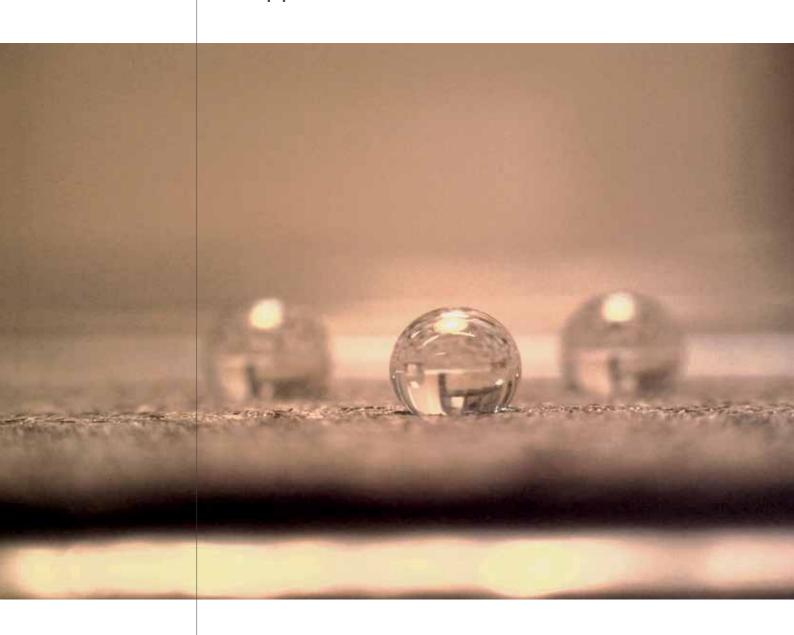


Office fédéral de l'énergie OFEN

# Recherche énergétique et innovation Rapport 2016







### Éditorial

La Suisse dispose aujourd'hui d'un approvisionnement énergétique sûr et avantageux. Les évolutions économiques et technologiques ainsi que les décisions politiques prises dans notre pays et à l'étranger entraînent des changements fondamentaux sur les marchés de l'énergie. Cette transformation du système énergétique suisse présente des défis majeurs. Un exemple en est l'approvisionnement en électricité qui est plus décentralisé et, partant, les besoins de flexibilité accrus dans le réseau électrique. En même temps, ce changement constitue une formidable opportunité pour le développement économique et l'innovation. Dans le contexte de la Stratégie énergétique 2050, la recherche dans le domaine de l'énergie s'est donc fortement intensifiée ces dernières années. 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 pour la promotion des projets pilotes et de démonstration et pour la promotion de l'innovation.

La présente brochure est consacrée à la promotion de la recherche et de l'innovation par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), une des principales institutions suisses d'encouragement dans le secteur de l'énergie depuis plusieurs décennies. Grâce aux programmes d'encouragement en faveur de la recherche appliquée, aux projets pilotes et de démonstration et aux projets phares, l'OFEN suit les innovations du laboratoire jusqu'à leur mise sur le marché et ambitionne de coordonner les différentes activités en Suisse. Les exemples présentés ici sont représentatifs d'une multitude de projets qui contribuent aux différents thèmes de la recherche énergétique.

Benoît Revaz Directeur OFEN

Couverture: Gouttes d'eau sur une couche de diffusion de gaz pour piles à combustible au cours d'une mesure d'angle de contact (Source: Instiut Paul Scherrer).

#### Sommaire

La promotion de la recherche et de l'innovation par l'OFEN	3
Recherche énergétique en Suisse	4

#### Efficacité énergétique

Piles à combustible « turbos »	. /
« Phasor Measurement Units » dans les réseaux de distribution	. 9
Véhicules utilitaires et machines de chantier alimentés par des batteries	11
Incorporation d'hydrogène dans les véhicules roulant au gaz naturel	13
« Performance Gap » dans l'assainissement des bâtiments	13
« Internet of Things » – une mise en réseau efficace	13

#### Énergie renouvelable

L'argent ne traîne pas dans les rues à Davos : exploitation de	
la chaleur du sous-sol pour le WEF	15
Intégration architecturale des installations solaires	17
Mesures d'adaptation au renforcement de la sédimentation	
des réservoirs lié au climat	19
Méthane issu de biomasse « complexe »	21
Ligne pilote pour des films solaires	21
Réacteurs à biogaz avec de meilleurs rendement	21

# Aspects socioéconomiques des technologies et systèmes énergétiques

Comprendre & influencer le comportement individuel en matière d'énergie.. 23

Faits et chiffres	26
Collaboration internationale	28

Éolienne de 2,3 MW dans le parc éolien « Peuchapatte » dans le Jura Suisse. La production annuelle de la ferme éolienne peut approvisionner environ 10 % des ménages du canton du Jura (source : www.suisse-eole.ch).



# La promotion de la recherche et de l'innovation par l'OFEN

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.

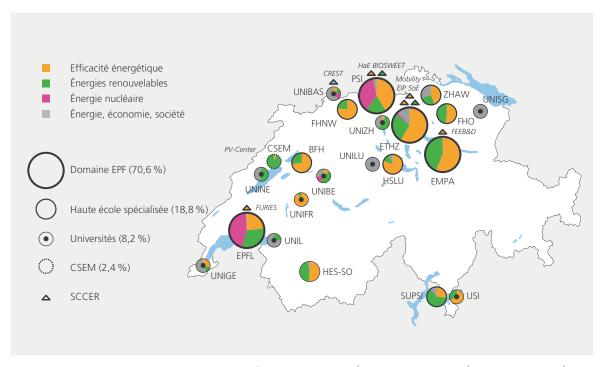
L'OFEN encourage et coordonne la recherche énergétique nationale et soutient le développement de nouveaux marchés pour un approvisionnement énergétique durable. Pour s'acquitter de cette tâche de coordination, I'OFEN investit ses moyens dans le développement ciblé de technologies et de concepts innovants selon une approche programmatique. Il intervient à titre subsidiaire là où des lacunes sont constatées dans le paysage de l'encouragement en Suisse. Les mandataires sont des particuliers, le domaine des Écoles 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 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.

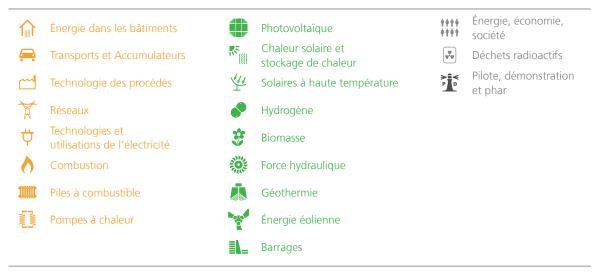


En étroite collaboration avec les principaux organismes d'encouragement publics compétitifs, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) soutient et coordonne la recherche et l'innovation dans le domaine énergétique sur une grande partie de la chaîne de création de valeur. Pour ce faire, l'OFEN poursuit une 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).

