



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

La recherche énergétique relevant des pouvoirs publics en Suisse



Sommaire

Editorial	2
Interview de Tony Kaiser, Président de CORE	3
La recherche énergétique publique contribue au développement durable	5

Utilisation rationnelle de l'énergie

Penser à tout en concevant un procédé	9
Bâtiments: de moins en moins d'énergie et pourtant toujours plus de confort	10
Des véhicules plus efficaces, plus légers et plus intelligents	12
Accumulateurs: améliorer le stockage de l'énergie grâce aux accumulateurs	13
Electricité: en quête de plus d'efficacité et de technologies novatrices	14
Réseaux électriques: souplesse, fiabilité et rentabilité	15
Produire ensemble électricité et chaleur	16
Combustion: sur la trace des flammes	18
Centrale thermique: de grandes installations à améliorer	19
Piles à combustible: des développements suisses pour une technologie européenne clé	20

Sources d'énergie renouvelables

Profiter davantage de la chaleur du soleil	21
L'énergie photovoltaïque entre dans l'ère industrielle	22
Utilisation de l'énergie solaire à haute température	24
Hydrogène: être visionnaire pour progresser	25
Pompes à chaleur et froid: conversion optimale de l'énergie	26
Aménagements hydroélectriques: petits, décentralisés – et en harmonie avec l'environnement	27
Biomasse: combustion, gazéification, fermentation	28
Géothermie: chaleur et électricité des profondeurs	30
Energie éolienne: le vent en poupe pour le savoir-faire suisse	31

Energie nucléaire

Fission nucléaire: de nouveaux concepts de réacteurs	32
Fusion nucléaire: des jalons pour la mise en œuvre d'un potentiel considérable	34

Domaines transversaux

Les conditions-cadres d'un approvisionnement énergétique durable	36
Processus novateurs de longue haleine	38
Collaboration internationale	40

Adresses	41
----------	----

Editorial



Chère lectrice, cher lecteur,

La recherche énergétique est un élément incontournable de toute politique énergétique et climatique tournée vers l'avenir. Pour mettre en place un approvisionnement énergétique sûr, efficace, économique et compatible avec les impératifs de la protection de l'environnement, il faut en tout premier lieu faire des recherches de haut niveau et d'excellente qualité. Les avantages que procure une recherche énergétique performante coulent de source : une telle recherche crée des emplois, l'innovation technique améliore l'efficacité énergétique et le recours accru aux sources d'énergie renouvelables ménage les ressources naturelles. De plus, en exportant des technologies énergétiques et environnementales, la Suisse – haut lieu de la recherche et du savoir – contribue à détendre la situation sur le front du changement climatique mondial.

La mise au point de technologies énergétiques nouvelles s'étend souvent sur plusieurs décennies. Les travaux de recherche demandent du temps, beaucoup de temps, sont coûteux et comportent souvent des risques élevés. C'est précisément pour cela que la recherche énergétique a besoin d'un financement public suffisant. De cette manière, les risques financiers des projets sont moindres et les projets sont stimulés de manière significative et efficace à long terme. On est ainsi assuré de pouvoir réaliser les activités nécessaires au maintien de la place technologique suisse et à l'approvisionnement énergétique du futur.

La recherche énergétique est l'objet de nombreuses discussions et publications. Pourtant, la manière dont elle est organisée, les champs d'activité qu'elle couvre et les prestations des chercheurs sont peu connus. La présente brochure devrait contribuer à donner une image plus complète de la recherche énergétique suisse.

Walter Steinmann

Directeur de l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Impressum

Brochure sur la recherche énergétique relevant des pouvoirs publics en Suisse. Printemps 2011.
Parution en allemand, français, italien et anglais.
Copyright © Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, Suisse. Tous droits réservés.

Edition et production

Office fédéral de l'énergie OFEN, 3003 Berne, Suisse.
Tél.: 031 322 56 11, fax: 031 323 25 00
contact@bfe.admin.ch
www.bfe.admin.ch

Rédaction

Office fédéral de l'énergie OFEN ;
Almut Bonhage, Bonhage PR; Philippe Gagnebin ;
Jürg Wellstein, Wellstein Kommunikation.

