



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Recherche énergétique et innovation

Rapport 2015



« En tant qu'entreprise spécialisée dans les façades et les fenêtres efficaces en termes d'énergie, nous apprécions l'Office fédéral de l'énergie en tant que partenaire fiable et de longue date, que ce soit pour le soutien direct aux projets pilotes et de démonstration, l'accès à des projets internationaux dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie, ou indirectement par le biais de la Commission pour la technologie et l'innovation pour la mise en œuvre d'innovations. Pour nous, le réseau des institutions et des hautes écoles, encouragé depuis longtemps et systématiquement par l'OFEN, est particulièrement important. »

Hans-Ruedi Schweizer,
CEO et président du conseil d'administration d'Ernst Schweizer SA



ÉDITORIAL

La recherche énergétique suisse tourne à plein régime : avec les deux Programmes nationaux de recherche « Virage énergétique » (PNR 70) et « Gérer la consommation d'énergie » (PNR 71), les huit pôles de compétences SCCER (Swiss Competence Centers for Energy Research) et le centre national de compétences en photovoltaïque, le sujet n'avait auparavant jamais été traité de manière si approfondie et interdisciplinaire. La Confédération a mis à disposition des moyens financiers importants pour le développement des ressources en personnel de la recherche. Elle a aussi considérablement augmenté les moyens de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) pour la promotion des projets pilotes et de démonstration et pour la promotion de l'innovation de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI).

La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) a repris ces développements dans le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2017–2020 tout en affinant l'objectif de la recherche énergétique suisse. Ce concept sera présenté et mis en discussion avec les autres résultats actuels de la recherche énergétique lors de la 10^e Conférence suisse sur la recherche énergétique en avril 2016.

La présente brochure « Recherche énergétique et innovation » est consacrée à la promotion de la recherche et de l'innovation par l'OFEN, une des principales institutions suisses d'encouragement dans le secteur de l'énergie. Grâce aux programmes d'encouragement en faveur de la recherche appliquée, aux projets pilotes et de démonstration, aux projets phares et au programme SuisseEnergie, l'OFEN suit les innovations du laboratoire jusqu'à leur mise sur le marché. Les exemples présentés ici sont représentatifs d'une multitude de projets qui contribuent aux différents thèmes du Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération.



Dr. Walter Steinmann
Directeur

SOMMAIRE

Le rôle de l'OFEN dans la promotion de la recherche et de l'innovation	3
Collaboration internationale.....	4

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Un regard à l'intérieur du réseau de distribution.....	7
Des stores pare-soleil mis au point.....	9
Production d'amidon économe en énergie.....	11
« Réseau intelligent » pour le développement du photovoltaïque.....	13
Un million de kilomètres avec de l'hydrogène.....	13

ÉNERGIES RENOUVELABLES

Plus de puissance avec des cellules solaires en tandem	15
Algues issues du digestat et de la chaleur excédentaire	17
Installations éoliennes et migration des oiseaux.....	19
Tests de laboratoire pour calculer la production de méthane industrielle..	21
Thermohydraulique des installations solaires	21

ASPECTS SOCIOÉCONOMIQUES DES TECHNOLOGIES ET SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Communication et planification pour les installations éoliennes.....	21
Sites susceptibles d'accueillir des dépôts en couches profondes.....	23
Mieux comprendre les consommateurs en matière d'énergie.....	23

Faits et chiffres.....	26
Crédits photographiques.....	28



RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE EN SUISSE

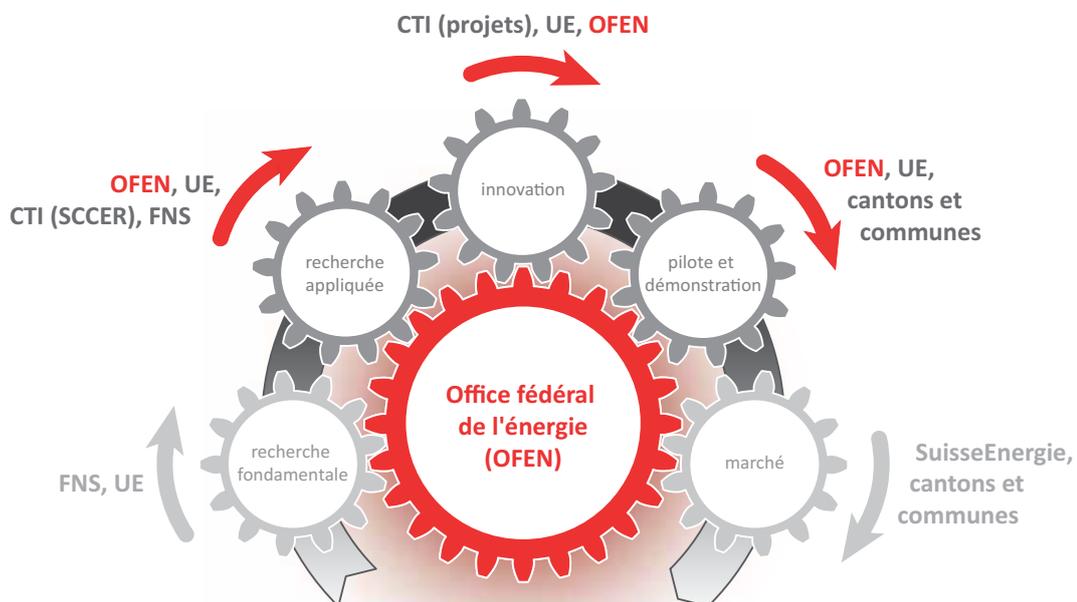
La capacité de développer de nouvelles idées et de les réaliser sur le marché est un facteur essentiel pour la compétitivité d'une économie nationale. La recherche, située à l'origine des connaissances et des idées nouvelles qui génèrent des produits novateurs et concurrentiels, en constitue la clé. 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. En l'occurrence, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) assume des tâches extrêmement importantes.

Le rôle de l'OFEN dans la promotion de la recherche et de l'innovation

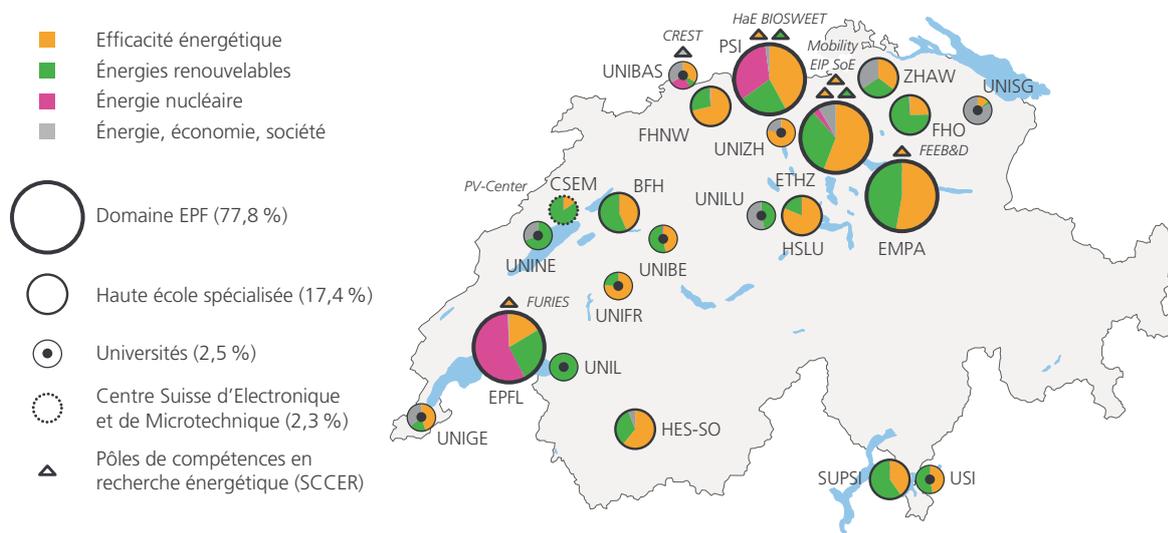
L'OFEN encourage et coordonne la recherche énergétique nationale et soutient le développement de nouveaux marchés pour un approvisionnement énergétique durable. Pour s'acquitter de cette tâche de coordination, l'OFEN investit ses moyens, soit environ 11 % du total des fonds publics destinés à la recherche énergétique suisse, dans le développement ciblé de technologies et de concepts innovants selon une approche programmatique. Il intervient à titre subsidiaire là où des lacunes sont constatées dans le paysage de l'en-

couragement en Suisse. Les mandataires sont des particuliers, le domaine des Ecoles polytechniques fédérales, les hautes écoles spécialisées et les universités. Les projets soutenus ont droit à un suivi professionnel de l'OFEN qui a la possibilité de faire appel à des experts et représentants d'autres organismes d'encouragement. Grâce à ses prises de position, l'expertise confirmée de l'OFEN influence également l'évaluation de propositions de projet émanant d'autres organismes promotionnels nationaux, cantonaux, municipaux ou



En étroite collaboration avec les principaux organismes d'encouragement publics compétitifs, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) soutient et coordonne la recherche et l'innovation dans le domaine énergétique sur une grande partie de la chaîne de création de valeur. Pour ce faire, l'OFEN poursuit une approche programmatique et subsidiaire axée sur le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération. Outre la mise en réseau nationale, la transmission active des savoirs et les échanges internationaux constituent également des éléments centraux de ses activités (CTI = Commission pour la technologie et l'innovation ; FNS = Fonds national suisse ; UE = Union européenne).

RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE EN SUISSE ET COLLABORATION INTERNATIONALE



Montants investis dans les quatre domaines de recherche « Efficacité énergétique », « Énergies renouvelables », « Énergie nucléaire » et « Énergie, économie, société » et versés à différentes hautes écoles suisses (données 2014). La plupart des activités de la recherche énergétique suisse sont réalisés dans le domaine des EPF (EPF de Zurich et de Lausanne, Empa, PSI, IFAVPE et WSL) (78 %), suivi des hautes écoles spécialisées (17 %) et des universités cantonales (3 %).

privés. Par ailleurs, l'OFEN entretient des échanges réguliers d'informations entre différents programmes nationaux d'encouragement et soutient les mesures visant à la transmission des savoirs en général. Il est ainsi

étroitement lié à tous les organismes d'encouragement sur la chaîne de création de valeur et veille au développement constant des connaissances ainsi qu'à leur mise en œuvre dans des applications concrètes.

Collaboration internationale dans le domaine de la recherche énergétique

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.





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 années passées, 72 millions de francs ont été investis pour créer huit centres de compétences, dont cinq dans le domaine de l'efficacité énergétique. Cela renforce principalement 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.





Un regard à l'intérieur du réseau de distribution

Différents projets de recherche concernent les techniques pour le monitoring et la commande en temps réel de réseaux de distribution d'électricité. Les systèmes doivent être appliqués à des réseaux avec installations de production et accumulateurs décentralisés, afin d'assurer une exploitation « conforme ».

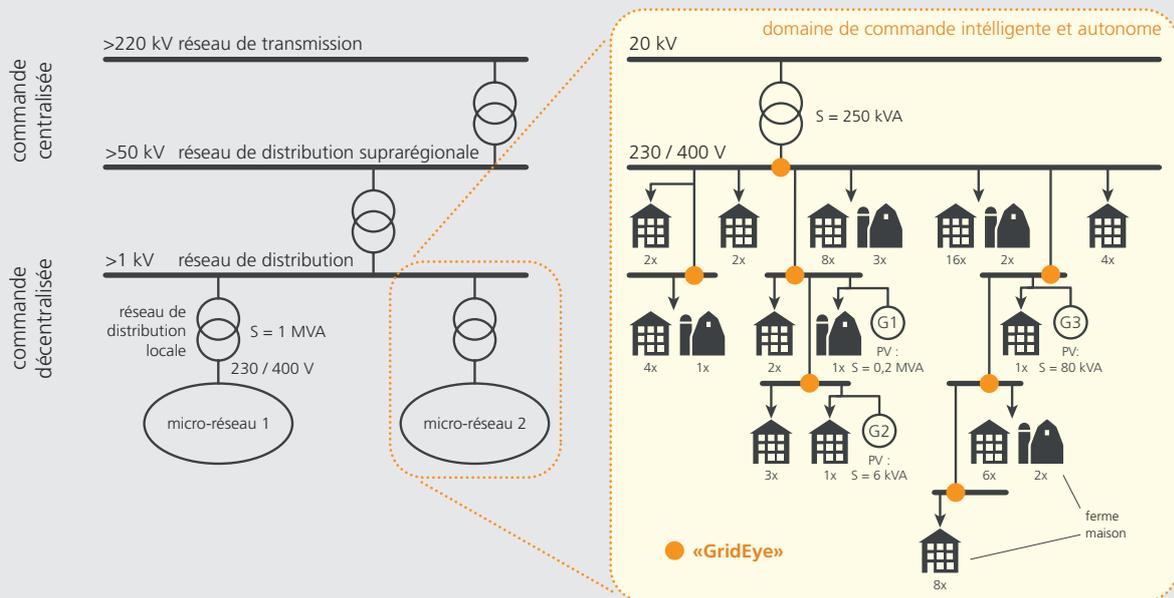
Les réseaux électriques qui permettent l'intégration économique et fiable des énergies renouvelables sont généralement appelés « réseaux intelligents » (« smart grids »). Actuellement, plusieurs équipes suisses travaillent sur de tels concepts. L'idée de départ est d'équiper le réseau de distribution d'instruments de mesure sur des points adaptés et d'utiliser les données de mesure ainsi obtenues pour une commande centralisée ou décentralisée du réseau.

Dans le système « GridBox » que BKW Energie SA et ewz (services industriels de la Ville de Zurich) testent actuellement, les données de mesure élaborées de manière centralisée sont utilisées pour commander les installations de production décentralisées, les accumulateurs et les consommateurs, afin d'exploiter le plus d'installations possible sur le réseau de distribution sans perturber leur fonctionnement. Le cas échéant, un éventuel développement du réseau pourrait aussi être évité. Comme le système « GridBox » enregistre une multitude de paramètres de mesure à intervalles rapprochés, cela permet de mieux connaître l'état du réseau

et donc d'optimiser l'ensemble du réseau de distribution.

Le système industriel « GridSense » du groupe énergétique Alpiq poursuit le même objectif, mais il se compose d'appareils de mesure et de commande indépendants. Les appareils utilisés fonctionnent de manière autonome et n'échangent pas de données avec une unité centralisée ou avec des appareils à proximité. Ils convertissent eux-mêmes les valeurs de tension mesurées en ordres de commande en appliquant un algorithme. Compte tenu de cette structure décentralisée, le concept « GridSense » fonctionne même en cas de panne d'un seul module, contrairement aux systèmes avec commande centralisée. Avec ce système, l'optimisation du réseau de distribution est toutefois uniquement réalisée dans un environnement local.

Avec « GridEye », l'entreprise DEPsys SA, une start-up de la Haute école spécialisée d'Yverdon, a développé un système qui combine les avantages des deux approches. « GridEye » installe également sur le réseau électrique des boîtiers mesurant la tension sur les différents points de réseau.



Le système « GridEye » mesure la tension aux différents points du réseau de distribution et permet un fonctionnement optimal de ce réseau grâce à une commande intelligente et autonome.

Les informations obtenues servent à connaître l'état du réseau : depuis 2014, les services industriels d'Yverdon ont acquis une douzaine de ces boîtiers, avec lesquels ils surveillent une zone de desserte d'un millier de consommateurs d'électricité.

En collaboration avec l'EPFL et la Haute école spécialisée d'Yverdon, l'entreprise DEPSys va encore plus loin en développant un nouvel algorithme qui permet aux modules de commander des centrales hydroélectriques décentralisées, des accumulateurs ou des charges dans un réseau basse tension, de telle sorte qu'on puisse éviter les surcharges ainsi que les fluctuations ou les pics de tension non conformes. Au cours des prochaines années, le distributeur

d'énergie Romande Energie testera ce nouveau système de monitoring et de commande de réseau à large échelle sur le terrain.

Les modules « GridEye » échangent les données entre eux, mais ils n'ont pas besoin de les transmettre à un serveur central pour les traiter. Chaque module fonctionne ainsi de manière décentralisée et traite les mesures localement sur le point du réseau où il est installé. L'innovation principale est un algorithme capable de calculer une valeur de référence toutes les 60 secondes. Cette valeur permet de consulter les variations de tension induites sur un point déterminé du réseau par les injections et les soutirages des centrales hydroélectriques et des accumulateurs répartis sur le réseau. Plusieurs techno-

logies sont utilisées pour la communication des données entre les différents modules : transmission des données par le réseau électrique, fréquence radio ou réseaux de téléphonie mobile GSM. En cas de besoin, les informations traitées de manière décentralisée peuvent aussi être transmises à un système de réseau centralisé, ce qui permet d'optimiser l'ensemble du réseau de distribution. En effet, lors d'une défaillance dans la transmission des données, aucune optimisation globale du réseau n'est possible, à l'instar des autres systèmes de gestion centralisés. Grâce aux modules « GridEye » répartis sur le réseau, une optimisation quasi complète peut toutefois être atteinte en se fondant sur les informations des modules voisins.

Benedikt Vogel, Michael Moser



Conteneur de mesure de la lumière sur le terrain de la Haute école de Lucerne à Horw : vue extérieure (en haut) et vue intérieure (en bas)

Des stores pare-soleil mis au point

L'optimisation des besoins énergétiques dans les bâtiments représente un grand espoir pour un avenir énergétique économe, mais aussi un énorme défi. Les exigences des utilisateurs vont souvent à l'encontre d'un fonctionnement efficace en termes d'énergie. Connaître précisément ces exigences revêt ainsi une importance considérable pour augmenter l'efficacité énergétique. Cela concerne en particulier les stores en tant qu'éléments des bâtiments.

Les stores pare-soleil doivent satisfaire à différentes exigences contradictoires : ils doivent protéger du soleil tout en tamisant le moins possible la lumière dans les pièces, afin de ne pas gaspiller de l'énergie pour l'éclairage artificiel. Au cours des dernières années, une importance croissante a été accordée à la protection contre la lumière du soleil qui devenait toujours plus perturbante pour les postes de travail équipés d'un écran, raison pour laquelle les stores sont plus souvent

baissés, alors qu'il faudrait profiter de l'énergie solaire pour chauffer et éclairer les pièces.