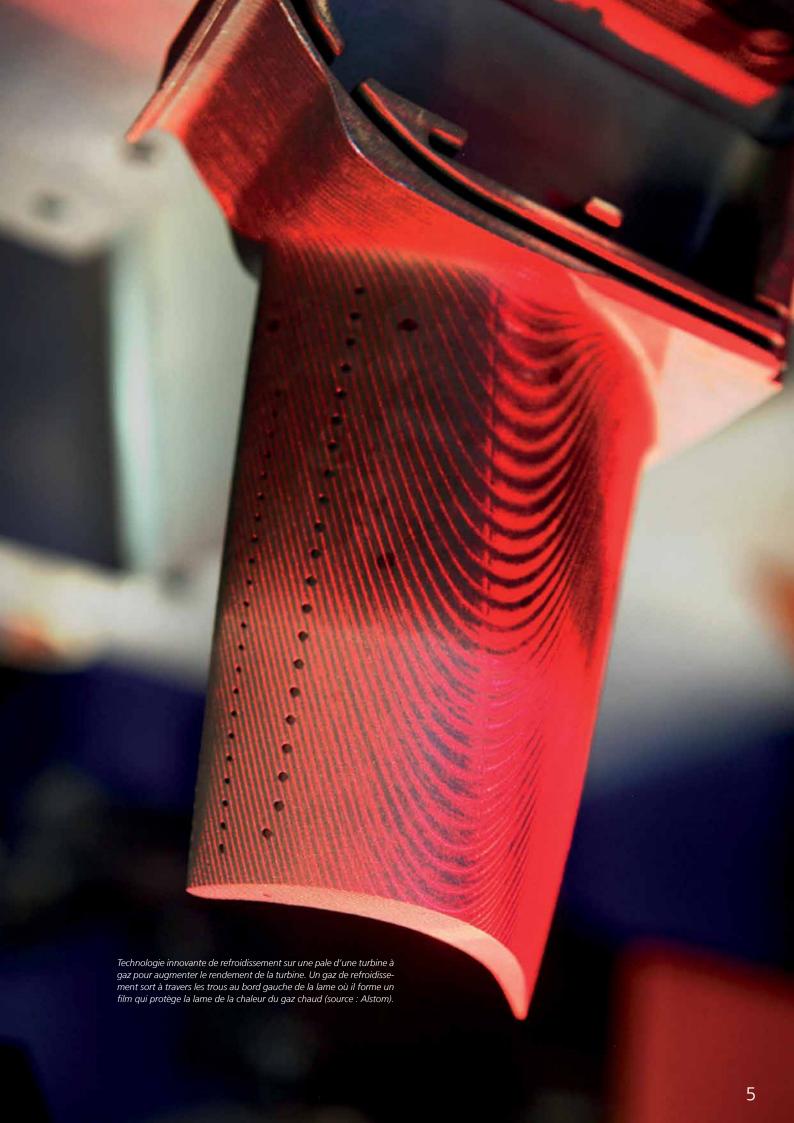
## Recherche énergétique en Suisse



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 2015). La plupart des activités de la recherche énergétique suisse est réalisée dans le domaine des EPF (EPF de Zurich et de Lausanne, Empa, PSI, IFAVPE et WSL) (70,6 %), suivi des hautes écoles spécialisées (18,8 %) et des universités cantonales (8,2 %). (CSEM = Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, SCCER = Swiss Competence Centre in Energy Research).



Programmes de recherche et programme pilote, de démonstration et programme phare de l'Office fédéral de l'énergie OFEN.























## 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.





#### Piles à combustible « turbos »

Les piles à combustible sont une technologie connue depuis le milieu du XVIIIe siècle. Malgré leurs énormes avantages écologiques, notamment par rapport aux chauffages ou aux moteurs à combustion, elles n'ont pas encore fait de percée. Ces dernières décennies, de nombreux projets de recherche ont été menés pour améliorer les performances, optimiser la durée de vie et réduire le prix des piles à combustible. Avec le niveau technique qui a été atteint, le problème principal ne réside pas dans la pile, mais dans l'infrastructure associée à l'hydrogène et l'alimentation en air comprimé. Un turbocompresseur de l'entreprise suisse Celeroton permet de remédier à ce dernier problème.

Dans les piles à combustible, l'oxygène et l'hydrogène sont directement transformés en énergie électrique et thermique, seule de la vapeur d'eau est produite sous forme d'effluent gazeux. L'hydrogène est mis à disposition dans des bouteilles de gaz, l'oxygène peut être tiré directement de l'air ambiant. Augmenter la pression de l'air ambiant permet d'améliorer considérablement la densité de puissance des piles à combustible. Ce principe est appliqué aux moteurs à combustion modernes dotés de turbocompresseurs. Pour les piles à combustible en particulier avec des puissances de quelques centaines de kilowatts, le débit massique des gaz d'échappement est trop faible pour faire fonctionner un turbocompresseur traditionnel. Un compresseur électrique doit assumer cette fonction. Cela induit a contrario que la puissance requise pour le compresseur n'est pas disponible comme puissance propulsive. La conséquence logique est que la puissance absorbée du compresseur doit être la plus faible possible en cas de débit maximal – c'est-à-dire qu'il faut atteindre la plus grande efficacité possible du système de compression.

En sus d'un rendement élevé, les turbocompresseurs comportent d'autres avantages : au contraire des compresseurs volumétriques, où un piston effectue un mouvement cyclique de haut en bas, les turbocompresseurs fournissent de l'air comprimé sans pulsation de façon continue, ce qui réduit la charge mécanique des membranes où a lieu la transformation en énergie et augmente ainsi la durée de vie. Le fonctionnement sans huile garantit en outre que les membranes ne sont pas chargées de polluants. De plus, les turbocompresseurs fonctionnent presque sans vibrations et sont donc silencieux.

L'entreprise suisse Celeroton (www. celeroton.com), un spin-off de l'EPF de Zurich, a battu des records ces

 ${\it Impulseur\ d'un\ compresseur\ centrifuge\ (source: Celeroton\ AG)}.$ 



Turbocompresseur radial, électrique et très compact de l'entreprise suisse Celeroton. Ces compresseurs, uniques au monde dans leur catégorie de poids et de puissance en termes de pression de sortie et d'efficacité, sont particulièrement adaptés à une utilisation en rapport avec des piles à combustible et ont été testés avec succès dans des applications mobiles (source : Celeroton AG).

dernières années avec un moteur électrique d'un million de tours/minute et montré ce qui est possible d'un point de vue technologique avec des régimes très élevés. Le réglage sans capteurs est un point important : en renonçant aux capteurs de vitesse, la conception d'un compresseur est plus compacte et en même temps plus robuste.

Le palier à gaz conçu par Celeroton constitue un autre élément important du développement de ce compresseur. Il est auto-alimenté, c'està-dire qu'il n'a pas besoin d'air comprimé extérieur pour le stockage. L'avantage par rapport au palier à billes réside dans le fonctionnement sans contact. Tandis que le palier à billes cède rapidement au-delà d'un million de tours/minute, le palier à gaz ne craint presque pas l'usure.

Un dernier point important de ce développement technologique est le compresseur proprement dit, le « turbo ». On entend par là la partie du compresseur chargée de la mise sous pression. Cette technologie n'est pas nouvelle sur le fond, elle est notamment connue pour les turbocompresseurs, les moteurs

aéronautiques ou les compacteurs haute performance dans les installations industrielles. Seuls des régimes très élevés permettent une miniaturisation de ces composants et, ainsi, de l'ensemble du système de compression.

L'interaction de ces trois aspects et la compréhension générique du système permettent des turbocompresseurs miniatures avec une efficacité maximale et, pour les applications dans des piles à combustible, des durées de vie suffisamment élevées. Ce qui fait penser dans un premier temps à une mise au point linéaire du produit n'est en réalité possible qu'à travers un savoir-faire interdisciplinaire en matière d'aérodynamique, de palier à gaz et magnétique, de mécanique, d'électromagnétique, d'électronique, de technique de régulation et de logiciel.