Traduction

Suter Consulting

Concept graphique et mise en page

Agence Symbol, 1763 Granges-Paccot

Source des illustrations

Couverture: OFEN

p. 2: OFEN; p. 3: Alstom Schweiz AG; p. 5-7: OFEN;
p. 9: Encontrol GmbH, Niederrohrdorf; p. 10-11:
Mark Zimmermann, Empa; p. 12: ETH Zürich; p. 13:
Mes Dea; p. 14: Lonza AG; p. 15: ETH Zürich; p. 17:
Liebherr, Bulle; p. 18: Wärtsilä Schweiz AG; p. 19:
Alstom Schweiz AG; p. 20: PSI; p. 21: Hochschule für
Technik Rapperswil; p. 22-23: VHF-Technologies SA,
Yverdon-les-Bains; p. 24: Airlight Energy SA; p. 25:
EMPA; p. 26: Jürg Wellstein; p. 27: Blue-Water-
Power AG, Schafisheim; p. 28: Holzverstromung
Nidwalden Korporation Stans; p. 29: PSI; p. 30: Geo-
power Basel AG; p. 31: Meteoswiss; p. 33: ETHZ/PSI;
p. 34: www.iter.org; p. 36-37: OFEN; p. 38: Institut
de Microtechnique, Neuchâtel; p. 40: OFEN.

« Pour bien définir les objectifs, il nous faut une vision »

Tony Kaiser, président de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), est convaincu de l'excellence de la qualité de la recherche énergétique en Suisse. Les thèmes qu'elle aborde sont de plus en plus marqués par les objectifs de la politique énergétique et climatique, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les défis sont considérables. Il faut donc une politique énergétique axée sur le long terme, avec un budget de recherche correspondant.

Tony Kaiser

Tony Kaiser est titulaire d'un doctorat en chimie physique de l'Université de Zurich. Actuellement, il est responsable de la recherche à long terme dans le domaine des centrales électriques (Director « Future Technologies ») chez Alstom Suisse SA. Membre de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) depuis 2002, il en est le président depuis le début de 2004.

Tony Kaiser, pourquoi la recherche énergétique est-elle si importante pour la Suisse ?

Il y a à cela deux raisons essentielles. D'une part, la recherche énergétique a pour but de mettre au point les technologies dont nous avons besoin pour assurer notre approvisionnement en énergie de manière durable sur la base de sources d'énergie aussi diversifiées que possible. D'autre part, elle représente un facteur important pour notre économie, en particulier en ce qui concerne les exportations et l'emploi. Grâce à nos compétences techniques étendues, nous pouvons créer des produits qui s'imposent sur le marché mondial. Au moment de définir les orientations de la recherche énergétique suisse, il faut tenir compte de cette plus-value économique apportée par les technologies durables.

En quoi consiste la tâche de la CORE ?

Elle consiste principalement à conseiller le Conseil fédéral et le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) pour ce qui concerne la recherche énergétique de la Confédération. Cette tâche est définie par un mandat que la Confédération a octroyé à la CORE lors de sa fondation, en 1986. Ses quinze membres représentent l'industrie, l'économie énergétique, les Hautes écoles et divers organismes s'occupant de l'encouragement de la recherche énergétique en Suisse. Tous les quatre ans, la CORE élabore et met à jour le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, en collaboration avec l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Elle y formule ses recommandations en matière de recherche énergétique en Suisse. Il va de soi que la CORE tient compte des propositions des experts, notamment de celles des chefs des programmes de recherche de l'OFEN.

En tant que président de la CORE, comment voyez-vous la politique énergétique suisse ?

Pour ce qui est de la révision de la loi sur le CO₂, la politique énergétique suisse s'aligne de plus en plus sur les objectifs discutés en Europe et dans le monde. Ces objectifs découlent des résultats de la recherche climatique et de la volonté de limiter le réchauffement global à 2,5 voire 2 °C. Ils soulignent le fait que la Suisse aussi doit contribuer à l'indispensable réduction draconienne des émissions de gaz à effet de serre, en particulier de CO₂, dans le monde entier. Pour y parvenir, il faut absolument améliorer considérablement l'efficacité de tous les procédés de transformation de l'énergie et celle de tous les services énergétiques. Et il faut réduire fortement la consommation des énergies fossiles et tirer profit de toutes les possibilités offertes par les sources d'énergie renouvelables et les technologies pauvres en CO₂. Des visions à long terme comme la « Société à 2000 watts » ou « 1 tonne de CO₂ par personne et par année » sont très utiles lors de la définition des orientations. Elles indiquent clairement que des corrections importantes doivent être apportées à la stratégie et que les modifications « cosmétiques » ne suffisent donc pas.

