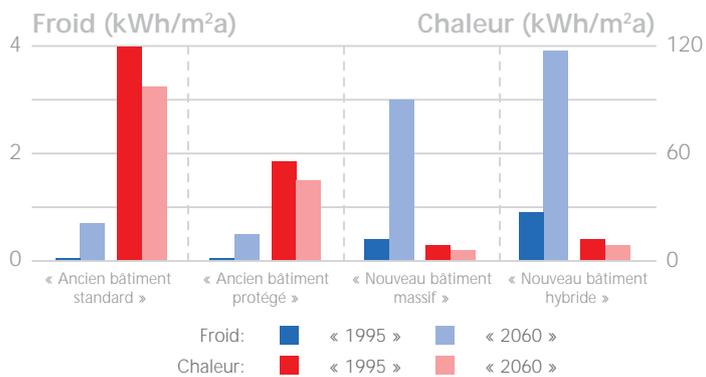
« Nouveau bâtiment massif » (Source : Implenia Schweiz AG & BüroB, Berne)



« Ancien bâtiment protégé » (Source : HSLU)



« Nouveau bâtiment hybride » (Source : Renggli AG)



Dans quatre études de cas et pour quatre types de bâtiments différents, une simulation a estimé les besoins en chaleur de chauffage et en climatisation ainsi que la puissance correspondante pour l'évolution climatique en Suisse (Source de données : HSLU).

selon le cas, jusqu'à 50 % du besoin de chauffage. En même temps, il faut moins chauffer l'hiver : le besoin moyen en chaleur de chauffage diminue de 20 % entre les périodes sous revue pour les anciens bâtiments, de 30 % pour les nouvelles constructions.

Un second volet des simulations a porté sur l'influence de certaines caractéristiques des bâtiments à l'aune d'un modèle de référence : il s'est avéré que le confort (température maximale ressentie et nombre d'heures de surchauffe) dans les bâtiments résidentiels dépend pour une large part du comportement des ha-

bitants. En cas d'utilisation non optimale des protections contre le soleil et d'un refroidissement nocturne insuffisant, des températures ambiantes maximales de plus de 40 °C et près de 2000 heures de surchauffe ont été calculées pour « 2060 ». Il convient de relever à cet égard que le confort et le besoin en climatisation dépendent largement de la part vitrée et de la capacité d'accumulation des locaux. En cas de bonnes conditions et d'un comportement idéal de la part des utilisateurs, il sera possible de garantir des températures peu ou prou confortables dans les années chaudes.

Pour que les bâtiments résidentiels puissent faire face aux défis importants posés par le changement climatique, il est nécessaire de les concevoir aujourd'hui de sorte à pouvoir garantir un bon fonctionnement des protections contre le soleil et un refroidissement nocturne efficace. La part vitrée devrait rester dans les limites du « raisonnable ». En guise d'alternative, il sera possible à l'avenir, en fonction du développement des énergies renouvelables, de refroidir les bâtiments avec l'électricité produite par les installations photovoltaïques.

Rolf Moser



Installation de la firme suisse « Climeworks AG » à Hinwil pour la récupération du dioxyde de carbone de l'air ambiant (source : Climeworks AG).

Extraction du dioxyde de carbone de l'air ambiant

Le domaine des transports manque encore d'alternatives dans son approvisionnement en énergie, en particulier celui de l'aviation. Une solution d'avenir pourrait résider dans les carburants de synthèse, qui permettent en outre un stockage à long terme des énergies renouvelables. Plusieurs étapes sont nécessaires pour obtenir un produit utilisable par l'aviation ou les véhicules routiers. La première consiste à obtenir du dioxyde de carbone (CO₂) suffisamment pur pour réagir avec l'hydrogène et créer ainsi une chaîne carbonée.

La génération massive de carburants de synthèse reste à venir. Cependant, le CO₂ pur trouve de nombreuses applications industrielles, notamment dans les boissons gazeuses, les soudures ou la conservation de denrées

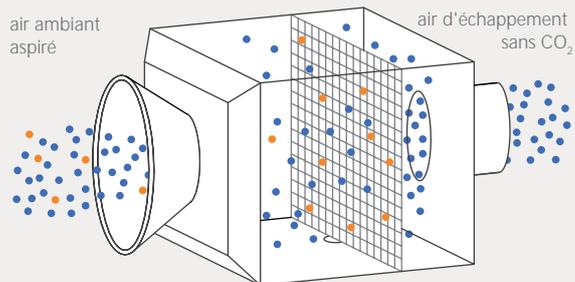
alimentaires. Actuellement, il provient en majorité de la production d'ammoniaque et doit être transporté par camion, bateau ou train jusqu'à son utilisation finale.

Climeworks a développé un dispositif de capture de CO₂ à l'échelle industrielle qui peut être installé au plus proche de l'utilisateur, car il extrait le CO₂ directement de l'air ambiant. Dans un projet de démonstration, le



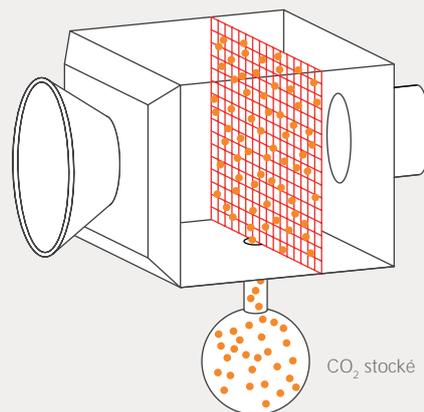
1^{ère} étape :

CO₂ est adsorbé sur le filtre



2^{ème} étape :

Le filtre est chauffé à 100° C et le CO₂ lié est libéré



Avec son procédé, l'entreprise suisse Climeworks capture le CO₂ dans l'atmosphère avec un grand degré de pureté (> 99,9 %). Un ventilateur aspire l'air ambiant et le conduit à un filtre de cellulose qui adsorbe le CO₂. Le filtre saturé en CO₂ est ensuite chauffé à près de 100 °C et libère le CO₂ pur. Dans une installation pilote à Hinwil, 18 capteurs de ce type capturent jusqu'à 2,5 tonnes de CO₂ par jour (source d'image : Climeworks AG).