Les nouveaux turbocompresseurs avec palier à gaz ont déjà rencontré un écho très positif sur le marché. Le développement d'autres turbocompresseurs plus performants est prévu ces prochaines années. Le développement d'un compresseur de pile à combustible de 10 kW et de l'élec-

tronique correspondante a ainsi été lancé en janvier 2017 dans le cadre d'un projet européen.

Le palier à gaz et l'aérodynamique peuvent être adaptés à d'autres milieux gazeux que l'air, comme par exemple les fluides frigorigènes dans les pompes à chaleur. Ce faisant, le fluide frigorigène est utilisé aussi bien pour le refroidissement du compresseur que pour le palier à gaz. Cela permet un design très compact qui réunit de la même facon les avantages connus d'une absence d'huile et d'une efficacité élevée. L'huile en particulier peut faire mousser les fluides frigorigènes, ce qui se répercute négativement sur le transfert de chaleur et, ainsi, sur l'efficacité du système.

Dans les véhicules hybrides et électriques, les besoins en énergie du système de chauffage et de refroidissement ont des conséquences importantes pour l'autonomie. Des turbocompresseurs à haut régime permettent ici des pompes à chaleur plus petites et efficaces qui peuvent être utilisées pour le chauffage et la climatisation.

Patrik Fröhlich (Celeroton AG)



Convertisseur 125-kV et poste de transformation à Sébeillon des Services Industriels de Lausanne (source : Services Industriels de Lausanne)

# « Phasor Measurement Units » dans les réseaux de distribution

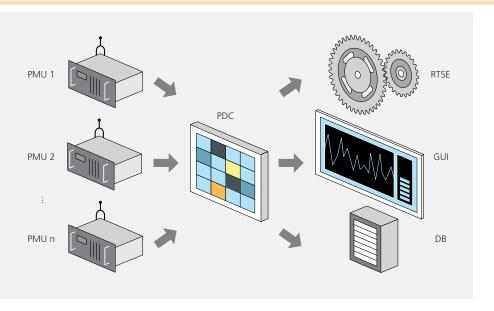
L'injection fluctuante et décentralisée des énergies renouvelables pose des exigences accrues à l'exploitation des réseaux électriques. Pour pouvoir la maintenir en tout temps à un niveau stable et dans ses limites d'exploitation, il est nécessaire de la surveiller. À cette fin, des synchrophaseurs seront aussi utilisés dans les réseaux de distribution.

Le système électrique du futur est marqué par un grand nombre de producteurs décentralisés qui injectent directement l'électricité issue de sources renouvelables telles que le photovoltaïque, l'éolien et la biomasse dans les réseaux de distribution. En général, ces injections présentent des caractéristiques très fluctuantes, déterminées en premier lieu par les conditions météorologiques locales. Mais en même temps, injection et soutirage doivent toujours être maintenus en équilibre. Si le flux d'énergie passait jadis presque exclusivement des niveaux de réseau supérieurs aux niveaux inférieurs, c'est de moins en moins le cas. Pourtant, les tensions doivent se situer à tout moment et en tout lieu dans la bande de tolérance et les limites thermiques des lignes électriques doivent être prises en compte.

Pour identifier, analyser et corriger à temps les variations de tension et de fréquence ainsi que les phénomènes d'oscillation, les systèmes Wide Area Monitoring & Control (WAMC) sont utilisés depuis plusieurs années dans les réseaux de transport. Un synchrophaseur (Phasor Measurement Unit ou PMU) mesure en règle générale 50 fois par seconde les amplitudes de la tension et du courant de manière synchronisée. Il est es-

sentiel que plusieurs PMU analysent la phase par rapport à une référence commune, le temps universel coordonné (UTC). Les données horodatées sont transmises par le biais d'un Phasor Data Concentrator à un ordinateur central ultrarapide qui détermine l'état du réseau en quasi temps réel (RTSE).

En principe, le même procédé peut aussi être utilisé dans les réseaux de distribution. Un problème essentiel réside en revanche dans la précision de mesure des PMU disponibles dans le commerce : en raison des longueurs de ligne plus courtes, les plus petits angles de phase ne peuvent



Les différents synchrophaseurs (Phasor Measurement Units ou PMU) dans le réseau de distribution électrique transmettent leurs informations à un point central (Phasor Data Concentrator ou PDC) qui détermine l'état du réseau en quasi temps réel (RTSE), présente la situation actuelle du système (GUI = Graphical User Interface) et sauvegarde le statut du système dans une banque de données (BD).

plus être mesurés avec une précision suffisante. Le Laboratoire des systèmes électriques distribués (DESL) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a développé le premier prototype de PMU qui répond à la nouvelle norme IEEE « C37.118-2011» et convient aussi à une utilisation dans les réseaux de distribution. Le réseau à moyenne tension du campus de l'EPFL a été équipé de cinq de ces nouveaux PMU. Ce projet de recherche a pu démontrer avec succès que l'état du réseau est fiable et peut être déterminé en quasi temps réel.

À l'aide des PMU, il est non seulement possible de surveiller l'état du réseau. Les données permettent par exemple aussi de déterminer les pertes de puissance active, les flux de puissance réactive ou les paramètres de ligne. On peut en outre estimer les valeurs de mesure lacunaires et déterminer les points de défaillance. Pour pouvoir développer et vérifier ces applications dans des conditions réelles, les lignes du réseau à haute tension 125 kV des Services industriels de Lausanne (SiL) ont été équipées de quinze PMU dans le cadre d'un projet pilote de l'OFEN. Le Phasor Data Concentrator (PDC) correspondant se trouve dans le centre d'exploitation de Pierre-de-Plan et est alimenté en données de mesure par le réseau interne de fibre optique. Des évaluations ont révélé que le temps de latence est inférieur à trois millisecondes et que les données peuvent être transmises de manière fiable, c'est-à-dire sans pertes. Compte tenu des résultats positifs, il est prévu d'intégrer la détermination de l'état du réseau dans la prochaine génération de systèmes de contrôle et d'équiper par ailleurs des parties du réseau à moyenne tension de PMU pour en optimiser l'exploitation. Il est même imaginable que des PMU puissent remplacer les dispositifs de sécurité traditionnels dans quelques années.

Pour que cela soit possible, les PMU doivent fonctionner de façon absolument fiable et fournir des données suffisamment précises. Les oscillations harmoniques et interharmoniques, provoquées par exemple par l'électronique de divertissement ou les onduleurs photovoltaïques, peuvent nuire à leur fonctionnement. Partant, l'Institut fédéral de métrologie (METAS) a développé

et construit un site de mesure pour contrôler et calibrer les PMU selon la nouvelle norme IEEE dans le cadre d'un projet européen.