Quelle peut être la contribution de la CORE ?

Dès le *Plan directeur 2008 – 2011* qui a vu le jour il y a environ trois ans, nous avons fixé quatre ob-

CORE

La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) a été créée en 1986 par le Conseil fédéral. C'est un organe consultatif du Conseil fédéral et du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). Tous les quatre ans, elle élabore le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, que les organes de la Confédération en charge de l'encouragement de la recherche utilisent comme instrument de planification. Ce plan indique aux pouvoirs publics suisses comment organiser la recherche énergétique et quels moyens lui consacrer pour atteindre les objectifs de la politique énergétique. En outre, la CORE contrôle et suit les programmes de la recherche énergétique suisse. La commission compte quinze membres.

www.recherche-energetique.ch

jectifs intermédiaires à réaliser d'ici 2050 qui reflètent tout à fait la politique énergétique que je viens de décrire: renoncer aux énergies fossiles pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, réduire de moitié les besoins en énergie de tous les bâtiments en Suisse, utiliser toutes les potentialités de la biomasse et ramener la consommation moyenne de carburant des voitures de tourisme à seulement 3 litres aux 100 km. Nous avons ainsi fixé des priorités claires et nous nous sommes concentrés sur les deux domaines les plus importants: le bâtiment et la mobilité. Ces objectifs ont été délibérément choisis pour leur côté très pragmatique et concret. Les atteindre d'ici 2050 réduirait les émissions de CO₂ de moitié, ce qui nous rapprocherait beaucoup des objectifs en matière de CO₂ dont on discute aujourd'hui.

Le bâtiment est un domaine qui consomme beaucoup d'énergie, mais dans lequel la recherche énergétique a aussi rencontré beaucoup de succès. Quelle sera la suite ?

En effet, des résultats remarquables ont déjà été obtenus dans ce domaine. Mais la recherche continue, de la maison «à énergie zéro» au bâtiment qui produit davantage d'électricité qu'il n'en consomme, en passant par la «maison sans CO₂». Aujourd'hui, les chercheurs planchent activement sur des concepts architecturaux utilisant l'énergie solaire et une isolation thermique très poussée, ainsi que des vitrages d'une transparence déterminée. Je n'oublie pas les systèmes novateurs de chauffage et de refroidissement, les concepts de standardisation de la rénovation énergétique des bâtiments... Et si nous pensons au photovoltaïque intégré au bâtiment, il ne manque plus qu'un petit pas pour arriver au «Smart Grid», le réseau «intelligent» de distribution de l'électricité qui prend déjà forme dans les laboratoires de recherche.

Depuis peu, les climatologues affirment que le réchauffement global est irréversible, bien qu'il puisse encore être stabilisé à l'aide de mesures draconiennes. Allez-vous tenir compte de ces affirmations dans le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013 – 2016 ?

Les connaissances acquises récemment en climatologie vont certainement être intégrées à notre prochain plan directeur. Par là, nous voulons souligner le fait que de nouvelles technologies énergétiques doivent pouvoir offrir des services énergétiques efficaces et pauvres en

CO₂. Nous allons aussi essayer de formuler de manière encore plus claire que jusqu'ici les thèmes de recherche prioritaires, notamment «L'habitat du futur» et «La mobilité de l'avenir»; car nous voulons favoriser le regroupement de divers programmes en vue des applications et inciter les chercheurs à collaborer de manière plus suivie. Cette nouvelle structure doit aussi faciliter la définition des priorités attribuées aux différents sujets de recherche à la lumière des objectifs supérieurs, ce qui permettra une certaine concentration des moyens disponibles.

La CORE étant composée de quinze membres d'origines totalement différentes, n'est-il pas difficile de s'entendre sur un plan directeur cohérent en matière de recherche énergétique ?