CO₂ est utilisé par une exploitation agricole. L'entreprise Primanatura injecte le CO₂ capté de l'air directement dans ses serres pour en augmenter le rendement. Le site de l'installation à Hinwil n'a pas été choisi au hasard, puisqu'il recense également la source de chaleur nécessaire au processus d'extraction du CO₂ : l'usine d'incinération de déchets de la KEZO (Zweckverband Kehrichtverwertung Zürcher Oberland). Lors du processus, le filtre à adsorption doit être chauffé à 100 °C pour que les liaisons entre le CO₂ et la membrane soient dissoutes. Après récupération du CO₂ concentré, le filtre ainsi régénéré est réutilisé pour un cycle suivant.

L'installation est actuellement en cours d'optimisation, ce qui permettra d'en améliorer les performances. Le but serait d'atteindre entre 750 et 1000 tonnes de CO₂ capturé par année. Pour que ce procédé ait du sens, les besoins en énergie doivent évidemment rester les plus bas possible. L'objectif fixé est une consommation par tonne de CO₂ de moins 300 kWh de courant électrique et 2200 kWh de chaleur résiduelle de basse qualité, c'est-à-dire à des températures inutilisables pour l'industrie. A l'heure actuelle, cette technologie représente avant tout un point de départ pour la réintégration du CO₂ dans le cycle du carbone. En refermant cette boucle,

par exemple en passant par la production de carburants synthétiques, il est possible d'obtenir un bilan globalement neutre. En cas de séquestration du CO₂ capturé, il est envisageable d'obtenir un bilan globalement négatif, c'est-à-dire une réduction nette du dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère. Cette solution a d'ailleurs été considérée comme prometteuse pour l'atteinte des objectifs climatiques lors de la COP22.

Jean-Philippe Crettaz



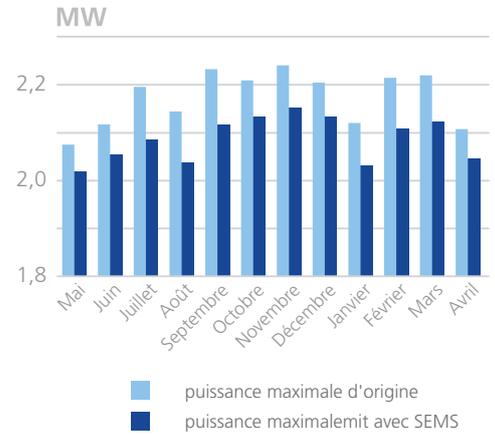
Efficacité énergétique : en bref ...

Système intelligent de gestion de l'énergie aux usines

On facture les pics de puissance aux industriels pour compenser les infrastructures supplémentaires induites. Les Usines métallurgiques de Vallorbe ont décidé de tester un système capable de contrôler les appareils présentant des flexibilités dans leur utilisation, essentiellement des fours et compresseurs. Au final, le Smart Energy Management System développé par l'entreprise Stigner-

gy a réduit les pics quart-horaires entre 3 % et 6 % selon le mois. Ce résultat modeste s'explique par les contraintes sévères appliquées initialement au système pour éviter de nuire à la production. En assouplissant ces contraintes de manière progressive, une réduction de plus grande ampleur pourra être atteinte.

Jean-Philippe Crettaz



« Memory Motor »

Les moteurs classiques à aimants permanents ont en général une plage de fonctionnement limitée. Une magnétisation et une démagnétisation dynamiques des aimants permanents par de brèves impulsions électriques permettent d'élargir le secteur de travail et d'augmenter le rendement. Selon ce principe, la Haute école spécialisée d'Yverdon a développé et testé pour la première fois un « Memory Motor » qui se fonde sur un stator classique. La commande utilise un convertisseur de fréquence classique adapté à la caractéristique non

linéaire de la magnétisation. A haut régime en particulier, la plus grande efficacité énergétique d'un tel « Memory Motor » a pu être démontrée par rapport aux moteurs synchrones traditionnels.

Roland Brüniger

« E-Dumper »

La production de ciment demande le transport d'énormes quantités de matériaux. On implante les cimenteries souvent en aval des carrières afin de diminuer les besoins énergétiques des

machines de chantier. Il est maintenant possible de tirer profit d'une plus grande part de cette énergie potentielle grâce à un camion-benne électrique produit en suisse par la société ARGE eDumper. Ce camion récupère l'énergie de freinage pour se recharger en électricité lors de la descente à plein. Le défi de ce projet réside dans la gestion d'une batterie mobile de 600 kWh. En effet, les courants électriques élevés demandent un système de refroidissement performant qui garantit sa durée de vie.

Jean-Philippe Crettaz

(A gauche) Densité du flux magnétique du rotor d'un « Memory Motor » (source : HEIG-VD). (A droite) « E-Dumper »: camion-benne électrique de 111 tonnes équipé d'une batterie de 600 kWh pour le transport de 60 tonnes de calcaire et de marne (source : Kuhn Schweiz AG).

Densité de flux magnétique (Tesla)
0 2





Energie renouvelable

La part des énergies renouvelables augmente constamment à travers le monde, notamment dans le secteur de l'électricité. Dans le passé récent les taux de développement annuels de certaines technologies affichaient souvent un pourcentage à deux chiffres, notamment 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.



Chaleur solaire pour procédés industriels en Suisse

Environ la moitié de la consommation finale d'énergie en Suisse s'effectue sous forme de chaleur. La possibilité de la produire par le biais de courant électrique à partir d'énergies renouvelables est de plus en plus discutée, au moyen de pompes à chaleur ou d'un simple chauffage par résistance. Nous parlons alors de couplage des secteurs et d'électrification du secteur du chauffage. Mais il vaut aussi la peine d'examiner pour quelles applications la production directe de chaleur avec des capteurs solaires thermiques est le moyen le plus efficace de réduire l'utilisation de combustibles fossiles.