Etant donné le grand nombre de PMU requis dans un réseau à moyenne tension, les coûts des récepteurs GPS et des télécommunications constituent un obstacle important à la réalisation. Le « Competence Center Innovation in Intelligent Multimedia Sensor Networks » de la Haute école de Lucerne est spécialisé dans la communication extrêmement fiable en temps réel par le biais des lignes sous tension, appelée Power Line Communication (PLC). Plusieurs projets de recherche de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) et de l'OFEN étudient actuellement les possibilités de synchroniser les PMU par le biais des PLC avec une grande précision et examinent si la technologie convient le cas échéant à l'ensemble de la transmission de données au Phasor Data Concentrator central. La réussite d'un tel recours aux PLC permettrait d'éliminer un autre facteur de coûts important

Michael Moser



De nouveaux camions électriques de 26 tonnes avant le montage de la structure pour le ramassage des ordures. La grande batterie est stockée entre les essieux (source : Designwerk).

# Véhicules utilitaires et machines de chantier alimentés par des batteries

Les camions et les machines de chantier sont aujourd'hui presque tous équipés de puissants moteurs diesel, dont les désavantages sont notamment les émissions sonores et polluantes, comme chacun sait. Ces moteurs à combustion sont en outre largement inefficaces car dans la pratique, ils fonctionnent le plus souvent en charge partielle. L'électrification de tels véhicules présente des avantages à plusieurs égards. La mise en œuvre technique pose néanmoins de grands défis aux concepteurs.

De nos jours, les émissions sonores ou polluantes sont encore omniprésentes sur les chantiers et dans la circulation routière. En sus des effets nocifs des gaz d'échappement, le bruit entraîne toujours davantage de problèmes. Dans de nombreuses grandes villes par exemple, la charge importante de trafic ne permet le ramassage des ordures et le nettoyage des routes que la nuit. La problématique du bruit s'aggrave ainsi, ce qui entraîne des restrictions d'exploita-

tion des machines de chantier et des véhicules utilitaires dans le domaine public. Des véhicules électriques permettent en revanche une exploitation peu sonore et presque sans émissions, de même que des économies d'énergie substantielles en raison de la propulsion efficace et de la possibilité de récupérer l'énergie de freinage. Depuis quelques années, il y a ainsi davantage d'études sur l'électrification des véhicules utilitaires lourds et des machines.

De tels projets portent essentiellement sur le développement de nouvelles batteries et la conception de systèmes de commande pour tenir compte des exigences techniques posées aux véhicules utilitaires. Les batteries doivent être à la fois performantes et avoir de grandes capacités de stockage. En même temps, elles doivent être toujours plus légères, avantageuses et durables pour que les véhicules et machines électriques puissent constituer à l'avenir une al-



Prototype d'une pelle mécanique électrique utilisée sur un chantier. La batterie, qui remplace ainsi une partie du contrepoids, se situe dans la superstructure à l'arrière (source: SUNCAR HK AG).

ternative économique aux véhicules et machines à propulsion thermique. La durée de vie reste l'une des principales inconnues de cette nouvelle technologie et fait l'objet d'études approfondies dans le cadre de projets pilotes et de démonstration.

Depuis 2016, des prototypes de pelles mécaniques électriques sont par exemple à l'essai sur des chantiers suisses. Les premières expériences pratiques montrent que la pelle mécanique de seize tonnes avec une capacité de batterie de 170 kWh peut être utilisée pendant près de six heures. Il s'agit d'augmenter encore cette durée par le biais d'optimisations techniques. Par rapport à une pelle mécanique qui fonctionne au diesel, il faut 60 % d'énergie en moins et les nuisances sonores sont réduites de dix décibels. Les ouvriers sur les chantiers sont en même temps protégés contre des gaz d'échappement nocifs. Si la pelle mécanique utilise de l'électricité d'origine renouvelable, il est en outre possible d'économiser plusieurs tonnes de CO2 tout au long de sa durée de vie.

On espère aussi de tels avantages, de même qu'une meilleure rentabilité du fait des faibles coûts d'entretien et d'exploitation, de l'essai d'un camion poubelle électrique. Après de bonnes expériences avec des camions électriques de 18 tonnes développés en Suisse, celui-ci doit marquer le début de l'électrification des véhicules les plus lourds. L'utilisation pour le ramassage des ordures, avec des arrêts et départs répétitifs et une part importante d'exploitation en charge partielle, offre des possibilités idéales pour expérimenter un camion de 26 tonnes avec une autonomie allant jusqu'à 300 kilomètres. On en espère des économies d'énergie jusqu'à 70 % par rapport à un véhicule traditionnel, qui consomme jusqu'à 100 litres de diesel aux 100 kilomètres en fonction de l'exploitation. Outre les aspects techniques, il s'agit aussi d'étudier l'acceptation de tels véhicules dans les communes, chez les conducteurs et les habitants.

Avec une capacité de stockage de 270 kWh, la nouvelle batterie conçue pour le camion poubelle compte actuellement parmi les plus grandes de Suisse. Un autre consortium industriel procède déjà au développement d'un système de batterie encore plus grand d'une capacité de 600 kWh, qui est prévu pour l'exploitation d'un tombereau d'un poids total de plus de 50 tonnes. Les enseignements tirés de ces projets pilotes et de démonstration pourront s'appliquer à de nombreuses autres utilisations concernant les véhicules et les machines et contribuent ainsi à l'électrification de la mobilité et de l'industrie.

Men Wirz



















#### en bref ...



Banc à rouleaux avec un véhicule au gaz naturel enrichi d'hydrogène (source : Empa).

#### Incorporation d'hydrogène dans les véhicules roulant au gaz naturel

Des travaux de recherche actuels de l'Empa étudient le potentiel prometteur de l'incorporation d'hydrogène dans le gaz naturel (CNG = compressed natural gas) comme carburant pour les véhicules. Plusieurs cycles d'essai ont été menés sur le banc à rouleaux, qui comprennent aussi des phases d'accélération et un fonctionnement à grande vitesse. Ils ont permis de démontrer une économie d'énergie de 2 % par rapport à un fonctionnement CNG pur. Les émissions d'hydrocarbures peuvent être réduites de 30 à 60 %. Les pics d'émission d'oxydes d'azote qui surviennent lors des changements de charge dans le catalyseur peuvent être presque entièrement éliminés. Stephan Renz

# « Performance Gap » dans l'assainissement des bâtiments

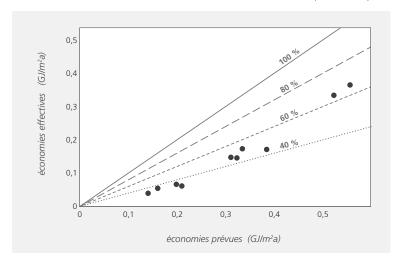
Les planificateurs justifient notamment les projets d'assainissement des bâtiments par des économies d'énergie. Dans la pratique, on constate malheureusement que les économies promises ne peuvent être que partiellement atteintes. Un projet de recherche de l'Université de Genève a systématiquement étudié ces dernières années la consommation d'énergie calorifique avant et après d'importants assainissements de bâtiments. Il s'est concentré sur dix grands immeubles locatifs de la région genevoise et a constaté que seuls 30 à 70 % des économies escomptées étaient effectivement réalisés. Les raisons de ces écarts (Performance Gap) sont multiples et analysées en détail à l'heure actuelle. Rolf Moser

# « Internet of Things » – mise en réseau efficace

Les systèmes de pilotage et de contrôle basés sur Internet s'imposent dans notre quotidien. Les technologies qualifiées d'Internet des objets (Internet of Things, IoT) pourvoient au confort et contribuent souvent à une utilisation économe de l'énergie. De l'autre côté, il y a les besoins en énergie des appareils IoT. Selon les prévisions de la Haute école de Lucerne, rien que le mode veille de ces appareils représentera jusqu'en 2025 des besoins énergétiques annuels de 46 TWh à l'échelle mondiale. La domotique y contribue le plus, où les besoins en énergie sont notamment déterminés par la technologie de la communication utilisée et son mode de fonctionnement. Le bon choix pour une utilisation particulière permet des économies d'énergie substantielles.