Dans le cadre d'un projet d'Estia, un spin-off de l'EPFL, une étude a été menée pendant une année entière sur la position des stores de trois immeubles de bureaux. Chaque heure, les webcams installées sur les bâtiments voisins photographiaient 125 fenêtres, toutes équipées de stores à commande manuelle. Une façade était orientée vers l'est, une deuxième vers le

sud et une troisième vers l'ouest. Sur toute la période, les caméras ont pris plus de 500 000 images. Sur la base de ces photos, Estia a enregistré et analysé tous les mouvements des stores. Résultat : les utilisateurs gèrent très mal les systèmes de protection solaire. On a ainsi enregistré une moyenne de 1,74 mouvement par semaine et par fenêtre. Seuls 12 % des utilisateurs des bureaux modifiaient la position des stores plus de quatre fois par semaine. Les utilisateurs ne modifiaient la position des stores



Façade ouest d'un immeuble de bureaux avec stores à commande manuelle par temps couvert : l'utilisation des stores s'effectue de manière aléatoire et seule une partie se trouve dans une position adéquate (rouge). Dans quelques bureaux, la lumière est allumée, alors que certains stores sont baissés (jaune).

que lorsqu'ils étaient éblouis par le soleil, mais ils oubliaient ensuite de les relever.

L'objectif de cette étude était de savoir si les stores automatisés permettaient d'atteindre de meilleurs résultats par rapport aux stores actionnés manuellement. Elle a montré qu'en fonction du type de commande automatique, on obtient entre 17 % et 20 % d'économies sur la durée de fonctionnement de l'éclairage. Ces calculs se basent sur une luminosité de 500 lux exigée dans les bureaux selon la norme SIA. L'étude a toutefois montré qu'aujourd'hui les employés ne travaillent souvent qu'avec 150 lux, car ils sont concentrés sur leur écran et ne dépendent que sporadiquement de la lumière de leur poste de travail. Compte tenu de ce niveau inférieur de luminosité, les économies réalisées, comprises entre 27 % et 35 %, sont encore plus importantes.

Début 2014, la Haute école de Lucerne a fait construire un conteneur expérimental capable d'orienter en permanence un poste de travail en direction du soleil. Ce conteneur de mesure rotatif a permis d'analyser les effets de différents types de stores pare-soleil sur la qualité de l'éclairage du poste de travail. Sept systèmes de protection solaire courants sur le marché ont été analysés. Ce faisant, les indications des fabricants relatives au facteur de transmission lumineuse ont également été soumises à un examen critique. Une découverte surprenante concerne la différence entre les stores à lamelles et les stores verticaux en tissu. Jusqu'à présent, l'idée la plus répandue était que les lamelles horizontales laissent entrer plus de lumière dans les pièces que les stores verticaux en tissu. Les mesures des chercheurs lucernois n'ont pas confirmé cette hypothèse. Au contraire, les stores à lamelles et les stores en tissu ont à peu près les mêmes propriétés en

termes de transmission de la lumière, pour autant que les deux types de stores soient de même couleur. Il est préférable de ne plus utiliser ces types de stores dans des couleurs sombres, car ils nuisent trop à l'utilisation de la lumière naturelle.

Cette étude a également mis en évidence l'importance du système de commande : la stratégie de commande appliquée à l'automatisation des bâtiments a une importance déterminante pour l'utilisation de la lumière du jour ; elle est encore plus importante que la forme et le matériau des stores eux-mêmes. Les deux études ont montré que la commande du store ne doit pas être trop sophistiquée, sinon elle devient sensible aux perturbations. Les mouvements fréquents des stores dérangent les utilisateurs qui ne sont donc moins enclins à tolérer une commande automatique.

Rolf Moser



L'extrudeuse est l'élément principal de la nouvelle installation de l'entreprise Meyerhans Mühlen qui permet l'élaboration d'un produit amylacé pour l'industrie du papier.

Production d'amidon économe en énergie

Les minoteries suisses subissent des pressions sur leurs marges en raison des surcapacités dans la production de farine et de l'accroissement des importations de pâtons et de produits de boulangerie. Au vu de ce qui précède, l'entreprise Meyerhans Mühlen à Weinfelden (TG) a développé un procédé de production innovant grâce auquel elle fabrique un produit amylacé pour l'industrie du papier à partir de la farine de blé. Ce produit amylacé est compétitif par rapport aux produits importés, notamment parce que le procédé de production innovant consomme nettement moins d'énergie.

Le carton ondulé est un matériau d'emballage léger et stable. En 2014, l'industrie papetière suisse en a produit plus de 350 000 tonnes. Afin que le carton ondulé présente la résis-

tance souhaitée, on le rigidifie avec de l'amidon au cours de la fabrication. En général, les fabriques de papier produisent elles-mêmes la colle d'amidon nécessaire à partir d'amidon de froment, de

pommes de terre ou de maïs importé. Le procédé classique de fabrication comprend un traitement humide qui consomme beaucoup d'énergie : en utilisant de la farine de froment et de l'eau à 55 °C, on

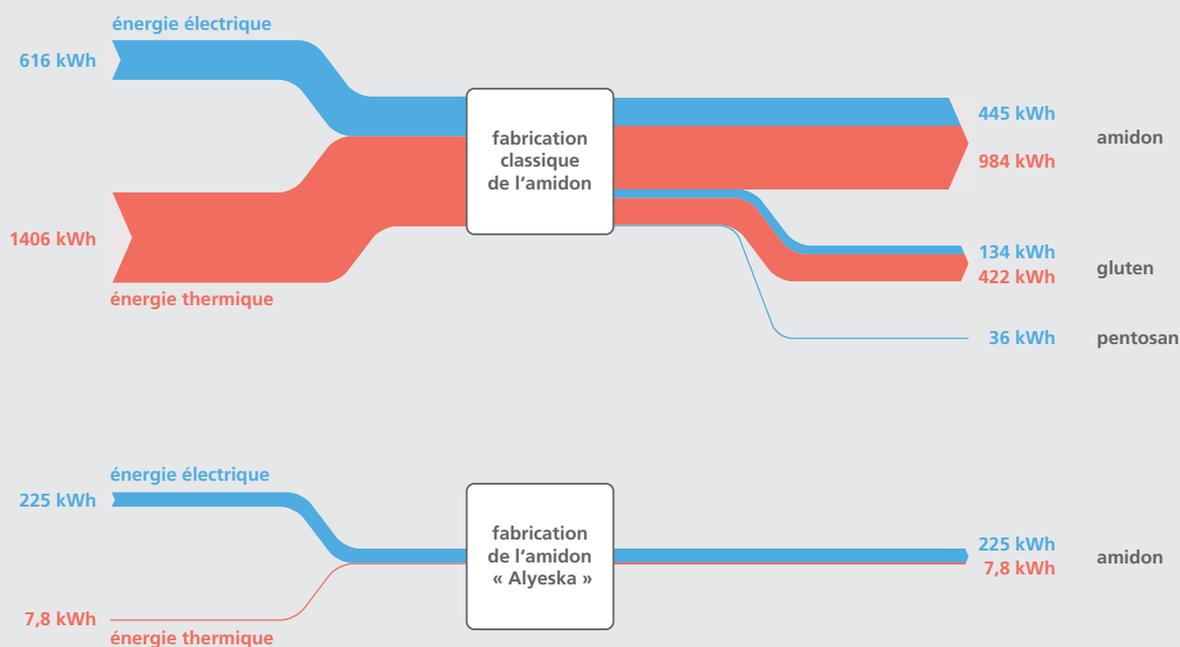


Diagramme de Sankey par rapport à une tonne du produit amylicé : le nouveau processus Alyeska (en bas) pour la production d'amidon consomme nettement moins d'énergie thermique (rouge) et électrique (bleu) que le processus conventionnel (en haut).

obtient une pâte qui, en passant par plusieurs étapes et en utilisant de l'énergie électrique, se sépare en divers éléments : amidon, protéine de gluten et pentosane (substance mucilagineuse). L'amidon doit ensuite être séché, ce qui nécessite une énorme quantité d'énergie thermique, pour obtenir finalement une poudre d'amidon.

L'entreprise Meyerhans Mühlen a élaboré un nouveau procédé de fabrication qui permet de transformer directement la farine de blé en un produit amylicé pour l'industrie du papier. Le procédé innovant utilise une extrudeuse, avec laquelle la farine de blé mélangée à des subs-

tances auxiliaires est pressée à travers une plaque perforée par une vis sans fin. Il en ressort des pellets qui sont ensuite finement broyés. Le résultat est un produit amylicé dans lequel l'amidon est déjà sous forme soluble. Ce produit peut dès lors être directement utilisé dans la fabrication de papier pour fabriquer de la colle d'amidon.

Par rapport au traitement humide classique, l'avantage de ce nouveau processus est que, pour la fabrication d'amidon, la double étape du processus avec réchauffement puis séchage est supprimée, ce qui permet d'importantes économies d'énergie. Le nouveau proces-

sué est également avantageux pour la fabrication de papier : comme l'amidon existe déjà sous une forme soluble et qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser de l'amidon naturel pour fabriquer la colle, les deux étapes énergivores du traitement, soit la dégradation oxydative/enzymatique de l'amidon et la solubilisation de l'amidon par injection de vapeur, sont supprimées. En comparaison à la production conventionnelle d'amidon avec un traitement humide, le nouveau processus consomme 84 % d'énergie en moins (réduction de 49 % des besoins en électricité et de 99 % des besoins en chaleur).

Benedikt Vogel



EN BREF ...



Un car postal à pile à combustible circulant entre Birmenstorf et Gebenstorf.