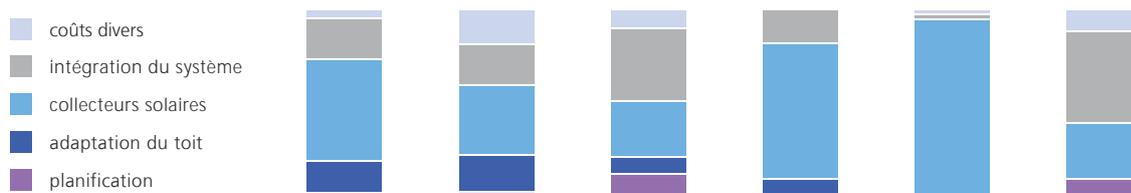
En Suisse, 19 % de la consommation d'énergie servent à l'approvisionnement de l'industrie, dont la moitié environ est utilisée pour la production de la chaleur industrielle. Produite actuellement pour une large part par la combustion de mazout et de gaz, cette chaleur industrielle peut être en partie obtenue par des capteurs thermiques à partir du rayonnement solaire. En Suisse, cette application présente également un grand potentiel de réduction des émissions de CO₂.

D'après l'étude européenne « Solar Payback », il existe dans le monde entier plus de 500 installations qui fournissent de la chaleur industrielle solaire pour une capacité totale de 280 MW_{th} (surface de capteurs de 400 000 m²). L'efficacité de telles installations solaires thermiques pour la production de chaleur industrielle dépend globalement de la consommation des processus choisis, des températures dont ils ont besoin et, surtout, du rayonnement solaire sur le

site. Les méthodes les mieux adaptées à l'utilisation de cette technologie, qu'on trouve dans plusieurs secteurs industriels, sont le préchauffage des matières premières, la pasteurisation, la stérilisation et le lavage, le séchage, le préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières, l'approvisionnement d'eau chaude ou de vapeur et le chauffage des locaux industriels ou des installations de l'artisanat. L'industrie agro-alimentaire (y c. l'industrie du tabac), l'industrie des textiles et du cuir ainsi que le secteur du papier et l'industrie pharmaceutique présentent un potentiel particulièrement élevé pour la chaleur industrielle solaire. Les capteurs solaires thermiques classiques, connus dans le secteur du bâtiment pour le chauffage de l'eau et l'appoint au chauffage, couvrent sans problème la fourchette de température jusqu'à 100 °C. Pour les températures entre 100 et 250 °C, il est possible d'utiliser des capteurs à concentration.

Installation solaire d'Emmi SA produisant de la chaleur industrielle à Saignelégier (JU), avec des capteurs paraboliques de l'entreprise NEP Solar SA (Source : SPF/NEP Solar).

	Emmi	Crema	Lesca	Colas	Zehnder	HUG
lieu	Saignelégier (JU)	Fribourg (FR)	Bever (GR)	Yverdon (VD)	Gränichen (AG)	Genf (GE)
altitude (m)	992	703	1710	438	420	381
coordonnées (CH1903)	567 246, 234 605	576 015, 183 151	787 952, 158 421	539 278, 179 204	650 557, 244 957	500 325, 116 436
secteur de l'industrie	traitement du lait	traitement du lait	traitement du lait	construction de route	fabricant de radiateurs	centre hospitalier
utilisation	production	production	production	bitment, bâtiment	vernissage	stérilisation
températures (°C)	117	120/160	190	90/160	90/110	110/180
type de collecteur	collecteurs paraboliques	collecteurs paraboliques	collecteurs paraboliques	collecteur plat sous vide	collecteur de tubes à vide	collecteur de tubes à vide
transfert de chaleur	eau-glycol	eau	huile thermique	huile thermique	eau	huile thermique
taille (m ²)	627	581	115	360	184	462
2013	irradiation (kWh/m ²)	-	-	1162 (DNI)	-	-
	production (kWh/m ² /a)	-	-	353	-	-
	rendement (%)	-	-	30	-	-
2014	irradiation (kWh/m ²)	945 (DNI)	928 (DNI)	833 (DNI)	-	-
	production (kWh/m ² /a)	344	340	195	-	-
	rendement (%)	36	37	23	-	-
2015	irradiation (kWh/m ²)	1138 (DNI)	976 (DNI)	-	747 (GHI)	876 (GHI)
	production (kWh/m ² /a)	418	380	-	92	340
	rendement (%)	37	39	-	12	39
2016	irradiation (kWh/m ²)	928 (DNI)	843 (DNI)	-	1198 (GHI)	-
	production (kWh/m ² /a)	297	336	-	83	-
	rendement (%)	32	40	-	7	41



Vue d'ensemble des installations solaires produisant de la chaleur industrielle en Suisse qui ont été réalisées ces dernières années et analysées de manière approfondie. Les barres en bas illustrent la répartition des coûts pour la réalisation des installations, ventilées selon la planification, l'adaptation de la structure du toit, les capteurs solaires, l'intégration du système et les coûts divers. Pour les capteurs à concentration, la part du rayonnement solaire global (GHI = « Globale Horizontal Irradiance ») qui tombe directement (DNI = « Direct Normal Irradiance ») est déterminante (Source de données : SPF).