Roland Brüniger

Économies de chauffage pour dix grands immeubles locatifs à Genève, comparées avec la prévision théorique. L'écart par rapport à la valeur cible (« Performance Gap ») oscille entre 30 et 70 % (source : EPFL).





















## Énergie renouvelable

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 entier. En re-

vanche, 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.





# L'argent ne traîne pas dans les rues à Davos : exploitation de la chaleur du sous-sol pour le WEF

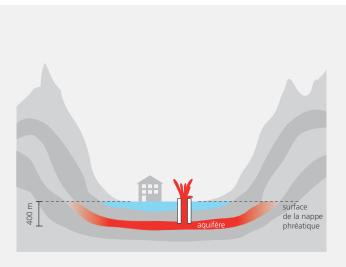
Davos, réputée pour ses domaines skiables et son World Economic Forum (WEF) annuel, a une facette moins connue, celle de pionnière dans le domaine de la géothermie. En effet, le projet GNAMA (Grundlagen der geothermalen Nutzung alpiner mitteltiefer Aquifere\* ou bases de l'utilisation géothermique de l'aquifère alpin de profondeur moyenne) y prend corps depuis 2012. Il vise à démontrer que même dans les hautes vallées alpines, les ressources géothermiques peuvent être intégrées dans un système énergétique. Concrètement, le Palais des congrès, y compris la piscine et le centre de bien-être qu'il héberge, est à la fois alimenté par les rejets de chaleur de la patinoire et par la chaleur issue d'un aquifère géothermique.

En tant que « Cité de l'énergie »\*\*, la commune de Davos s'efforce de trouver de nouvelles solutions pour consommer moins de gaz et de mazout pour chauffer ses bâtiments. Plusieurs études montrent que cette ville alpine dispose d'un soussol de grande valeur d'un point de vue énergétique. Aussi était-il logique d'exploiter ces ressources et de lancer un projet visant à alimenter le Palais des congrès et la piscine couverte avec un mélange de rejets

de chaleur résultant de la réfrigération de la patinoire et de chaleur issue d'un aquifère géothermique. Le projet de géothermie correspondant, GNAMA (Grundlagen der geothermalen Nutzung alpiner mitteltiefer Aquifere ou bases de l'utilisation géothermique de l'aquifère alpin de profondeur moyenne), a débuté en 2012. Il s'agissait d'exploiter énergétiquement la couche de roche aquifère située à près de 400 mètres de profondeur dans les Domètres de profondeur dans les Domètres de profondeur dans les des de contract de

- \* Aquifer = formation géologique poreuse pour stocker de grandes quantités d'eau.
- \*\* Le label Cité de l'énergie apporte la preuve pour les communes qu'elles mènent activement une politique énergétique durable (www.energiestadt.ch/fr).

Centre de congrès à Davos (source : World Economic Forum/photo Andy Mettler).





Un aquifère peu profond peut servir de source de chaleur géothermique à Davos (à gauche). Vue sur la tête du forage d'une profondeur de 400 mètres (à droite) (source: Commune de Davos).

lomites d'Arosa. Dans cette couche, l'eau est sous pression artésienne, si bien qu'elle jaillit spontanément à la surface dès que la roche est percée.

Comme un forage d'exploration a révélé que la température de l'eau dans l'aquifère ne dépasse pas 11 ou 12 °C, il s'est avéré nécessaire de conduire l'eau par le biais de la pompe à chaleur utilisée pour les rejets de chaleur de la patinoire afin de pouvoir fournir au Palais des congrès et à la piscine couverte la bonne température. À l'heure actuelle, l'énergie issue de l'aquifère géothermique n'est utilisée que si les compresseurs de réfrigération de la patinoire ne produisent pas de rejets de chaleur, c'est-à-dire s'ils ne sont pas en exploitation.

Jusqu'en septembre 2016, le débit naturel de l'aquifère atteignait 1 240 l/min. Ce flux était trop faible en termes de pression pour extraire l'eau par une conduite d'une longueur de 260 mètres et un échangeur de chaleur pour les eaux souterraines. C'est pourquoi une pompe à eau a été installée dans le forage exploratoire à l'automne 2016. Elle est en exploitation depuis, avec de brèves interruptions, et fournit à la fois de la chaleur et des données intéressantes dans le cadre du projet GNAMA.

L'installation de la pompe était exigeante aussi bien sur le plan technique que scientifique. Il a ainsi fallu clarifier à quelle profondeur la pompe devait être montée. Elle doit constamment rester dans la couche aquifère, d'une part, et il vaut mieux qu'elle ne soit pas utilisée à une trop grande profondeur, d'autre part. De plus, on ne connaissait pas le débit optimal pour disposer de données utiles au projet GNAMA, qui devait permettre par la suite une évaluation de l'aquifère en vue d'une intensification de l'exploitation. Enfin, il n'était pas certain qu'il y ait un risque de court-circuit ou de mélange entre des aquifères voisins.

De premières réponses ont pu être apportées à ces questions grâce à de nombreuses mesures de la commune de Davos en collaboration avec la société Geotest et sur la base de travaux de modélisation de l'Université de Bâle, ce qui a permis d'identifier un débit idéal de 2 000 l/min.

Actuellement, près de 24 % de la chaleur du Palais des congrès et de la piscine couverte sont fournis par les rejets de chaleur et la géothermie grâce à ces mesures d'optimisation, avec un relèvement artificiel du débit naturel. D'autres études doivent démontrer si ce débit peut être encore augmenté et quelle en serait l'influence sur l'aquifère et le sous-sol.

Céline Weber, Gunter Siddiqi et Gian-Paul Calonder (Commune de Davos)



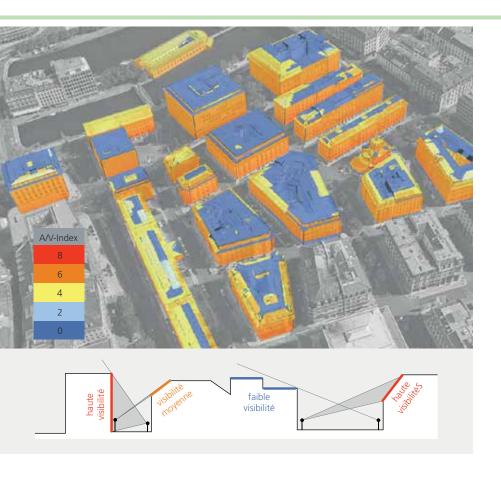
Installation solaire intégrée dans la maison autonome à Brütten (source : Schweizer Solarpreis 2016, www.solaragentur.ch).

## Intégration architecturale des installations solaires

Quand il en va de l'esthétique, les avis sont partagés concernant les installations solaires. Un outil permettant une appréciation objective rencontre un succès international. Les installations solaires sur les bâtiments revêtent une importance cruciale en Suisse – en comparaison avec d'autres pays. De telles installations sont néanmoins souvent à la croisée des intérêts de préservation de la culture architecturale (protection des monuments) et du recours accru aux énergies renouvelables.