«Réseau intelligent» pour le développement du PV

Lors d'une injection maximale avec une faible charge simultanée, un nombre élevé d'installations photovoltaïques peut entraîner des surtensions dommageables pour le réseau de distribution. L'entreprise Basler & Hofmann a développé en collaboration avec des partenaires un procédé qui permet d'éviter un renforcement local du réseau ou d'autres solutions onéreuses et qui agit comme un gestionnaire actif de la charge ou comme un accumulateur. Dans les 29 installations photovoltaïques implantées dans une zone bâtie de Frenkendorf (BL), la tension mesurée localement dans le réseau est surveillée et transmise à l'exploitant local du réseau. Si la tension du réseau augmente trop fortement, les différentes installations photovoltaïques sont réglées de manière dynamique : lors d'un écart minime, on n'adapte dans un premier temps que la puissance réactive, tandis qu'en cas de fortes surtensions, on réduit également la puissance active des installations. Au contraire d'un dispositif statique de réglage, ce dispositif dynamique réduit drastiquement les pertes de rendement énergétique.

Stefan Oberholzer

Un million de kilomètres avec de l'hydrogène

Depuis plus de quatre ans, CarPostal Suisse SA exploite cinq bus fonctionnant avec des piles à combustible sur 14 lignes différentes du service régulier dans la région de Brugg. L'essai sur le terrain réalisé dans le cadre du grand projet européen CHIC est censé tester le profil de conduite des cars postaux, en particulier dans le trafic régional. Jusqu'à pré-

sent, le projet a permis de tirer de précieux enseignements sur cette technologie alternative de propulsion dans les transports publics, notamment grâce à l'exploitation de la première station-service pour véhicules à hydrogène en Suisse. L'hydrogène est produit par électrolyse à partir de sources d'énergie renouvelables, ce qui a permis d'économiser à ce jour les émissions de 1200 tonnes de CO₂.

Stefan Oberholzer

Le projet pilote « Smart Grid Eich » l'a démontré avec succès : un réglage dynamique de la puissance réactive et de la puissance active des installations photovoltaïques permet d'éviter des surtensions dommageables pour le réseau de distribution, sans renforcer le réseau et sans pertes de rendement énergétique.

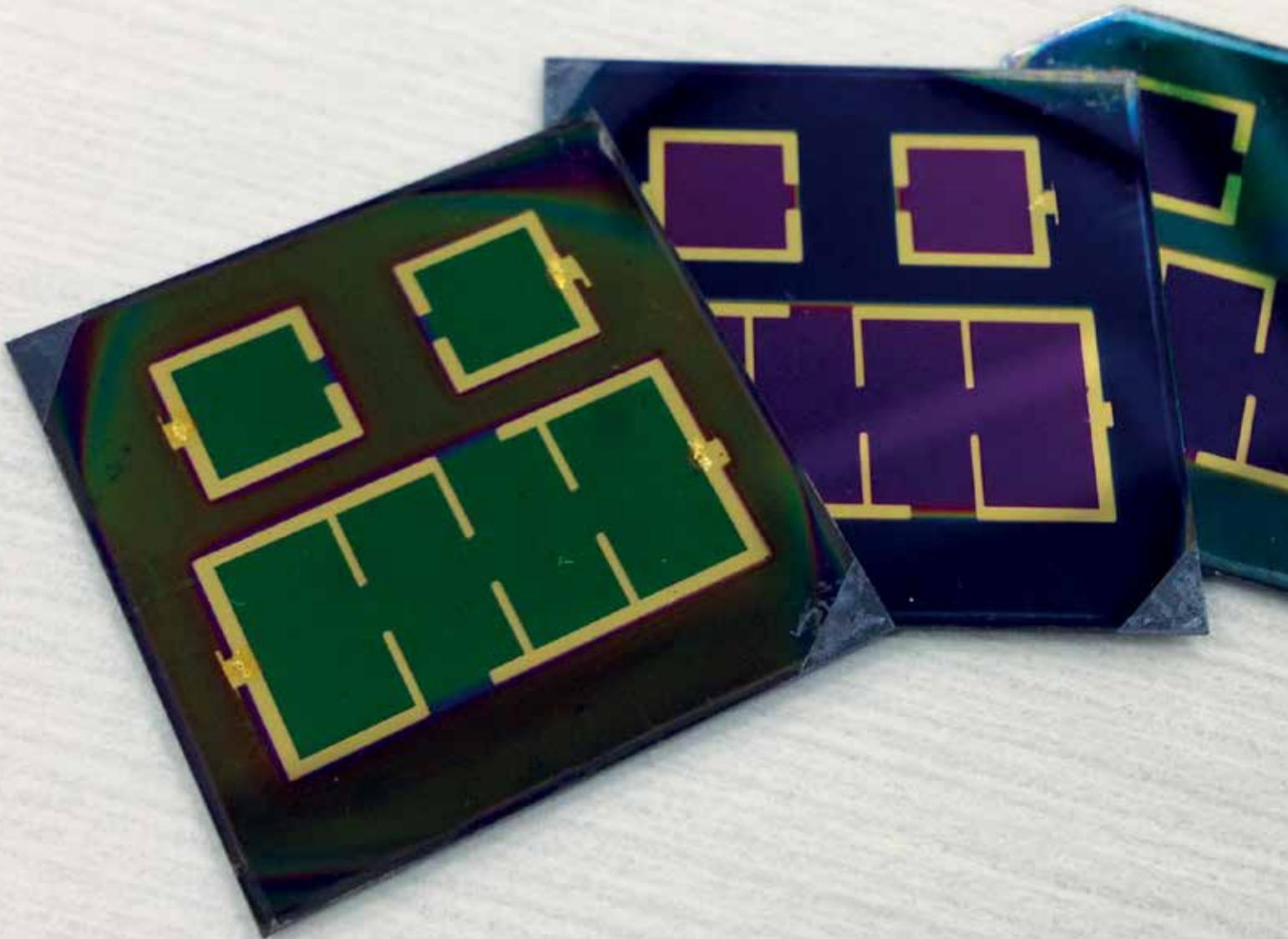




ÉNERGIES RENOUVELABLES

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.





Plus de puissance avec des cellules solaires en tandem

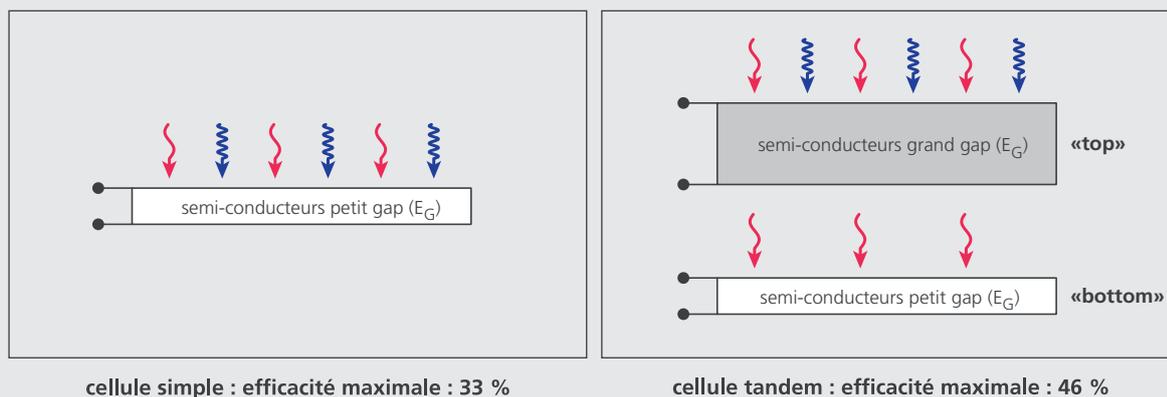
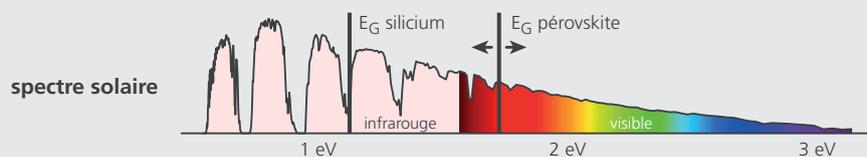
Nombre d'experts n'avaient pas prévu la réduction d'environ 80 % des coûts de l'électricité photovoltaïque au cours de la dernière décennie. Actuellement, le courant issu des installations photovoltaïques est concurrentiel dans différents pays, aussi bien par rapport à d'autres énergies renouvelables que comparé à la production d'électricité d'origine fossile et nucléaire. Un accroissement de l'efficacité des modules réduira à nouveau nettement les coûts.

Aujourd'hui, les cellules solaires à base de silicium (Si) cristallin dominent le marché photovoltaïque à plus de 90 %. Au cours des dernières années, cette technologie a connu une baisse des coûts de 25 % et plus pour chaque doublement de la capacité de production. Les principaux facteurs sont d'une part les effets d'échelle liés à l'industrialisation et d'autre part un perfectionnement technologique, comme l'illustre par exemple la forte réduction de la quantité de matériaux utilisés. Dans le même temps, la part des coûts des systèmes a relativement augmenté par rapport à celle des modules et représente actuellement plus de 50 % pour une installation classique sur toit. Une progression du rendement des modules photovoltaïques réduirait donc cette part des coûts (montage, terrain, maintenance, etc.).