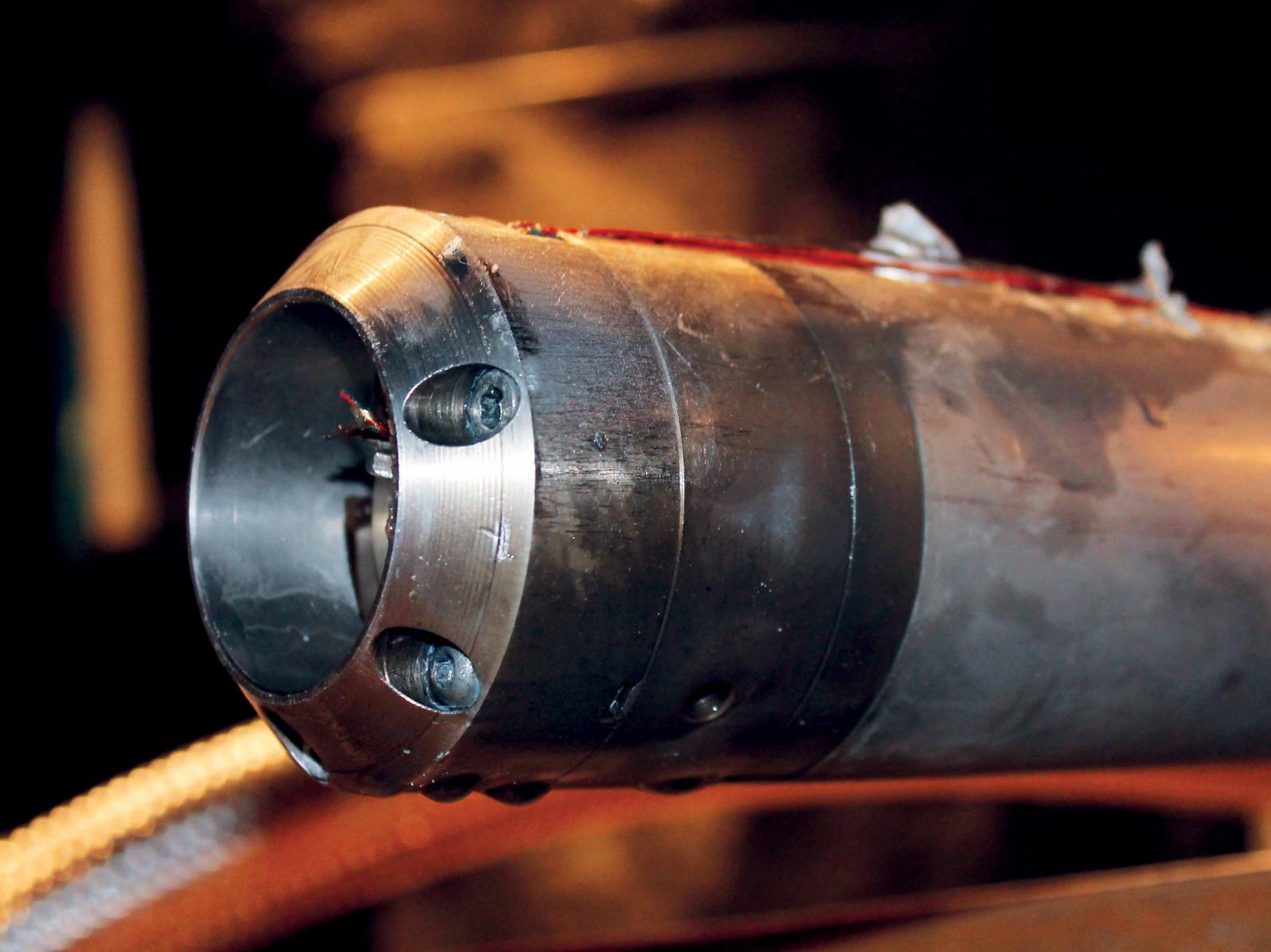
Ces dernières années, plusieurs entreprises suisses ont installé des systèmes solaires afin de produire de la chaleur pour plusieurs processus industriels (voir tableau). Dans le cadre de l'étude d'évaluation « EvaSP », ces installations ont été suivies sur plusieurs années par l'Institut de technique solaire (SPF) de la Haute école de technique (HSR) de Rapperswil. Cette étude a pour objectif de parvenir à une meilleure compréhension aussi bien des installations de capteurs que de l'intégration globale du système et du système de commande. Les résultats montrent de manière générale une bonne puissance thermique de ces installations

solaires. Les capteurs paraboliques à concentration de l'usine Emmi à Saignelégier fournissent par exemple de la chaleur à 117 °C et contribuent en moyenne pour 12 % (220 MWh par an) aux besoins de chaleur de l'entreprise par la seule chaleur solaire.

Les installations solaires qui produisent de la chaleur industrielle ont démontré leur efficacité dans de nombreux cas : elles peuvent fournir des températures élevées et produisent de la chaleur de manière propre et climatiquement neutre. Il reste néanmoins quelques défis à surmonter pour une plus large diffusion et une utilisation accrue de cette technologie. L'inté-

gration du système est généralement complexe sur le plan technique et les installations ne sont pas compétitives du point de vue économique sans soutien financier. C'est pourquoi les chercheurs et les concepteurs qui sont convaincus du potentiel de la chaleur solaire pour l'industrie se concentrent sur le développement de solutions qui accroissent l'efficacité du système et réduisent les coûts. Les travaux portent sur l'amélioration des capteurs, la conception des installations et le développement d'une intégration simple et standardisée du système.

Mercedes Hannelore Rittmann-Frank,
Marco Cafilisch und Andreas Häberle



Tête de puits pour le forage au moyen d'une flamme hydrothermale (source : EPF Zurich).