D'une part, les membres de la CORE sont des spécialistes reconnus du domaine de l'énergie, qui recherchent constamment des arguments de première qualité sans faire de politique. D'autre part, les discussions au sein de la CORE sont toujours très constructives. Ceci nous permet d'élaborer un *Plan directeur de la recherche énergétique* qui prenne en considération les intérêts de tous les milieux concernés. Enfin, les conférences de la recherche énergétique sont une plate-forme de discussion idéale, jouissant d'une large assise, sur la base de laquelle la formulation définitive des plans directeurs est entérinée à chaque fois.

La recherche énergétique publique contribue au développement durable

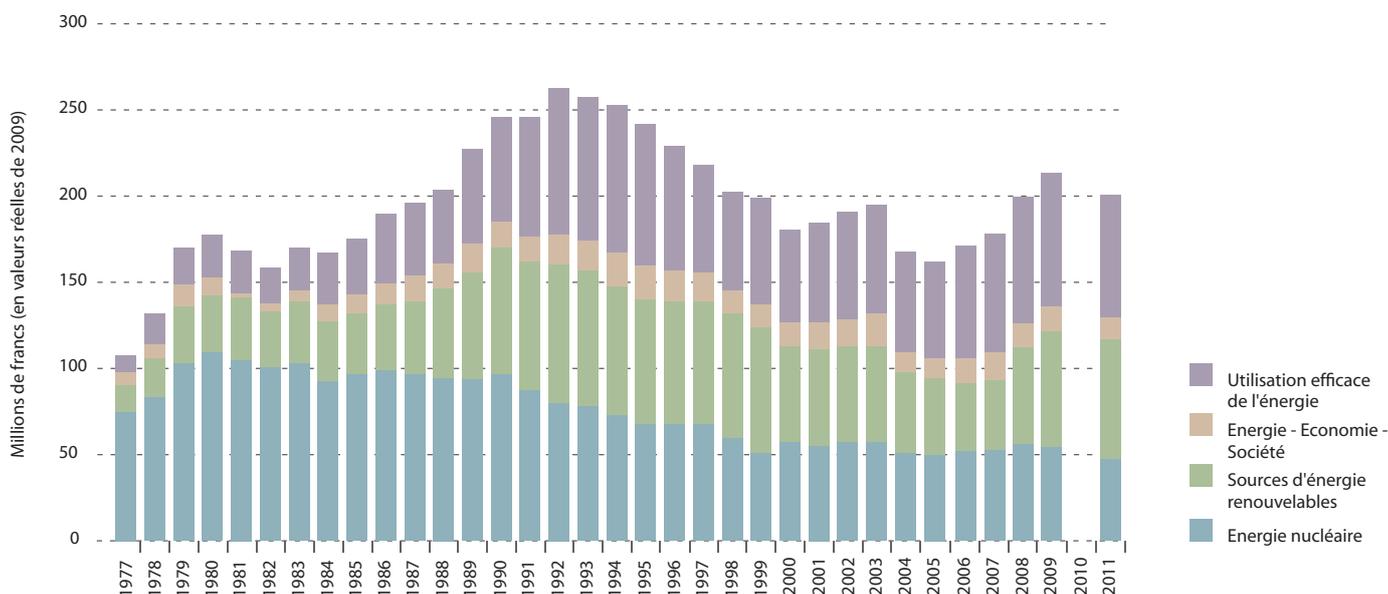
La recherche énergétique est la pierre angulaire de notre approvisionnement futur en énergie, et celle de l'innovation et de la croissance économique. La recherche énergétique publique y occupe une place stratégique, car l'engagement public est source d'impulsions et aide à créer des réseaux de recherche ainsi qu'à construire des ponts avec l'économie. La recherche énergétique publique a en outre comme objectif de fournir des solutions pour couvrir les besoins actuels et futurs en énergie de manière efficace, économique, propre et durable.