Depuis le début du nouveau millénaire, le rendement des cellules solaires à base de silicium cristallin n'a connu qu'une légère croissance en laboratoire, soit de 25,0 à 25,6 %. Ces valeurs sont proches

du maximum théorique de 29,4 % pour le silicium. Cette limite est due au fait que les cellules solaires avec une seule couche d'absorption ne peuvent utiliser que la partie du spectre solaire dont l'énergie est plus élevée que le gap de bande du semi-conducteur utilisé (voir figure page 16). La lumière dont l'énergie est plus élevée est majoritairement convertie en chaleur et ne contribue pas à la production d'électricité. Les cellules classiques à base de silicium sont donc insensibles à une partie du spectre solaire, dans le domaine bleu comme dans le domaine à faible énergie (infrarouge).

Pour mieux exploiter le spectre solaire, il est possible de superposer deux cellules solaires avec des matériaux d'absorption différents. De tels concepts s'appliquent déjà avec succès aux technologies de cellules solaires à faible efficacité et aux systèmes photovoltaïques à très haut rendement, mais très onéreux. Une approche relativement récente consiste à développer des cellules solaires en tandem, soit en combinaison avec des cellules à base de silicium cristallin



Les cellules solaires simple avec un seul matériau d'absorption (à gauche) n'utilisent que la partie du spectre solaire dont l'énergie est plus élevée que celle de la bande de gap du matériau semi-conducteur employé. La lumière dont l'énergie est nettement « trop élevée » est convertie en chaleur. Les cellules solaires tandem (à droite) se composent de matériaux présentant différentes bandes de gap, de sorte que la cellule supérieure absorbe la lumière à énergie élevée et est transparente pour la lumière rouge absorbée par la cellule inférieure.

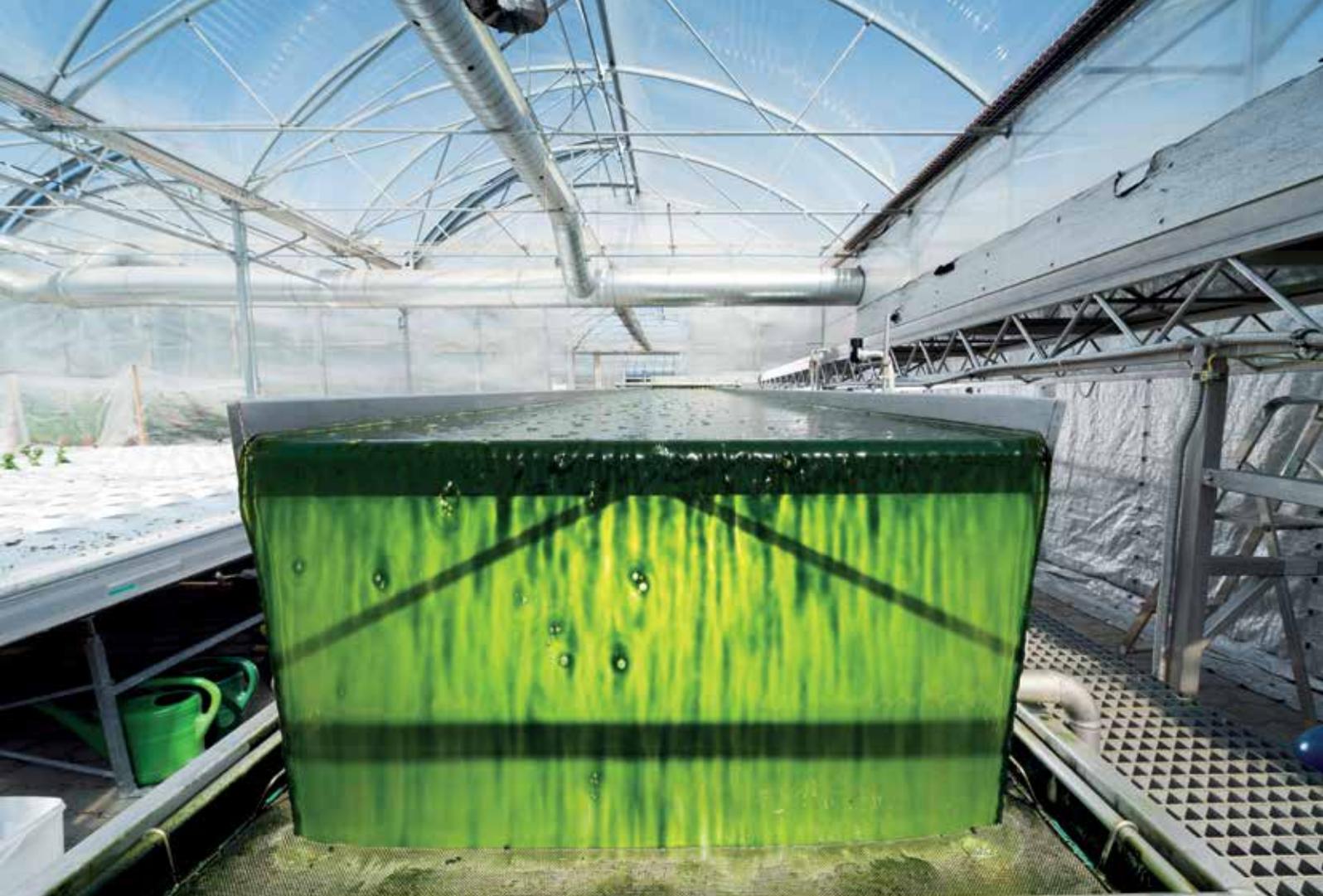
soit avec des cellules solaires à base d'un matériau d'absorption cuivre-indium-gallium-sélénium (CIGS). La difficulté est de trouver les cellules adéquates et surtout à un prix avantageux avec une grande bande interdite qui absorbent la lumière bleue, mais qui sont transparentes pour le domaine infrarouge du spectre solaire. En l'occurrence, les cellules solaires en pérovskite développées ces dernières années sont jugées très prometteuses. En six ans, le rendement de ces cellules en laboratoire a passé de moins de 4 à plus de 20 %. Depuis l'année dernière, l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) détient le record mondial avec une valeur de 21,02 %.

En Suisse, différentes unités de recherches de l'Empa, de l'EPFL à

Neuchâtel et Lausanne, ainsi que du Centre suisse d'électronique et de microtechnique (CSEM) sont parmi les laboratoires les plus avancés au niveau mondial avec leurs différentes technologies de cellules solaires : cellules CIGS, cellules en pérovskite, mais aussi cellules à base de silicium cristallin, notamment dans ce qu'on appelle la technologie à hétérojonction. Pour développer les nouvelles cellules solaires en tandem, ces groupes collaborent en exploitant les effets de synergie. Les projets en cours développent différentes possibilités pour combiner les cellules solaires en pérovskite avec les cellules à base de silicium cristallin ou avec les cellules CIGS. Ainsi, la cellule inférieure et la cellule supérieure peuvent être traitées séparément, puis assemblées

mécaniquement, ou les deux cellules sont conçues de façon séquentielle (monolithique). Les défis à relever diffèrent en fonction de l'approche choisie : dans le premier cas, il faut quatre électrodes bonnes conductrices, dont trois devraient être les plus transparentes possibles. Avec la deuxième approche, il convient d'harmoniser différents paramètres du procédé (par exemple la température) des différentes technologies de cellules solaires. Début 2016, l'EPFL à Neuchâtel, en collaboration avec le CSEM, a présenté pour la première fois une cellule monolithique stable en tandem composée d'une cellule en pérovskite et d'une cellule à hétérojonction de silicium, dont l'efficacité dépasse nettement celle des cellules individuelles.

Stefan Oberholzer



Culture de l'algue verte (Chlorella vulgaris) dans le photobioréacteur couche mince ouvert de la Haute école des sciences appliquées de Zurich (ZHAW).

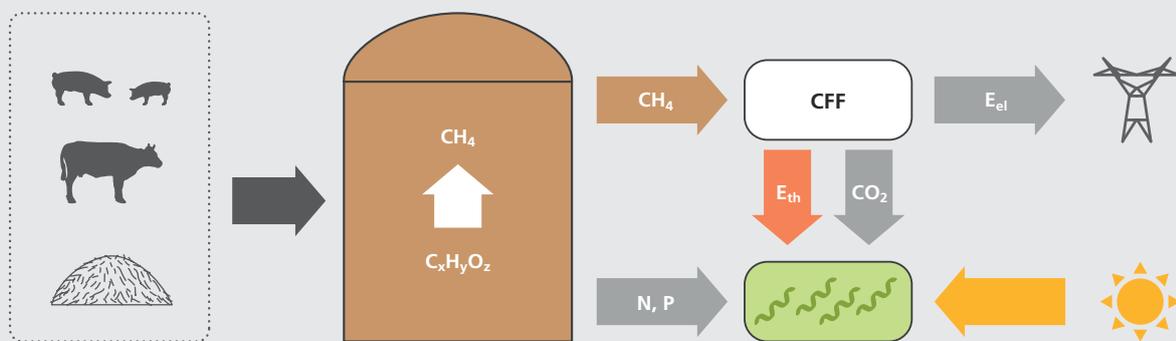
Algues issues du digestat et de la chaleur excédentaire

Le couplage d'installations de méthanisation agricole avec des unités de production de spiruline (algues bleues) constitue un concept séduisant, puisque les flux résiduels de la digestion anaérobie et du biogaz génèrent un produit à valeur ajoutée. Ce principe permet une meilleure valorisation énergétique des rejets de chaleur et des gaz d'échappement de l'installation de couplage chaleur-force utilisée avec l'installation de méthanisation.