La loi révisée sur l'aménagement du territoire comprend les bases nécessaires pour que des installations solaires « suffisamment adaptées » aux toits puissent être montées sans permis de construire. Les installations doivent être « soigneusement intégrées » et « ne pas porter atteinte à un bien culturel ou un site naturel d'importance ». Des incertitudes subsistent quant à la mise en œuvre de telles prescriptions.

La qualité architecturale se décrit de manière générale en termes d'utilité, de stabilité et de beauté. L'utilité ne se limite plus, pour les installations solaires intégrées aux bâtiments, à la fonction de protection



Présentation de l'évaluation des surfaces des bâtiments pour une utilisation solaire avec l'outil « QSV-Crossmapping » de l'EPFL. AIV Index (Ambient/Visibility index) de 0 = visibilité basse dans un environnement insensible (p. ex. quartier industriel) à 8 = haute visibilité dans un environnement sensible (p. ex. centre historique) (source : EPFL).

de l'environnement, mais porte aussi sur la production d'énergie. Contrairement aux exigences de construction, la question de la beauté n'est pas facile à cerner pour de nombreux techniciens - mais aussi pour les autorités. L'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a élaboré un catalogue de critères objectivement évaluables pour les installations solaires et leur intégration dans l'architecture. La « méthode QSV » (QSV = qualité, site, visibilité) permet d'examiner systématiquement, dans un processus en trois étapes, si une installation solaire ou une installation solaire thermique est soigneusement intégrée dans l'architecture.

Sur cette base, l'EPFL a développé un logiciel qui permet aux autorités, aux

maîtres d'ouvrage et aux architectes d'appliquer facilement la méthode qui comprend trois parties : QSV-Acceptability aide les communes à définir et à évaluer les exigences dans un contexte sociopolitique. QSV-Grid visualise les conséquences des différentes décisions pour l'environnement urbain. QSV-Crossmapping permet enfin de cartographier la sensibilité architecturale des zones d'habitation pour une planification solaire proactive et de la comparer avec les cartes de rayonnement solaire.

La même thématique est abordée par le projet Solar Energy in Urban Planning (IEA-SHC, Task 51), lancé dans le cadre de la coopération avec l'Agence internationale de l'énergie. Le projet vise à soutenir les urbanistes, les autorités et les architectes en matière d'intégration architecturale des installations solaires dans l'environnement bâti et, ainsi, à offrir aux villes une part élevée de renouvelable dans l'approvisionnement en énergie. La « méthode QSV » a été présentée dans ce projet international comme contribution suisse et a servi d'outil commun à tous les pays participants. Elle a aussi intégré la formation dans plusieurs universités et la formation professionnelle continue. En novembre 2016, les chercheurs suisses impliqués ont été récompensés pour leurs travaux par le prix suédois de l'innovation « Innovator of the Year Award ».

Andreas Eckmanns



Débit riche en matières en suspension dans la centrale hydraulique de Fieschertal (source : EPFZ).

## Mesures d'adaptation au renforcement de la sédimentation des réservoirs lié au climat

Suite au recul des glaciers et au déplacement de la limite inférieure du pergélisol dans les bassins versants alpins, le dépôt de sédiments facilement érodables dans les eaux, les captages d'eau et les réservoirs augmente. Il s'ensuit d'une part une réduction du volume de stockage, qui est important pour une exploitation flexible, d'autre part un dépôt accru de matières en suspension dans les eaux turbinées. Les ouvrages et les composants de machines sont ainsi exposés à une plus grande usure. Les Alpes sont relativement stables d'un point de vue géologique et les taux de sédimentation tendent à augmenter, mais ils évoluent à un niveau encore faible en comparaison internationale. Globalement, il y a chaque année plus d'espace de stockage perdu en raison de la sédimentation que d'espace construit, même si la construction de nouvelles installations hydroélectriques progresse fortement à l'échelle mondiale.

Dans le cadre d'un projet de recherche, l'EPFZ et la Haute école de Lucerne étudient, de concert avec les exploitants d'installations hydroélectriques, la formation de la sédimentation des réservoirs et les possibilités de l'éviter, de même que la limitation de ses conséquences négatives. Il existe plusieurs possibilités de ralentir la sédimentation des réservoirs ou d'inverser le processus pour les réservoirs comblés de sédiments. Des galeries de déviation pour matériaux de charriage, comme par exemple celle mise en service en 2012 au barrage de Solis dans les Grisons, sont ouvertes en cas de crue avec un trans-

port de sédiments important. Elles font passer la crue à fort charriage le long du réservoir et rejettent directement l'eau, les matériaux de charriage et les matières en suspension dans le lit du cours d'eau en aval du barrage. Elles contribuent donc aussi à la perméabilité des sédiments, pour laquelle la loi révisée sur la pro-



Plaques du géophone à la sortie de la galerie de déviation de Solis : les plaques de métal, équipées de capteurs acoustiques qui mesurent les secousses dues au choc des particules, servent à quantifier le transport de sédiments (source : EPFZ).

tection des eaux exige la restauration à moyen terme. Plusieurs projets de recherche en cours étudient le mode de fonctionnement et l'efficacité de telles galeries à partir de l'exemple de Solis. Les quantités de sédiments effectivement transportés sont mesurées à l'aide de géophones, des plaques de métal au fond de la galerie qui sont équipées de capteurs mesurant les secousses dues au choc des particules. Pour quantifier le rapport entre les signaux et le transport de sédiments, il est nécessaire de procéder à des étalonnages comparatifs en laboratoire et dans la nature. Un autre projet étudie, à l'aide de scanners laser aériens, comment la morphologie du lit du cours d'eau en aval du barrage évolue à la suite du passage des masses charriées et se rapproche de nouveau d'un état plus naturel.

Comme il n'y a à ce jour que très peu de galeries de déviation pour matériaux de charriage dans le monde, des purges de barrage sont effectuées en lieu et place dans bon nombre de cas et il faudra envisager davantage de dragages. Étant donné que la majeure partie des dépôts se compose de particules très fines, il est question d'évacuer ces matières en suspension avec l'eau turbinée avant qu'elles ne se déposent. Pour les installations à haute pression sans réservoir, une partie des matières en suspension est séparée grâce à un dessableur ou une grille « Coanda ». Les particules restantes sont ici aussi évacuées par les turbines. Elles peuvent toutefois y provoquer des dommages considérables par abrasion. Ces dommages, en particulier sur les augets des roues des turbines Pelton, entraînent une baisse du rendement de la turbine et nécessitent des mesures de réparation régulières et très coûteuses tandis que les centrales sont en partie à l'arrêt. Plusieurs études en cours depuis des années examinent le rapport entre la concentration de particules, leur

taille et la progression des dommages par abrasion. Les dommages augmentent de manière disproportionnée à partir de certaines concentrations de particules, aussi est-il nécessaire de mesurer aussi bien les concentrations de particules que leur taille en temps réel et de les comparer avec les dommages aux turbines et les pertes de rendement. Les mesures en temps réel et la corrélation des deux processus permettent de définir pour la première fois des stratégies quant au moment à partir duquel il est économiquement avantageux d'arrêter les turbines, parce que les pertes financières à la suite de dommages par abrasion sont plus importantes que les coûts liés à l'interruption de la production. S'agissant des mesures en temps réel des matières en suspension dans l'eau turbinée, cinq procédés de mesure sont utilisés en parallèle dans la centrale de Fieschertal, où se déroulent les analyses.