La recherche se situe au début d'un processus qui devrait aboutir en fin de compte à la mise sur le marché d'un produit. Dans le domaine de l'énergie, les cycles de l'innovation, de la recherche fondamentale à la commercialisation de produits, s'étendent souvent sur plusieurs décennies. Les entreprises privées, qui favorisent généralement la rentabilité immédiate, n'osent

souvent pas investir dans des projets portant sur le long terme. La recherche publique, quant à elle, regarde vers l'avenir, au-delà des affaires courantes. Modestes, les moyens financiers d'origine publique investis dans la recherche énergétique n'en sont pas moins très concrets: ils s'élèvent annuellement à quelque CHF 175 millions. Au début des années 1990, ils pouvaient encore atteindre les CHF 200 millions. La contribution représente aujourd'hui environ 0,3 % du produit intérieur brut. La Suisse peut ainsi se comparer à des pays de pointe comme la Finlande, la Suède et les Pays-Bas.

Avec en toile de fond la situation de pénurie énergétique et le changement climatique qui se profilent à l'horizon, et la nécessité de développer les nouvelles technologies indispensables au développement durable, la question se pose aujourd'hui de l'opportunité d'augmenter à nouveau à moyen terme les crédits mis à la disposition de la recherche énergétique publique.

Dépenses des pouvoirs publics pour la recherche énergétique depuis le début de la statistique, en 1977. La valeur indiquée pour 2011 correspond à celle demandée par la CORE.

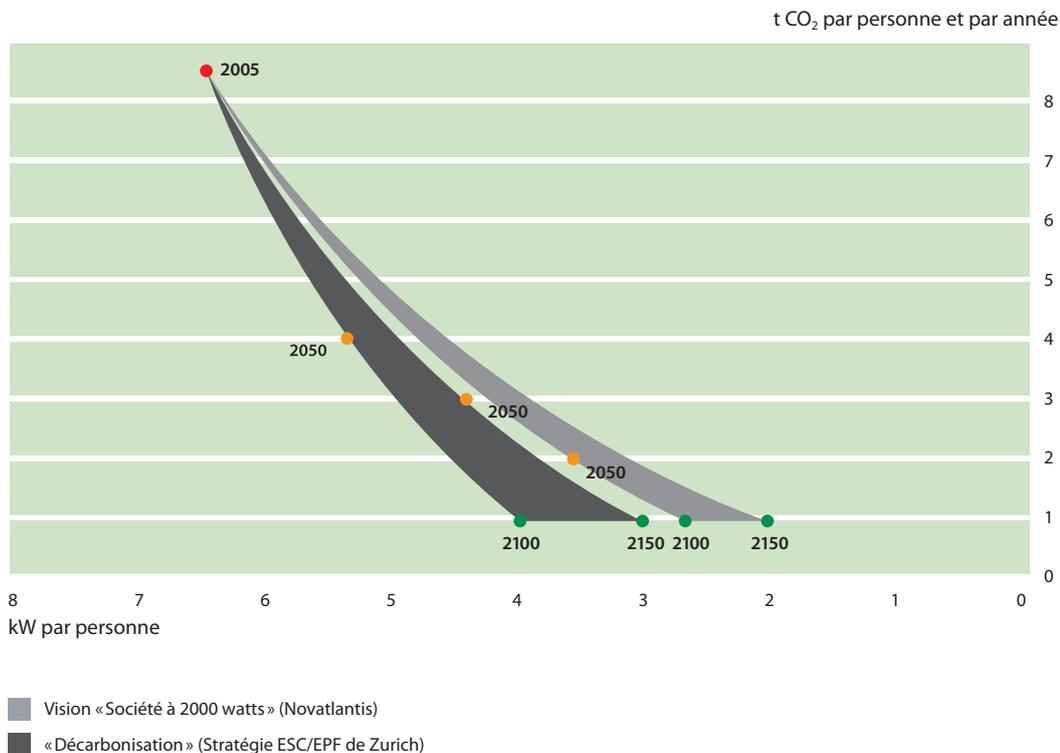


Une nouvelle approche : la vision de la « Société à 2000 watts »

L'orientation de la recherche énergétique suisse s'appuie sur le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, mis à jour tous les quatre ans par la Commission fédérale de la recherche énergétique (CORE, lire en p. 3). L'Office fédéral de l'énergie (OFEN), accompagné par la CORE, est chargé de la mise en œuvre de ce plan directeur.