La plupart des installations de méthanisation agricole en Suisse utilisent le biogaz produit à partir des effluents d'élevage et de cosubstrats dans une installation de couplage chaleur-force (CCF) pour générer de l'électricité et de la chaleur. Actuellement, à peine plus de 20 %

de la chaleur produite sont utilisés, ce qui limite la valorisation énergétique globale. C'est pourquoi de plus en plus de projets de méthanisation agricole en Europe envisagent le couplage avec une installation de production de micro-algues de type spiruline capable d'utiliser judicieusement cet-

te chaleur. Par ailleurs, le couplage de ces deux procédés permet de valoriser les nutriments présents dans le digestat (notamment l'azote et le phosphore) et d'utiliser le dioxyde de carbone des gaz d'échappement de l'installation CCF.



Couplage d'une installation de méthanisation agricole avec des unités de production de spiruline (algues bleues).

Les micro-algues du genre spiruline (*Arthrospira platensis* et *Arthrospira maxima*) se prêtent particulièrement bien à une telle application, car cette cyanobactérie présente une croissance élevée et est facile à récolter grâce à la morphologie filamenteuse des cellules juxtaposées. Cette bactérie est riche en protéines, vitamines, acides aminés essentiels, acides gras et minéraux. C'est la micro-algue la plus cultivée au monde, car elle constitue une source nutritionnelle importante. Les produits à base de spiruline proposés sur le marché suisse sont principalement des compléments alimentaires. L'essentiel de l'approvisionnement se fait néanmoins par importation.

Une étude a examiné si une production de spiruline intégrée à des installations de méthanisation agricole en Suisse serait techniquement réalisable et économiquement intéressante. Le modèle d'évaluation déve-

loppé intègre la taille de référence des installations de méthanisation agricole, les valeurs moyennes du rayonnement solaire en Suisse, les différents systèmes de production de micro-algues (systèmes ouverts de type bassin ou fermés comme les photobioréacteurs) ainsi que les différents paramètres de croissance de la spiruline. Ce modèle a été utilisé pour évaluer plusieurs scénarios selon les sources de carbone et de nutriments, les conditions de rayonnement solaire et les conditions de reprise de l'électricité produite dans les installations de méthanisation. Le critère principal fixé pour le dimensionnement d'une telle installation est son autonomie énergétique.

Les résultats des simulations montrent que les conditions de rayonnement solaire en Suisse ne permettent qu'une faible production de spiruline. Plus de 50 % de la chaleur excédentaire de l'instal-

lation CCF issue des gaz d'échappement pourraient être utilisés lors d'un couplage avec une production de spiruline. L'utilisation des gaz d'échappement de l'installation CCF comme source de carbone serait en principe possible. L'utilisation du digestat réduirait fortement la croissance des algues par rapport à l'approvisionnement externe en nutriments en raison des problèmes de pénétration de la lumière. Économiquement, le projet de couplage d'une installation de méthanisation avec une installation de production d'algues ne s'avérerait intéressant pour aucun des scénarios évalués

Nuria Montpart



Transects sur un périmètre de 100 m autour d'une éolienne dans la neige sur le site du Peuchapatte, le long desquels la recherche de victimes a été effectuée.

Installations éoliennes et migration des oiseaux

La protection des oiseaux est un argument souvent avancé contre le développement de l'énergie éolienne. Il est incontestable que les turbines éoliennes représentent un risque pour les oiseaux. Le taux effectif de mortalité est toutefois peu connu.

Selon les circonstances, les oiseaux migrateurs rencontrent de nombreuses éoliennes en migrant vers leur lieu d'hivernage ou de reproduction. Il est donc très important de connaître la corrélation entre l'intensité de la migration et le nombre d'oiseaux victimes des éo-

liennes, afin de prendre des mesures visant à réduire le nombre de victimes. Pourtant, il n'existe aucune étude qui enregistre, 24 heures sur 24, le nombre d'oiseaux migrant par un site et également le nombre d'oiseaux morts à cause des éoliennes sur ce site. Une étude scientifique réalisée sur trois

éoliennes du site du Peuchapatte dans le canton du Jura doit contribuer à améliorer les connaissances en la matière. La recherche des oiseaux victimes des éoliennes est complétée par des radars effectuant en permanence des mesures quantitatives pour déterminer l'intensité de la migration.



Un renard se déplace à la tombée de la nuit et de nuit sur le périmètre voisin d'une éolienne. Les photos proviennent d'un piège photographique.

La problématique de la recherche des cadavres au sol (oiseaux et chauves-souris) réside dans le fait qu'on ne retrouve pas toutes les victimes. D'une part, la probabilité de retrouver une victime dépend de la visibilité du terrain (hauteur et densité de la végétation), de la taille de l'animal, de l'intensité de la recherche et des capacités de la personne effectuant la recherche. D'autre part, un nombre inconnu de cadavres disparaît de manière naturelle (charognards, décomposition) en fonction de différents facteurs tels que la température et l'humidité. C'est pourquoi, dans les études du taux de mortalité, il faut aussi définir les probabilités de détection et le taux de disparition des oiseaux morts dans des conditions déterminées et les prendre en compte pour l'analyse. Ces informations complémentaires ne s'acquièrent que par des expériences systématiques, au cours desquelles les cadavres sont déposés de manière ciblée. Plus la probabilité de retrouver un cadav-

re est faible, plus l'imprécision est grande dans le calcul du taux effectif de mortalité.

Pour atteindre une probabilité maximale de découvrir les victimes des éoliennes, une fréquence élevée des recherches et un réseau dense ont été prévus sur le site du Peuchapatte. Entre mars 2015 et novembre 2015, chacune des trois éoliennes a été fouillée en moyenne tous les trois jours. La fouille s'est effectuée sur un périmètre de 50 m à 100 m le long de lignes parallèles à intervalle de 5 m. Durant cette période, plusieurs cadavres d'oiseaux et de campagnols (en remplacement des chauves-souris) ont été déposés toutes les deux semaines pour tester la durée pendant laquelle ils restaient sur place. Au cours de l'étude, des cadavres tests et des leurres de chauves-souris ont aussi été régulièrement déposés à l'insu des personnes chargées de la recherche, afin de déterminer l'efficacité de la re-

cherche. Quelques cadavres ont été placés dans la zone de surveillance de pièges photographiques, afin de déterminer qualitativement ce qu'il advient d'un cadavre sur place. Les données enregistrées sont en cours d'analyse et les résultats seront publiés prochainement sur le site www.recherche-energetique.ch.

Janine Aschwanden

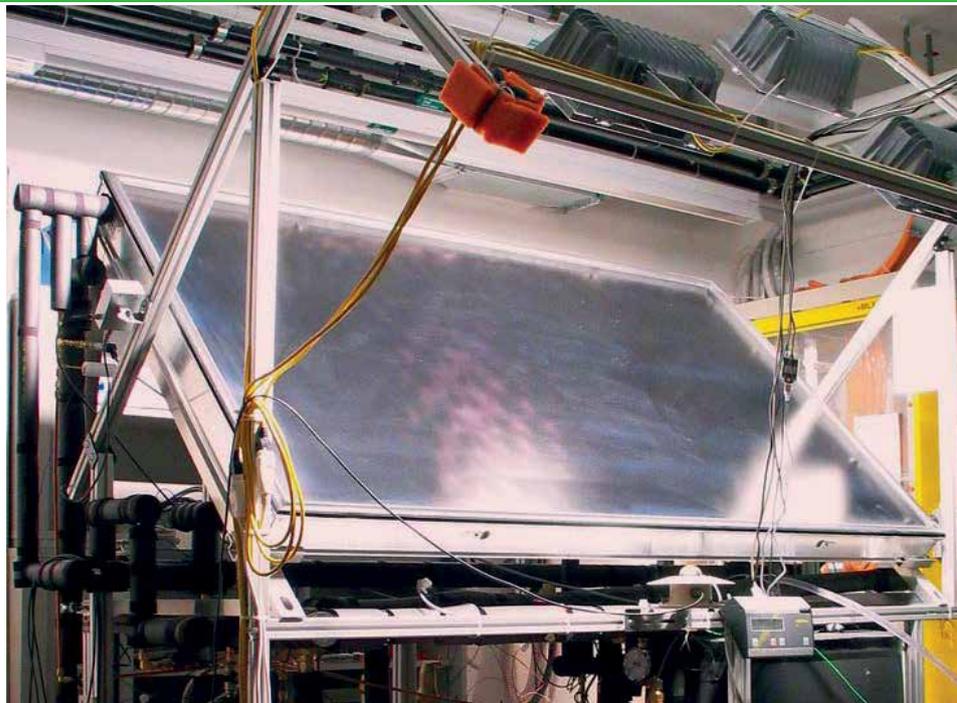


EN BFEF ...

Thermohydraulique des installations solaires

La modélisation et la simulation thermohydrauliques sont un facteur essentiel pour réduire les coûts du solaire thermique. Plusieurs méthodes et outils thermohydrauliques ont été développés dans le cadre d'une thèse de doctorat à l'EPFZ, puis repris dans un manuel. Ce dernier indique toutes les tâches de dimensionnement des installations, à l'exception du dimensionnement énergétique, pour lequel il existe déjà de très bons outils. Les conditions sont ainsi réunies pour éviter les coûts générés par des sinistres et des pannes et donc pour réduire les coûts de revient.