Klaus Jorde



















#### en bref ...

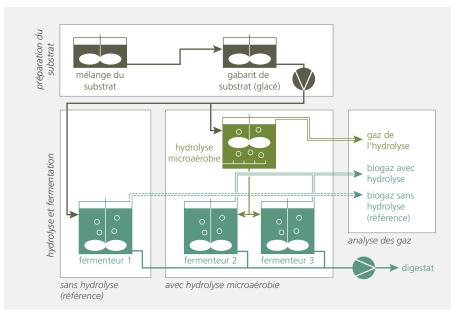
# Méthane issu de biomasse « complexe »

Une fermentation en deux temps à l'échelle pilote à la ZHAW doit permettre d'augmenter de manière significative la production de méthane (plus 20 %) issu de biomasse riche en fibres et difficilement dégradable (p. ex. fumier, lisier, résidus de récolte etc.). Grâce au procédé de prétraitement biologique de l'hydrolyse micro-aérobie, de faibles quantités d'oxygène s'ajoutent dans l'étape d'hydrolyse préalable pour décomposer, en formant des produits intermédiaires facilement dégradables (acides organiques, alcools faibles et esters), des substances organiques (cellulose, hémicellulose, lignocellulose) qui sont difficilement accessibles à la microflore anaérobie.

# Réacteurs à biogaz avec de meilleurs rendement

Sandra Hermle

Un catalyseur de sorption autorégénérant permet de transformer en méthane l'excédent de dioxyde de carbone (CO2) produit lors de la fermentation anaérobie avec 25 à 45 % vol. (« mise à niveau du biogaz »). Ce dioxyde de carbone avec



Installation pilote pour récupérer de la biomasse riche en fibres et difficilement dégradable.

de l'hydrogène supplémentaire est intégralement transformé en méthane pur à 100 %. Un catalyseur adsorbant au nickel absorbe l'eau qui résulte de la méthanisation de l'hydrogène et du CO2 et empêche la formation de produits secondaires indésirables. En même temps, le catalyseur se régénère de façon autonome de la pollution au souffre qui pourrait adsorber sur le catalyseur et le détériorer.

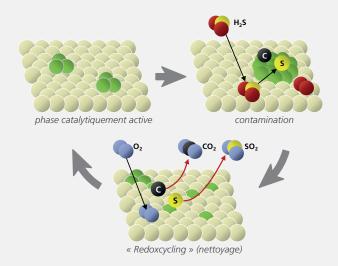
Sandra Hermle

# Ligne pilote pour des films solaires

L'entreprise suisse Flisom a mis en exploitation une ligne de production pilote pour des modules photovoltaïques flexibles en couches minces. Actuellement, la technologie est appliquée à une échelle industrielle sur cette installation d'une capacité de production de 15 mégawatts, dans le but de fabriquer de premiers modules solaires conformes aux normes et de favoriser ainsi la commercialisation de cette technologie.

Stefan Oberholzer

Auto-régénération microstructurelle et catalytique à travers une activation réversible et la réinsertion du nickel et des métaux précieux (source : ZHAW). Ligne de production pilote pour des modules photovoltaïques en couches minces CIGS qui sont produits sur des substrats flexibles dans un procédé de bobine à bobine (source : Flisom).





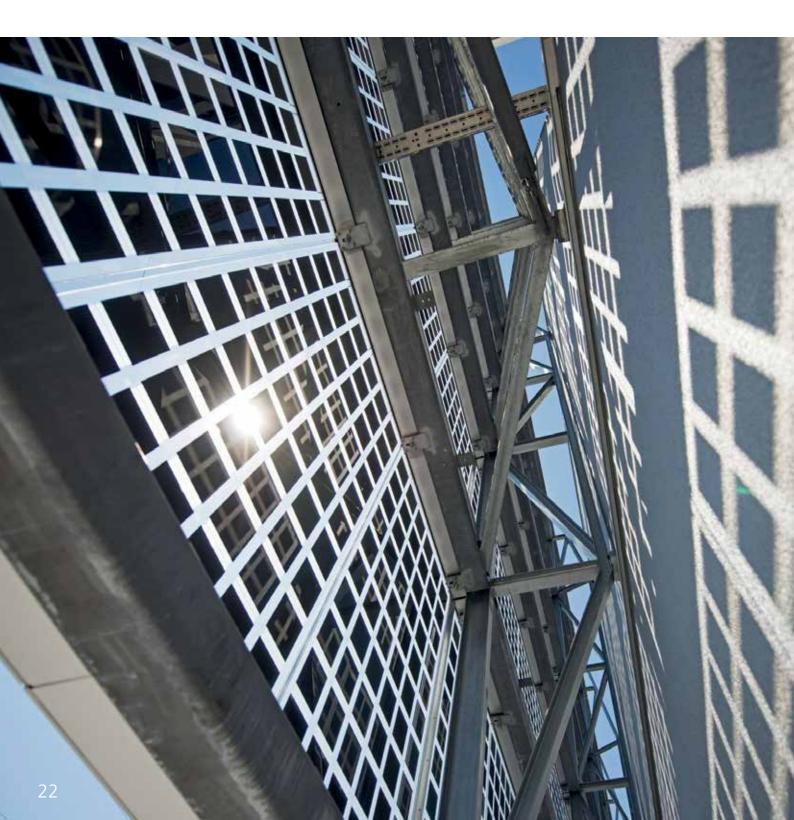




# Aspects socioéconomiques des technologies et systèmes énergétiques

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 2016, une large palette de pro-

jets 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.





# Comprendre et influencer le comportement individuel en matière d'énergie

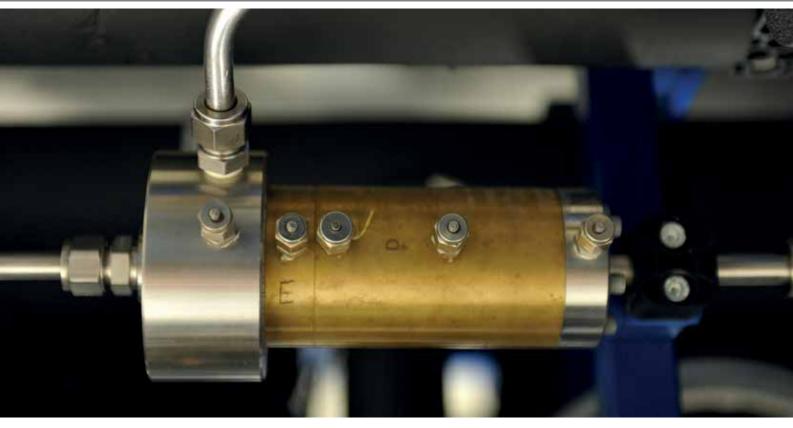
La décision de principe du Conseil fédéral et du Parlement d'abandonner progressivement l'énergie nucléaire nécessite une transformation successive du système énergétique suisse. La mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 va de pair avec une amélioration de l'efficacité énergétique et un changement de comportement des acteurs. Plusieurs études menées dans le cadre du programme de recherche FEE examinent la question de la valorisation des potentiels inexploités de réduction de la consommation d'énergie individuelle.