La ligne directrice de la recherche énergétique suisse est claire: les projets de recherche soutenus tendent à améliorer l'efficacité énergétique et à mettre en œuvre le recours aux sources d'énergie renouvelables. L'objectif principal est le développement durable, conformément à l'article de la Constitution fédérale sur l'énergie. Dans le plan directeur, cet engagement se traduit concrètement par une vision à long terme présentant une situation énergétique et environnementale idéale dans un futur lointain. On y entrevoit la « Société à 2000 watts » au sein de laquelle la consommation d'énergie individuelle serait réduite au tiers et les émissions de CO₂ au sixième de leurs niveaux respectifs actuels, c.-à-d. pour le CO₂ à une tonne par personne et par année. Ce plan directeur contient pourtant également des objectifs concrets à plus court terme qu'il est important de satisfaire pour aller dans la direction de la vision. Ces objectifs sont réadaptés tous les quatre ans, lors de la révision du plan directeur.

Les buts visés par la recherche énergétique dépendent des objectifs de la Confédération en matière de politique énergétique et climatique. En Suisse, chaque personne consomme environ 6500 watts d'énergie primaire, qui sont à l'origine de l'émission d'environ neuf tonnes de CO₂ par personne chaque année. Au départ, c'est la « Société à 2000 watts » qui a été la première vision formulée dans le but de réaliser une utilisation durable de l'énergie. Par la suite, l'EPF de Zurich a formulé la vision de « 1 tonne de CO₂ par personne et par année », tenant compte ainsi des changements climatiques considérables et de la nécessaire « décarbonisation » des systèmes énergétiques actuels. Bien que ces approches aspirent toutes deux à réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre, la « Société à 2000 watts » veut simultanément réduire fortement la consommation globale d'énergie. Les deux visions servent de base à l'élaboration des programmes de recherche et de leurs projets respectifs.



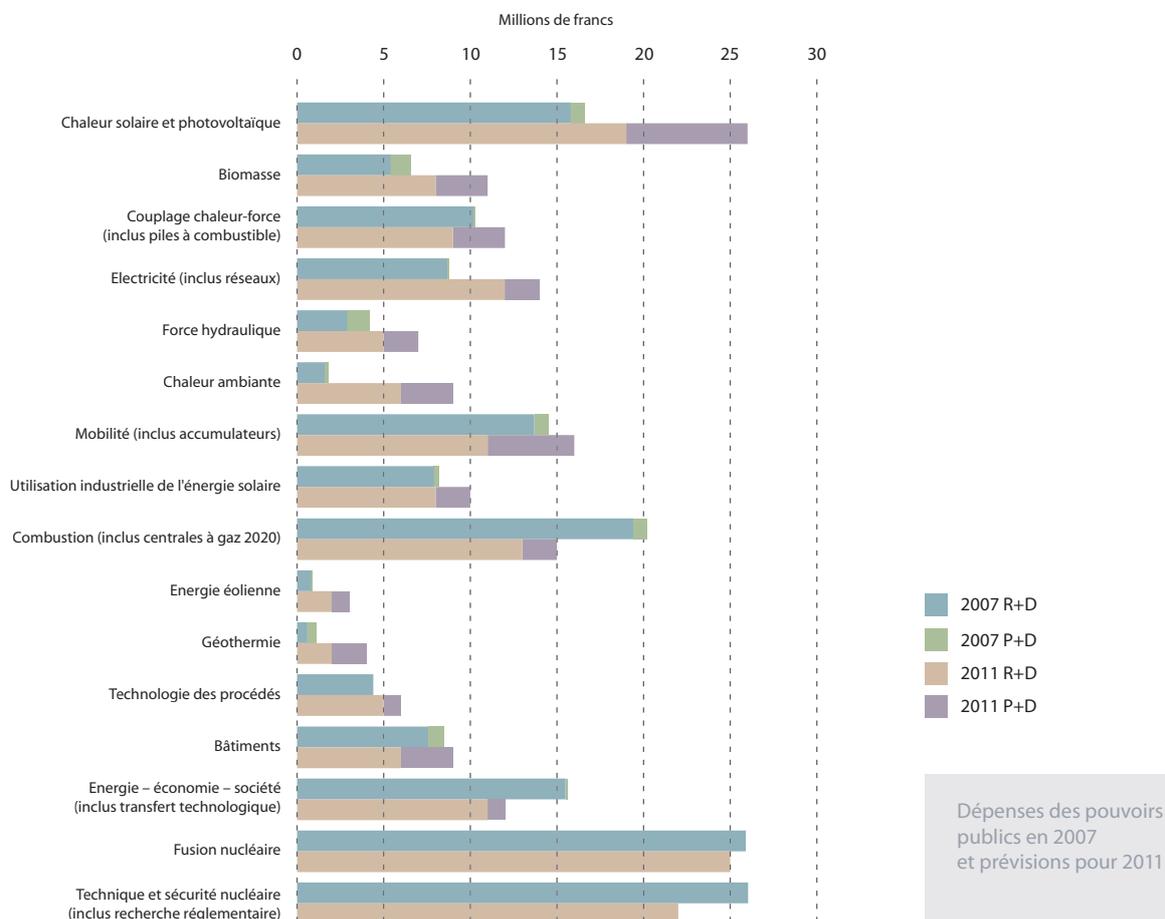
Avec ses 25 programmes de recherche (lire en p. 41), l'OFEN occupe une place importante au sein de la recherche énergétique suisse. Il soutient bon an mal an, à titre subsidiaire, 250 à 300 projets de recherche et assure leur suivi scientifique et technique. Par sa présence au sein des instances les plus diverses, notamment celles de l'Union Européenne et de l'Agence Internationale de l'Energie, il assure également l'accès des chercheurs suisses aux organismes nationaux et internationaux d'encouragement de la recherche.