« Forage à la flamme »

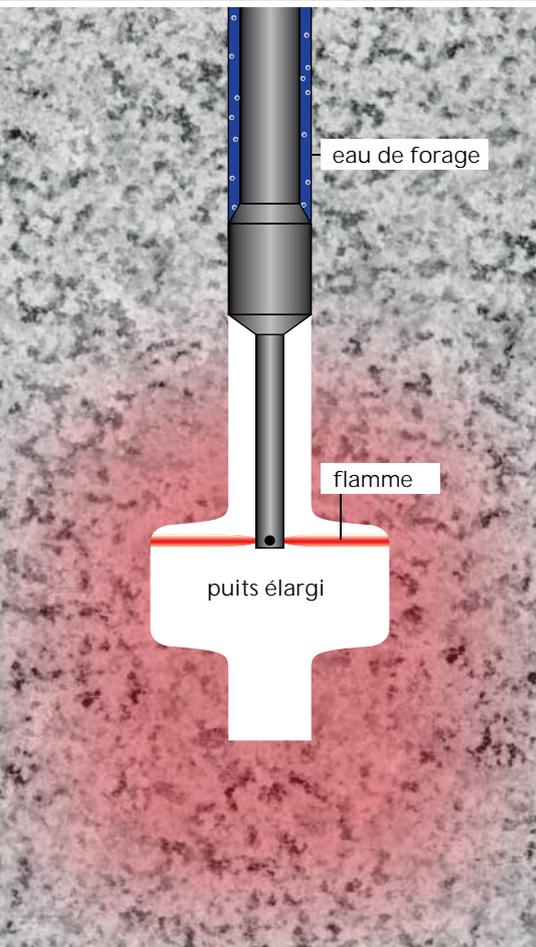
La géothermie profonde transporte la chaleur d'une profondeur de 3000 à 6000 mètres vers la surface pour approvisionner la population en énergie durable et climatiquement neutre. Les centrales géothermiques ne sont soumises à aucune fluctuation en fonction de la météo, du jour ou de la saison et constituent ainsi une alternative illimitée aux centrales à combustibles non renouvelables.

Pour pouvoir extraire efficacement cette énergie de la terre, il est nécessaire de produire un réseau de fissures par « stimulation hydraulique » en cas de perméabilité insuffisante de la roche dans le sous-sol profond. Ce processus, au cours duquel l'eau est pompée à haute pression dans le puits de forage, est déterminant pour le fonctionnement d'une cen-

trale de géothermie profonde. Des chercheurs de l'EPF de Zurich ont développé une nouvelle méthode pour augmenter l'efficacité du processus de stimulation et favoriser l'exploitation de l'immense potentiel de la géothermie profonde.

Les chercheurs se servent d'une flamme qui produit dans la roche des

tensions thermiques élevées, réduites par la fracturation de la roche. Cette méthode de « Thermal Spallation Drilling » est utilisée pour agrandir localement le diamètre d'un puits de forage existant dans le sous-sol profond. Elle permet de contrôler plus précisément la position et l'orientation des fissures qui sont produites pendant le processus de stimulation



subséquent. Il s'ensuit un plus grand réseau de fissures au meilleur emplacement et le processus de stimulation dans son ensemble devient plus efficace, plus avantageux et plus sûr.

La faisabilité de cette nouvelle technologie a pu être démontrée au cours d'un test sur le terrain dans le « Laboratoire souterrain du Grimsel », un laboratoire de recherche de la NAGRA (Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs) à proximité du col du Grimsel. Il n'a fallu que trois mois pour développer un prototype d'une longueur de 50 mètres spécialement conçu à cet effet qui produit des flammes à une température de 1500 °C et peut ain-

si forer efficacement la roche dure du laboratoire souterrain. Ce prototype a permis de doubler à divers endroits le diamètre d'un puits de forage existant rempli d'eau à une profondeur de quinze mètres. La surface de contact entre le puits de forage et la roche environnante s'agrandit. A la suite de cette démonstration de faisabilité très prometteuse, les chercheurs veulent se risquer à la prochaine étape et utiliser la technologie dans un puits de forage de profondeur moyenne pour faire ainsi avancer la révolution géothermique.

Michael Kant, Edoardo Rossi et Philipp Rudolf von Rohr

(En haut) Test de forage avec la méthode du « Thermal Spallation Drilling » dans le laboratoire souterrain de la NAGRA au Grimsel (source : EPF Zurich). (A gauche) Par ce procédé, la roche est chauffée autour d'un puits de forage existant au moyen d'une flamme chaude et agrandie par la formation de fissures thermiques.



Modèle d'une éolienne pour étudier le contrôle individuel des pales de rotor (source : EPF Zurich).

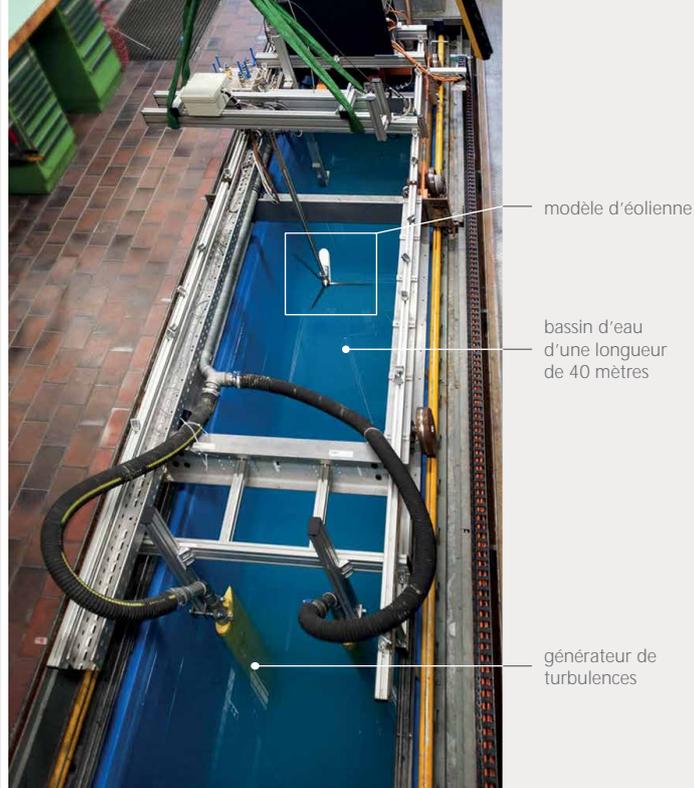
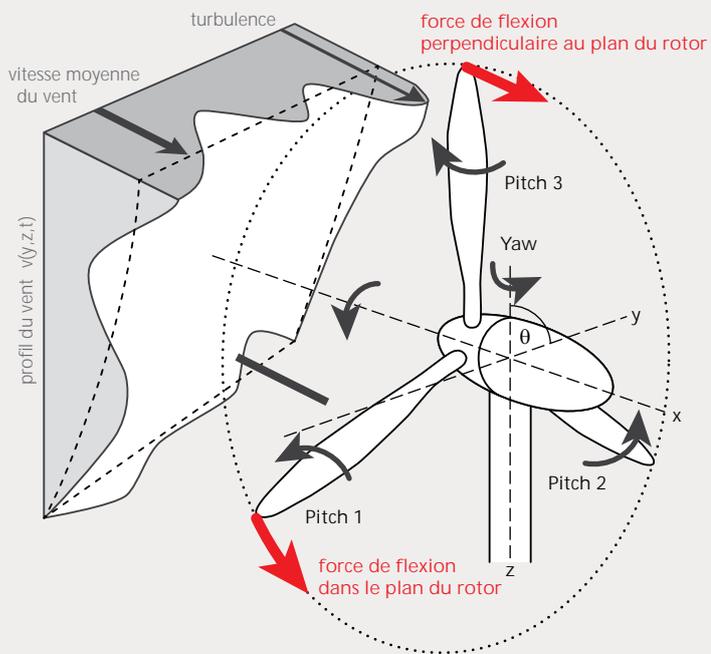
Contrôle intelligent du rotor d'éolienne