Andreas Eckmanns



L'EPF de Zurich a développé un nouveau procédé peu coûteux pour le dégazage solaire thermique de circuits hydrauliques et a déposé un brevet. La preuve de l'applicabilité est donnée par les expériences menées sur un banc d'essai conçu à cet effet.

Tests de laboratoire pour calculer la production de méthane industrielle

La pratique exige des méthodes rapides et peu onéreuses qui permettent d'estimer avec une précision adéquate la production énergétique des installa-

tions au biogaz et la rentabilité qui en découle. Pour ce faire, la production de méthane calculée sur la base des tests de laboratoire a été comparée avec la quantité effectivement mesurée dans des installations de méthanisation. Cette comparaison a montré que la production réelle de méthane était

très proche de la production calculée et qu'un facteur d'extrapolation de 0,9 pouvait être proposé. Il paraît dès lors judicieux d'estimer la production de méthane d'une installation au biogaz en réalisant des tests des différents substrats en laboratoire.

Sandra Hermlé

Installation de biogaz Biopower Nordwestschweiz AG à Pratteln (BL).





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 large

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.





Outil de communication et de planification pour les installations éoliennes

Pour mieux faire accepter les projets d'éoliennes par la population locale, il est important de l'informer en détail des conséquences sur l'environnement. A cet effet, un outil de démonstration a été développé dans le cadre d'un projet pilote pour simuler de manière réaliste les impressions visuelles et sonores produites par des installations éoliennes dans des paysages suisses représentatifs.

Pour illustrer les installations éoliennes, ce sont actuellement des visualisations statiques d'un projet de parc éolien spécifique et des cartes de bruit abstraites qui sont le plus souvent utilisées. Ces instruments ne permettent toutefois pas un rendu visuel et sonore satisfaisant des changements induits par un parc éolien. C'est pourquoi l'EPFZ et l'Empa ont élaboré un nouvel outil de simulation qui permet de voir, entendre et apprécier les paysages virtuels de l'énergie éolienne.

La simulation VisAsim comprend un paysage virtuel réaliste en 3D basé sur les données numériques de l'Office fédéral de topographie (swisstopo). Ce paysage virtuel est couplé avec les simulations acoustiques d'éoliennes. Ces simulations acoustiques tiennent non seulement compte du type d'éolienne, mais également du contexte paysager et de la situation météorologique. L'outil VisAsim a un énorme potentiel et permettra à la population de se faire une opinion ob-

jective des projets locaux lors de la planification d'installations éoliennes.

Les prototypes disponibles sont des simulations de parcs éoliens dans trois paysages suisses typiques. Un outil de démonstration a été élaboré dans un laboratoire visuel et acoustique mobile pour permettre au public le plus large possible de se représenter l'impact sonore et visuel d'un parc éolien.

L'outil de démonstration VisAsim a été présenté pour la première fois dans le cadre de l'exposition itinérante « L'énergie éolienne, naturellement ! » à la Foire d'automne de Thurgovie à Weinfelden (TG). Il s'est avéré être un support d'information intéressant pour la population. Les investisseurs et les autorités de planification y voient un énorme potentiel : les simulations permettront de soutenir les échanges avec la population au cours du processus de planification.

*Ulrike Wissen Hayek, Reto Pieren,
Adrienne Grêt-Regamey*



Les membres des conférences régionales visitent dans le cadre d'une formation le laboratoire souterrain du Mont Terri (St-Ursanne).

Sélection des sites susceptibles d'accueillir des dépôts en couches géologiques profondes

La procédure de sélection des sites aptes à accueillir en Suisse des dépôts en couches géologiques profondes menée par l'OFEN inclut une forme de participation dont l'ampleur et la conception sont uniques, non seulement au niveau national, mais aussi international : plus de 500 personnes participent au processus dans les six régions suisses retenues comme sites potentiels de stockage des déchets radioactifs. Ce processus de participation répond-il aux exigences posées? Quels sont ses points forts et ses points faibles?

Dans les six régions d'implantation potentielles, des organes de participation appelés conférences régionales ont été créés. Ils sont composés de représentants des communes et des organisations concernées ainsi que des habitants. Ces conférences intègrent les aspects régionaux dans la procédure de sélection.

En 2014, le projet « Politique participative de gestion des déchets » de l'Université de Berne a inauguré un nouveau volet de l'évaluation scientifique des conférences régionales. Ce projet analyse la mise en œuvre effective en cours de la participation régionale dans toutes les régions d'implantation. Les résultats doivent permettre à l'OFEN d'identifier les points faibles et les

points forts et d'améliorer les processus participatifs grâce à des recommandations pratiques. Une comparaison est en outre établie avec d'autres grands projets, afin que les expériences et les connaissances acquises puissent être utilisées à plus large échelle.

Les critères permettant d'évaluer la procédure de participation ont tout d'abord été fixés pour répondre aux questions posées. Outre les caractéristiques de procédé, la composition et les caractéristiques des personnes concernées, l'accès aux informations ou l'impact de la participation sont également pris en compte. Ensuite, l'analyse de la procédure actuelle de participation pour la sélection des sites susceptibles d'accueillir des dépôts en couches géologiques profondes

s'effectuera sur la base des critères fixés, d'une évaluation bibliographique, d'interviews et de sondages par écrit.

L'évaluation scientifique de la participation fait partie intégrante du programme de recherche « Déchets radioactifs » de l'OFEN. 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 de sujets dans les domaines des sciences humaines et sociales.

Annatina Foppa



Mieux comprendre les consommateurs en matière d'énergie

La décision de principe du Conseil fédéral et du Parlement de sortir progressivement du nucléaire nécessite une transformation par étapes du système énergétique suisse. La mise en œuvre de la stratégie énergétique prévoit une amélioration de l'efficacité énergétique et donc un changement de comportement des acteurs. Différentes études examinent la manière d'exploiter les potentiels encore inutilisés pour réduire la consommation individuelle d'énergie.

Pour concevoir et introduire des outils efficaces de politique énergétique, il importe de comprendre comment les consommateurs réagissent à une hausse de prix et comment agissent les mesures d'efficacité énergétique. Un projet de l'EPFZ a ainsi évalué l'élasticité-prix des consommateurs concernant le prix de l'électricité ainsi que les mesures d'efficacité énergétique des fournisseurs suisses d'électricité. Les estimations économétriques effectuées montrent qu'une politique des prix à court terme aurait un faible impact sur la demande d'électricité. Par contre, la sensibilité aux prix est plus élevée sur le long terme. Cela signifie que les ménages réagissent effectivement à long terme à une politique des prix. En ce qui concerne la consommation d'électricité des ménages, les analyses révèlent en outre un effet statistiquement important des mesures actuelles destinées à influencer la demande en Suisse. Dès lors, les programmes de gestion de la demande (demand

side management) apparaissent comme une option précieuse pour poursuivre les objectifs de la Stratégie énergétique 2050.

Les outils politiques visant à améliorer l'efficacité énergétique se focalisent souvent sur les hausses de prix. Ils peuvent s'avérer être un instrument précieux comme l'a également prouvé l'étude susmentionnée de l'EPFZ. Cependant, les ouvrages de psychologie et d'économie comportementales montrent que les décisions ne sont pas toujours basées sur des considérations rationnelles, mais qu'elles sont aussi influencées par différentes distorsions cognitives et affectives. L'effet de la comptabilité mentale (mental accounting) est un phénomène qui illustre les limites de la pensée rationnelle. Les consommateurs créent des liens symboliques entre la consommation de biens spécifiques et des dépenses spécifiques qui peuvent avoir une influence considérable sur leurs décisions.

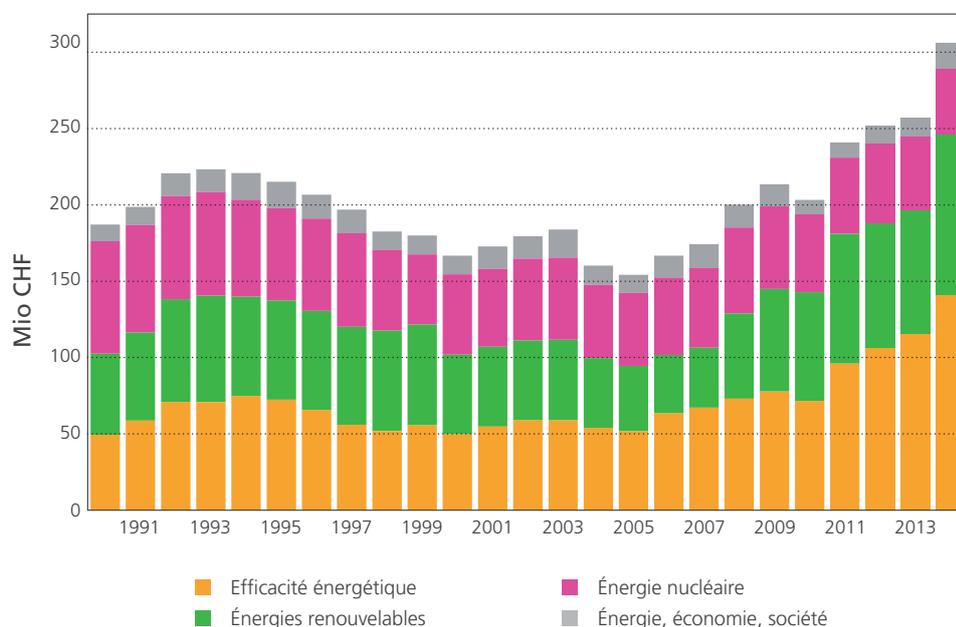
Actuellement, un projet commun des universités de Genève et de Saint-Gall s'occupe du concept de mental accounting dans le contexte des comportements se rapportant à l'environnement et à l'énergie. L'étude examine dans quelle mesure les mécanismes de la comptabilité mentale influencent les décisions en matière d'énergie. Il faut en particulier savoir si les gens appliquent également ces principes de comportement respectueux de l'environnement dans un contexte non financier. Finalement, le potentiel des mécanismes de mental accounting visant à encourager un comportement respectueux de l'environnement doit être quantifié. Cette étude s'achèvera fin 2017. Elle est censée contribuer grandement à une meilleure compréhension du comportement des consommateurs dans le domaine de l'énergie grâce à son approche pluridisciplinaire.