Main dans la main avec l'industrie

L'encouragement de la recherche énergétique n'est pas l'apanage des seuls pouvoirs publics. Toute l'économie suisse s'y intéresse aussi grandement et investit dans l'avenir. C'est ainsi que la majeure partie du financement provient des milieux industriels qui investissent près de quatre fois plus que les collectivités publiques,

portant ainsi le montant des dépenses totales en matière de recherche énergétique en Suisse à presque un milliard de francs. Précisons toutefois qu'une part importante de la recherche financée par l'industrie est consacrée au développement de produits. Ainsi, pour la recherche énergétique proprement dite, les moyens publics et privés sont comparables.

Ce sont les entreprises qui se lancent dans des projets de recherche particulièrement risqués qui ont plus spécialement besoin de fonds publics. De ce fait, la collaboration entre l'industrie et les pouvoirs publics dans la recherche s'est faite de plus en plus étroite depuis la fin des années 1980. Il s'agit actuellement d'un véritable partenariat public-privé. Aujourd'hui, l'économie privée est impliquée dans la politique de la recherche de la Confédération et des Hautes écoles et définit avec les pouvoirs publics l'orientation de la recherche énergétique.



65 % des ressources vont à la recherche appliquée

L'objectif de la recherche énergétique publique est l'adaptation au marché et l'application pratique. Par conséquent, cette recherche couvre presque tout le spectre allant de la recherche fondamentale à la commercialisation d'un produit. L'accent y est cependant mis sur la recherche appliquée – environ 65% de la contribution totale –, dont les résultats conduisent à des produits, des installations, des matériaux et des procédés. La recherche fondamentale est encouragée à raison de 31% des crédits disponibles, dès qu'une possibilité d'application en technique énergétique est entrevue.

Enfin, les installations pilotes et de démonstration reçoivent actuellement seulement 4% des moyens disponibles; elles sont pourtant indispensables à la recherche énergétique, en tant que pont vers le marché. Ce transfert des résultats de la recherche vers le marché fait partie intégrante des tâches des collectivités publiques qui soutiennent la recherche. Dans cette optique, la collaboration étroite avec l'économie privée n'est pas seulement un avantage; elle est une absolue nécessité.

Un réseau d'acteurs

L'OFEN coordonne la recherche énergétique en étroite collaboration avec les autres institutions publiques de soutien à la recherche, en particulier le Conseil des EPF, le Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche (SER), l'Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie (OFFT) par le canal de l'Agence pour la promotion de l'innovation (CTI), le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), les Universités et les Hautes écoles spécialisées, ainsi que les fonds privés de l'industrie énergétique.