La production d'électricité à partir d'énergie éolienne fait partie intégrante de la stratégie énergétique et doit atteindre près de 4,3 TWh par an d'ici 2050. L'énergie éolienne – après le photovoltaïque – fournirait ainsi la seconde plus grande contribution au développement des « nouvelles énergies renouvelables ». En 2016, 37 grandes installations éoliennes étaient en exploitation dans le pays, représentant modestement 0,2 % de la production totale d'électricité (contre 7,5 % en Autriche et 12,9 % en Allemagne). Outre des questions d'acceptation et de longues procédures d'autorisation, la topographie complexe de la Suisse pose aussi des défis techniques à l'exploitation de grandes installations multi-mégawatts.

Le rotor d'une éolienne tourne grâce à la portance du vent sur ses pales. La puissance augmente avec le cube de la vitesse du vent. Pour ne pas dépasser la puissance nominale du générateur, la puissance absorbée du rotor est limitée à partir d'une certaine vitesse de vent par la rotation des pales autour de l'axe longitudinal

(« Pitch »): un plus faible angle d'incidence des pales par rapport à la direction du vent conduit à une plus faible portance et, ainsi, à une puissance réduite. Une adaptation active de l'angle d'incidence des pales intervient aussi à charge partielle pour obtenir une efficacité aérodynamique maximale.

Les défis conceptuels ne cessent d'augmenter avec la tendance à des éoliennes toujours plus grandes. Plus le diamètre du rotor est grand, plus les inhomogénéités qui soumettent les pales à de fortes sollicitations mécaniques sont importantes dans le champ du vent. Parmi ces inhomogénéités, on peut mentionner des vi-



(A gauche) Des inhomogénéités dans le champ du vent entraînent de fortes charges des pales pour les grandes éoliennes. Un contrôle individuel de l'angle d'incidence des pales (IPC = « Individual Pitch Control ») permet de les réduire. (A droite) A l'EPF de Zurich, des tests expérimentaux complexes sont réalisés sur un modèle de turbine, ce qui permet de valider à titre expérimental les résultats des simulations pour les algorithmes de contrôle IPC (source : EPF Zurich).

tesses de vent plus faibles près du sol, le sillage d'éoliennes avoisinantes ou les turbulences dues à une topographie particulière, par exemple dans la Suisse vallonnée. L'axe horizontal du rotor est aussi en général légèrement incliné afin d'augmenter la distance entre les pales et la tour, ce qui entraîne une charge asymétrique des pales.

De telles charges de fatigue peuvent être minimisées en adaptant les angles d'incidence des pales non seulement de manière collective, mais aussi individuelle (IPC = « Individual Pitch Control »). Cela permet d'obtenir une plus grande durée de vie et des coûts de maintenance plus faibles. Les algorithmes pour un contrôle individuel de l'angle d'incidence des différentes pales se fondent principalement sur des simulations.

Le laboratoire de conversion d'énergie de l'EPF de Zurich analyse dans ce domaine l'utilité des IPC à titre expérimental. Dans un travail de longue haleine, il a développé un modèle

unique à l'échelle d'une éolienne multi-mégawatts moderne à vitesse variable et avec une régulation individuelle du pitch et l'a expérimenté dans son installation-test. Celle-ci se compose d'un bassin d'une longueur de 40 mètres. Le modèle est tiré dans l'eau sur un chariot pour simuler le courant autour de l'éolienne. L'eau comme fluide d'essai permet de se rapprocher davantage des conditions de courant (nombre de Reynolds) d'une turbine réelle par rapport à un essai pilote dans l'air. Il est par ailleurs possible de générer activement des turbulences dans l'eau devant le modèle de turbine pour simuler un champ de vent turbulent autour du rotor.

Les premiers tests ont pu démontrer qu'une régulation individuelle sinusoïdale du pitch (1^{ère} harmonique) couplée à la phase de rotation du rotor θ peut augmenter le rendement de 10 à 16 % selon l'angle de lacet (« Yaw ») de la turbine. Dans la littérature, des algorithmes IPC sont également simulés pour compenser les

harmoniques supérieures. L'objectif est de tirer parti des dernières technologies de mesure pour déterminer les inhomogénéités dans le champ du vent en temps réel, à l'instar de la méthode LIDAR (light detection and ranging) pour le contrôle dynamique des éoliennes. Les études expérimentales comme celle de l'EPF de Zurich peuvent fournir d'importantes contributions en l'espèce. Les travaux en cours continuent de quantifier à titre expérimental les conséquences de turbulences accrues pour la charge.