Anne-Kathrin Faust

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
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 %)
2014	158,0 (51,7 %)	17,8 (5,8 %)	38,4 (12,6 %)	34,2 (11,2 %)	2,3 (0,7 %)	5,3 (1,7 %)	22,0 (7,2 %)	21,3 (7,0 %)	6,4 (2,1 %)

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).



	2013	2014
Efficacité énergétique	115,7	140,8
Énergie dans les bâtiments	26,9	29,0
Transports	13,9	18,2
Accumulateurs & supercondensateurs	3,4	12,4
Technologies et utilisations de l'électricité	13,1	12,2
Réseaux	9,2	20,7
Couplage chaleur-force (CCF)	0,6	0,9
Piles à combustible	15,3	15,5
Combustion	18,2	10,8
Centrale thermique 2020 et CCS	4,3	10,5
Technologie des procédés	10,7	10,6
Énergies renouvelables	81,0	105,1
Énergie solaire	37,6	44,7
Chaleur solaire et stockage de chaleur	10,9	6,8
Photovoltaïque	21,4	30,2
Processus solaires à haute température	7,2	7,7
Hydrogène	12,2	15,4
Pompes à chaleur & froid	1,7	3,3
Biomasse & énergie du bois	12,7	16,7
Géothermie	9,6	11,5
Énergie éolienne	6,7	3,6
Force hydraulique	3,3	9,0
Barrages	0,6	0,7
Énergie nucléaire	48,0	43,5
Technique & sécurité nucléaires (Fission)	26,9	21,8
Sécurité nucléaire	12,6	7,5
Déchets radioactifs	3,4	3,7
Recherche prospective	10,9	10,6
Fusion nucléaire	23,4	21,7
Physique des plasmas, méthodes de chauffage	16,3	17,2
Technologies de la fusion	4,8	4,5
Thèmes transversaux	12,3	16,5
Énergie, économie, société (EES)	10,2	14,6
Transfert scientifique & technologique (TST)	1,8	1,3
Coordination de la recherche énergétique	0,3	0,6
Totaux	256,9	305,9

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.

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

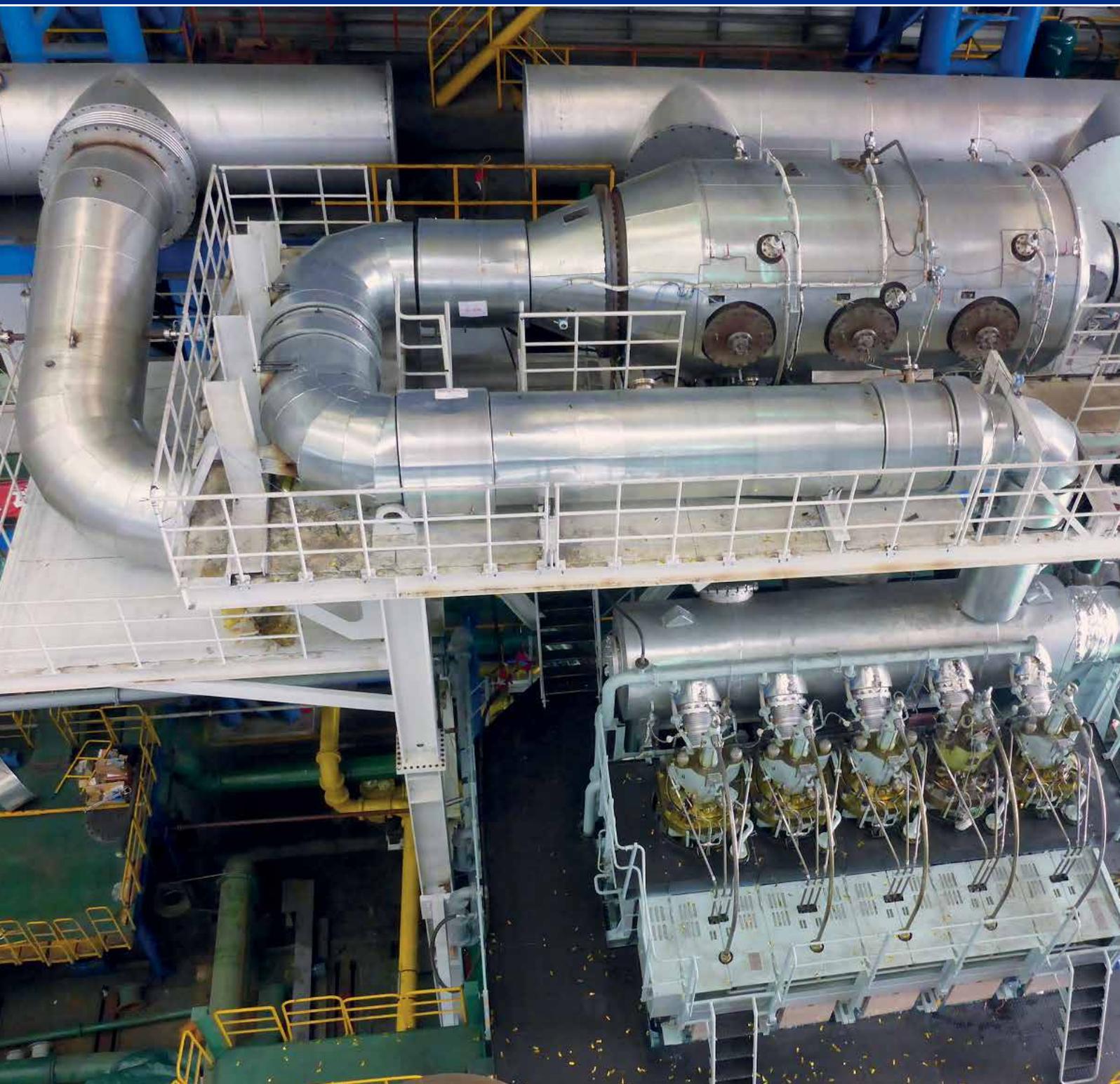
- page de titre Installation photovoltaïque (12,8 kW_p) intégré au toit du « Kohlesilo » à Bâle. Les modules monocristallins en couleurs différentes ont été développés par la société Swissinso SA en collaboration avec l'EPFL. Autres partenaires au projet : Kantensprung AG, in situ AG, Solvatec AG et OFEN (Prix solaire suisse 2015 www.solaragentur.ch).
- page 0 Capteurs à tubes sous vide haute performance avec une surface totale de 400 m² chez Zehnder Group Schweiz AG à Gränichen (AG) pour la production de la chaleur de processus (Zehnder Group Schweiz AG/HSR-SPF).
- page 2 Sphère de glace au « Swiss PV Module Test Center » à Lamone (TI) pour la simulation de grêle, avec une taille de grain allant jusqu'à 50 mm (Swiss PV Module Test Center/Renato Quadroni).
- page 5 Lago del Zött (armée suisse, forces aériennes).
- page 6,7 Boîtier de distribution avec module « GridEye » pour la commande active d'un réseau de distribution (DEPsys SA).
- page 8 Office fédéral de l'énergie OFEN.
- page 9 Haute École de Lucerne.
- page 10 Estia SA.
- page 11 Meyerhans Mühlen AG.
- page 12 Office fédéral de l'énergie OFEN.
- page 13 Solvatec AG (en haut), Tis Meyer / www.planepics.org (en bas).
- page 14,15 EPFL, Institute of Microengineering (IMT), Photovoltaics and Thin-Film Electronics Laboratory (<http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jpcclett.5b02686>).
- page 16 Office fédéral de l'énergie OFEN.
- page 17 ZHAW (Frank Brüderli).
- page 18 Office fédéral de l'énergie OFEN.
- page 19 NATURA biologie appliquée, Sàrl.
- page 20 Station ornithologique suisse, Sempach.
- page 21 EPF Zurich (en haut), Association Suisse de l'Industrie Gazière ASIG (en bas).
- page 22,23 Simulation « VisAsim » d'un parc éolien en montagne, EPF Zurich.
- page 24 Office fédéral de l'énergie OFEN.
- page 27 EPF Zurich, Institut für Verfahrenstechnik.
- page 29 Winterthur Gas & Diesel (WinGD).

Impressum :

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

« Pour Winterthur Gas & Diesel (WinGD), l'Office fédéral de l'énergie fournit une importante contribution à la recherche et au développement de technologies innovantes. Cette collaboration de longue date, couronnée de succès, permet à WinGD de se maintenir constamment au plus haut niveau de la recherche, notamment dans le domaine des carburants alternatifs et des systèmes de combustion respectueux de l'environnement, et de défendre durablement le site de Winterthur dans un environnement international exigeant. »

Dr. Sebastian Hensel,
General Manager Engine Performance, Winterthur Gas & Diesel AG



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

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