L'information à l'achat de nouveaux appareils est essentielle pour améliorer l'efficacité énergétique des logements. Le but est de permettre aux consommateurs une décision d'achat rationnelle et efficace. Il s'agit notamment de réduire le retard en matière d'efficacité énergétique, qui se fait jour lorsque le consommateur, à l'achat, ne choisit pas, entre des appareils équivalents, le plus efficace énergétiquement, alors qu'il implique seulement des coûts minimes tout au long de sa durée de vie. Une équipe de chercheurs de l'EPF de Zurich a examiné le type d'informations dont les consommateurs ont besoin à l'achat et les connaissances préalables nécessaires pour les comprendre cor-

rectement. Elle a pu démontrer que la probabilité de choisir l'appareil le plus économique augmente quand l'indication porte sur les coûts énergétiques annuels en francs, et non sur la consommation d'énergie annuelle en kWh. La probabilité du « bon » choix est aussi plus élevée chez les consommateurs avant des compétences pour calculer la valeur de l'investissement. L'étude met non seulement en évidence l'importance des connaissances préalables des acheteurs, mais aussi l'importance d'une bonne présentation des informations relatives à la consommation d'énergie.

À l'heure actuelle, les consommateurs sont surtout informés sur l'ef-

Façade photovoltaïque au CSEM basée à Neuchâtel avec des cellules solaires bifaciales (copyright : CSEM/David Marchon).



Dans les entrepôts frigorifiques et chambres froides des systèmes de réfrigération de CO<sub>2</sub> sont fréquemment utilisés. Bien que ces systèmes utilisent un réfrigérant respectueux de l'environnement, ils fonctionnent à des pressions très élevées. En conséquence les pertes d'énergie par la vanne de détente dans le circuit de réfrigérant sont relativement grandes. Une approche prometteuse pour éviter de telles pertes est l'incorporation d'un « éjecteur » (image), un dispositif relativement simple, qui agit comme une pompe, mais sans pièces mobiles (source : Frigo-Consulting AG).

ficacité énergétique par le biais de l'étiquette-énergie. Une expérience de terrain menée par l'EPFZ a examiné l'influence de deux étiquettesénergie différentes sur les achats en ligne d'appareils ménagers et de téléviseurs. Elle a révélé qu'aussi bien l'étiquette-énergie de l'UE qu'une nouvelle étiquette-énergie avec des informations monétaires et relevant du cycle de vie sur la consommation d'électricité peuvent, à certaines conditions, faire baisser la consommation électrique annuelle des appareils achetés. Pour les appareils générant des coûts d'électricité élevés, de telles informations sur les étiquettes-énergie semblent particulièrement prometteuses.

Malgré l'utilité de l'étiquette-énergie de l'UE, des malentendus persistent : nombre de consommateurs croient par exemple que les appareils électriques sont peu gourmands en énergie sur la base de l'efficacité énergétique et négligent la consommation d'électricité effective. Ils présument que l'efficacité énergétique s'assimile à la consommation d'électricité et qu'une efficacité élevée implique automatiquement une faible consommation d'électricité. Cette fausse conclusion est problématique, car elle peut notamment conduire au choix d'un plus grand appareil en raison d'une bonne notation ou à son utilisation plus fréquente. L'étude a par ailleurs démontré que

de nombreux consommateurs ont du mal à interpréter correctement les informations sur l'énergie. Il est par conséquent difficile pour eux d'identifier l'appareil le moins énergivore entre plusieurs possibilités. Les auteurs de telles études recommandent ainsi de mieux adapter les informations énergétiques aux compétences des consommateurs, en particulier s'agissant de l'information numérique sur la consommation annuelle. En outre, l'utilisation d'une échelle absolue peut être recommandée pour la notation de l'efficacité énergétique, ce qui atténuerait cette problématique.

Anne-Kathrin Faust

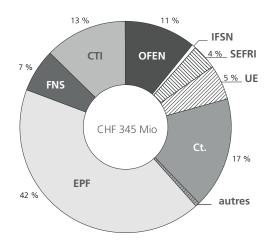


#### Faits et chiffres

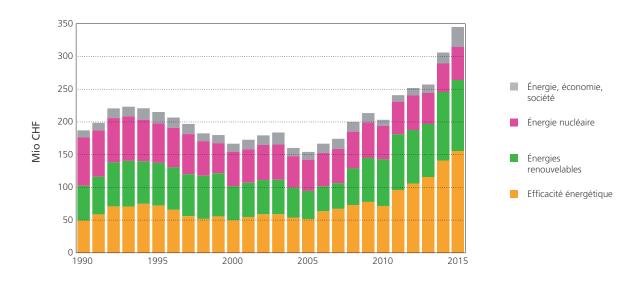
Depuis 1977, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) enregistre les dépenses des collectivités publiques pour les projets de recherche ainsi que les projets pilotes et de démonstration dans le secteur de l'énergie. L'enquête est réalisée à l'aide de requêtes dans les bases de données de

la Confédération, du Fonds national suisse (FNS) et da l'Union européenne (UE), à l'aide d'interrogation de rapports annuels et de rapports d'affaires, ainsi d'une auto-déclaration des responsables de recherche dans les centres de recherche. Le classement thématique et l'examen final

des projets s'effectue par l'OFEN. Chaque année, environ 1 400 projets sont enregistrés, examinés et évalués statistiquement. Un aperçu des données saisies est publié sous www.recherche-energetique.ch.



Provenance des fonds publics en millions de francs pour les projets de recherche et de développement ainsi que les projets pilotes et de démonstration en 2015. (EPF = domaine EPF : EPF Zurique, 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; Ct. = cantons).



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.

Dépenses des collectivités publiques en 2015 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.

1 Energy Efficiency	94.4
11 Industry	17.7
12 Residential and commercial buildings, appliances and equipment	25.3
13 Transport	40.1
14 Other energy efficiency	11.0
19 Unallocated energy efficiency	0.3
2 Fossil Fuels : Oil, Gas and Coal	13.2
21 Oil and gas	7.0
23 CO <sub>2</sub> capture and storage	6.2
29 Unallocated fossil fuels	0.1
3 Renewable Energy	92.3
31 Solar energy	45.9
311 Solar heating and cooling	5.0
312 Solar photovoltaics	32.2
313 Solar thermal power and high-temp. applications	6.4
319 Unallocated solar energy	2.2
32 Wind energy	1.9
34 Biofuels (incl. liquid biofuels, solid biofuels and biogases)	17.7
35 Geothermal energy	14.1
36 Hydroelectricity	12.5
39 Unallocated renewable energy sources	0.2
4 Nuclear Fission and Fusion	51.2
41 Nuclear fission	25.6
42 Nuclear fusion	24.3
49 Unallocated nuclear fission and fusion	1.2
5 Hydrogen and Fuel Cells	27.9
51 Hydrogen	11.3
52 Fuel cells	6.4
59 Unallocated hydrogen and fuel cells	10.2
6 Other Power and Storage Technologies	39.6
61 Electric power generation	7.6
62 Electricity transmission and distribution	23.3
63 Energy storage (non-transport applications)	8.7
631 Electrical storage	4.5
632 Thermal energy storage	2.3
639 Unallocated energy storage	1.9
7 Other Cross-Cutting Technologies and Research	26.5
71 Energy system analysis	24.9
72 Basic energy research that cannot be allocated to a specific category	1.0
73 Other	0.6
Total	345.1



#### 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 par-

ticipe 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



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

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