Stefan Oberholzer



Energie renouvelable : en bref ...

Potentiel énergétique des engrais de ferme

L'engrais de ferme (lisier et fumier de différents animaux de rente) est jusqu'ici un substrat qui n'est guère utilisé pour récupérer du biogaz en raison de sa mauvaise fermentation. En améliorant le processus de fermentation, on doit parvenir à une hausse significative de la production de biogaz à partir de cette matière première afin de permettre une ex-

ploitation rentable d'une installation de biogaz sur la seule base de l'engrais de ferme. Pour ce faire, le lisier est traité in situ pendant la fermentation anaérobie avec des microorganismes aérobies. Les substances polymères dans le lisier sont décomposées par ces microorganismes en produits intermédiaires hydrosolubles qui sont transformés simultanément en méthane et en dioxyde de carbone par le consortium microbien.

Sandra Hermle



Réacteur pilote pour le traitement microbien aérobie de la biomasse peu fermentable (source : HES-BE)

Nouveau système de transmission pour éolienne

Une éolienne tombe en panne en moyenne 0,13 fois par an et environ 30 % de ses coûts d'exploitation sont consacrés à la maintenance. Partant de ce constat, la société suisse GDC, la Fachhochschule Nordwestschweiz et Brusa Elektronik AG ont mis au point un nouveau système de transmission modulaire. Dans ce concept, la turbine contient une boîte à vitesse innovante et plusieurs petits générateurs au lieu d'un seul. Il est alors possible d'en désactiver une partie en fonction de la vitesse du vent et ainsi obtenir un meilleur rendement à charge partielle. L'avantage de ce type de turbine réside avant tout dans sa plus grande facilité de maintenance.

GDC Urs Giger GmbH

Production de cellules solaires à haut rendement

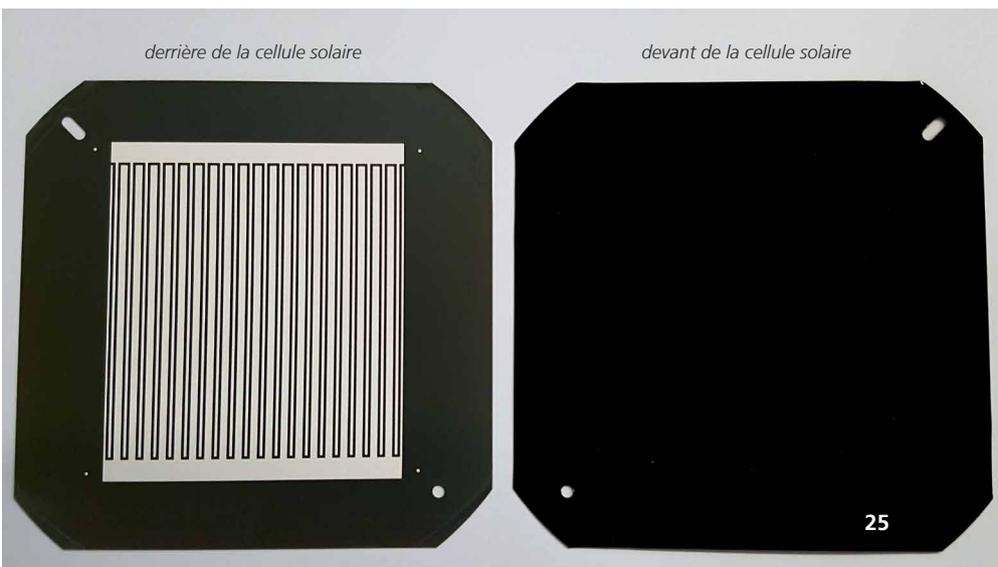
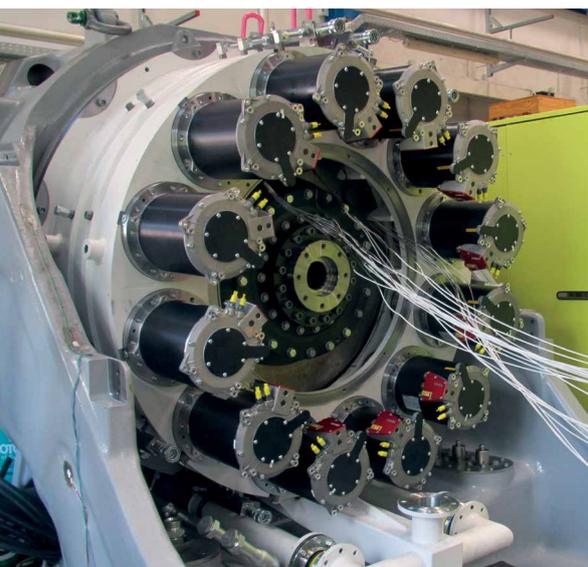
Une nouvelle méthode de fabrication de cellules solaires cristallines au silicium hautement efficaces, présentée par une équipe de chercheurs de l'EPFL et du CSEM à Neuchâtel, a fait l'objet de toutes les attentions en 2017. Pour augmenter encore l'efficacité de telles cellules, tous les contacts électriques sont positionnés au dos de la cellule afin d'éliminer entièrement l'ombrage sur la face frontale. Mais la production de telles cellules est normalement très coûteuse, car les contacts électriques positifs et négatifs doivent être juxtapo-

sés avec une grande précision, ce qui nécessite plusieurs étapes lithographiques. L'innovation de la nouvelle méthode neuchâteloise réside dans le fait que les contacts positifs et négatifs s'alignent d'eux-mêmes. Ce procédé de fabrication très simplifié a directement permis d'obtenir un rendement de 23 %. Pour ce faire, les chercheurs ont étroitement collaboré avec l'entreprise photovoltaïque suisse Meyer-Burger.

(A. Tomasi et al. Nature Energy, 2017).

Stefan Oberholzer

(A gauche) Concept de transmission novateur pour les énergies éoliennes (source : GDC). (A droite) Pour des cellules solaires cristallines au silicium à haut rendement, tous les contacts électriques sont positionnés au dos, si bien que la face est libre de tout ombrage (source : CSEM).





Aspects socioéconomiques

Le programme transversal Energie – économie – société (EES) aborde des questions économiques, sociologiques, psychologiques et politologiques 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 contrôle des ins-

truments existants. En 2017, 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.





Comment réduire les risques en capital pour les projets d'énergie renouvelable?

La mise en œuvre de la « Stratégie énergétique 2050 » nécessite une transformation progressive du système énergétique suisse. Le développement des énergies renouvelables en est un pilier essentiel. La mise à disposition suffisante de capitaux pour le financement des projets d'énergie renouvelable est donc une composante essentielle du succès de la concrétisation de la stratégie énergétique.

Une étude actuelle¹ de la Haute école de Saint-Gall (HSG) a analysé les possibilités de simplifier le financement des énergies renouvelables et d'atteindre ainsi les objectifs de la stratégie énergétique avec des coûts moins élevés pour la société. Grâce à des technologies toujours plus avantageuses (photovoltaïque et éolien), la rentabilité des projets d'énergie renouvelable est de plus en plus déterminée par les « Soft Costs ». L'étude de la HSG a mis en évidence deux éléments essentiels de ces « Soft Costs »: la prime pour le risque politique et les coûts de capital.

S'agissant du risque politique, le projet s'est concentré sur l'énergie éolienne. L'objectif était d'identifier, de catégoriser et de quantifier les différentes composantes d'une prime de risque adéquate pour concevoir les

investissements dans les projets éoliens suisses de manière rentable. Le second élément des « Soft Costs », les coûts de capital, a été examiné à double titre : d'une part, le processus décisionnel des investisseurs suisses a fait l'objet d'une analyse dans une comparaison entre projets énergétiques suisses et étrangers – notamment en ce que la baisse des sorties de capitaux à l'étranger pourrait améliorer la disponibilité des capitaux pour les projets d'énergie renouvelable en Suisse. D'autre part, l'étude a examiné les préférences des investisseurs, nouveaux et existants, dans les énergies renouvelables en matière de risque et de rendement dans le but de découvrir si et à quelles conditions la prise en compte d'investisseurs institutionnels pourrait faire baisser les coûts de financement des projets suisses.

¹ R. Wüstenhagen, Y. Blondiau, A. Ebers Broughel, S. Salm: «Lowering the financing cost of Swiss renewable energy infrastructure: Reducing the policy risk premium and attracting new investor types», SFOE Final Report 2017 (www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36929)

Protection antichute pour le montage de panneaux solaires (source : ABS Safety GmbH)



Le Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) examine le système « Skycam » à base de caméras industrielles à 360°. Un algorithme informatique permet de reconnaître des nuages et d'analyser leur mouvement, afin de prévoir localement l'irradiation solaire à bref délai (source : CSEM).

Les résultats de l'étude montrent que les complications typiques du processus de planification et d'autorisation peuvent augmenter les coûts d'un projet éolien moyen de 13 à 49 %. La combinaison entre les longues procédures d'autorisation et l'abandon – prévu dans la « Stratégie énergétique 2050 » – du système d'encouragement actuel après 2022 constitue un autre défi. Cela pourrait compromettre la réalisation de nombreux investissements dans l'énergie éolienne.

S'agissant de la décision d'investir en Suisse ou à l'étranger, il apparaît que 70 % du capital mis à disposition par

des investisseurs suisses pour les projets énergétiques partent à l'étranger. Une analyse ex-post de 20 études de cas d'investissements suisses dans des projets d'éoliennes et de centrales au gaz (2004–2015) révèle toutefois que la rentabilité des projets réalisés à l'étranger n'est pas systématiquement plus élevée que celle des investissements engagés en Suisse.

La coopération entre les fournisseurs d'énergie (EAE) et les investisseurs institutionnels pourrait constituer une approche visant à réduire les coûts de capital. Une enquête auprès d'investisseurs dans les deux domaines montre néanmoins qu'il

existe certains risques induisant des coûts de capital élevés pour les deux types d'investisseurs. S'ils doivent assumer la totalité du risque lié au prix de l'électricité, tant les EAE que les caisses de pension exigent une prime de risque respectivement de 5,98 et de 7,94 %.

L'étude révèle par ailleurs qu'une diminution des risques politiques et un certain degré de sécurité par rapport aux fluctuations des prix de l'électricité ont pour corollaire une mise à disposition accrue de capitaux pour le financement de projets d'énergie renouvelable en Suisse.

Anne-Kathrin Faust

Concept de maison multifamiliale « swisswoodhouse » comme hybride en bois avec un grand degré de préfabrication (source : Renggli AG, Sursee)





Collaboration internationale

En Suisse, la collaboration internationale en matière de recherche énergétique occupe une place prépondérante. Au plan institutionnel, l'OFEN harmonise ses programmes de recherche avec les activités internationales afin de profiter des synergies et d'éviter les doublons. La collaboration et l'échange d'expériences dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) revêtent une importance particulière. La Suisse participe ainsi, par le biais de l'OFEN, à différents Technology Collaboration Programmes de l'AIE, anciennement nommés Implementing Agreements (www.iea.org/tcp).

La Suisse participe activement, dans la mesure du possible, aux programmes de recherche de l'Union européenne. Au niveau institutionnel, l'OFEN coordonne la recherche énergétique avec le plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (plan SET), les European Research Area Networks (réseau ERA-NET), les plateformes technologiques européennes, les initiatives technologiques conjointes (JTI), entre autres. Dans certains domaines tels que les réseaux intelligents ou la géothermie, il existe une collaboration multilatérale intensive avec des pays spécifiques.

Impressum

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

*Le parc éolien « Mont Crosin » est le plus grand parc éolien de Suisse
(source : Loïc Schlüchter, © Suisse Eole, www.suisse-eole.ch).*





Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

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