Une grande partie des projets sont conduits par les établissements de recherche publics. Au niveau fédéral, les principaux acteurs sont les Écoles polytechniques fédérales de Zurich (EPFZ) et de Lausanne (EPFL), l'Institut Paul Scherrer (PSI) et le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (LFEM/EMPA). Au niveau cantonal, les Universités et les Hautes écoles spécialisées se répartissent les projets. En outre, il n'est pas rare que les collectivités publiques attribuent une aide financière à des projets de recherche de l'industrie, de

bureaux d'ingénieurs ou de particuliers. Ces projets sont réalisés dans la mesure du possible en partenariat avec les établissements de recherche publics. Le principe de subsidiarité est appliqué par l'OFEN, c'est-à-dire que l'aide publique ne sert qu'à compléter les fonds disponibles lorsque cela est absolument nécessaire.

Collaborations internationales : un impératif!

En matière de recherche énergétique, la Suisse ne peut pas s'isoler du reste du monde. La coopération internationale est un impératif. Réalisée sur le mode du partenariat, cette coopération apporte des avantages à tous les acteurs. Elle produit notamment des synergies, évite la dispersion des efforts et améliore l'efficacité de la recherche. Les projets internationaux ont déjà une longue histoire, notamment grâce aux possibilités offertes dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) et dans celui de l'Agence de l'OCDE pour l'Énergie Nucléaire (AEN). On relèvera également une participation croissante de la Suisse aux programmes-cadres de recherche et de développement de l'Union Européenne.

La recherche veut contribuer à mettre en place en Suisse un système énergétique durable. Pour ce faire, elle n'agit pas dans une tour d'ivoire, mais interagit avec d'autres disciplines et avec la pratique. D'autres facteurs, notamment économiques, politiques, sociaux ou encore écologiques, entrent également en ligne de compte. Ici, les collectivités publiques, notamment, assument leur responsabilité et s'efforcent, par une politique active de communication, de tenir de nombreux milieux informés des résultats de la recherche énergétique.

Penser à tout en concevant un procédé

Dans le génie chimique et les procédés industriels, il est possible d'économiser jusqu'à 20% de l'énergie nécessaire. Au moyen d'analyses mathématiques et de simulations des procédés, on peut examiner quelles seront les conséquences économiques, écologiques et énergétiques des différents concepts considérés. Outre l'amélioration de l'efficacité énergétique, la recherche s'est aussi fixé comme but d'augmenter la quote-part des sources d'énergie renouvelables utilisées dans l'industrie. L'effort principal porte toutefois sur l'amélioration de procédés thermiques, comme, par exemple, le séchage et la production dans la chimie fine, l'industrie alimentaire et l'agriculture.

Réunir les personnes ayant les connaissances nécessaires

L'optimisation énergétique et écologique des procédés relève de la recherche appliquée. Elle commence le plus souvent par une demande du partenaire industriel; alors seulement débute l'activité de recherche proprement dite, sous la forme de prestations d'ingénieur rele-

vant de la technique de mesure ou de la modélisation. Le plus important est de réunir les spécialistes du génie chimique, de l'énergétique et de la recherche ayant les qualifications requises. On s'aperçoit dans la pratique que l'intégration systématique de tous les facteurs n'est mise en œuvre que lorsqu'elle conduit à un gain économique effectif. La raison en est que l'optimisation des procédés de production vise avant tout la productivité et la qualité du produit, et accessoirement seulement l'efficacité énergétique et écologique des procédés. La certification de la fabrication et la sécurité (*safety*) sont aussi des obstacles au changement.

Amélioration de procédés de production complexes

Analyser d'abord, optimiser ensuite, tel est le principe qui prévaut, surtout dans les procédés thermiques complexes. C'est ainsi, par exemple, qu'a été étudiée la chaîne de production d'une briqueterie pour développer un outil d'optimisation assisté par ordinateur. Le but de cet outil était de pouvoir piloter les procédés en utilisant un minimum d'énergie tout en conservant la qualité des produits. Comme le mesurage du procédé de cuisson s'est révélé plus complexe que prévu, ce but n'a pas pu être atteint.

De meilleurs résultats ont été obtenus par un projet dans l'industrie chimique. Le logiciel «ecosolvent» développé par l'EPFZ contribue à améliorer l'utilisation de l'énergie et des ressources en permettant de comparer les deux procédés de recyclage des solvants usagés: recyclage par distillation et emploi comme combustible. L'analyse montre que le recyclage des solvants n'est pas toujours la solution la plus judicieuse du point de vue écologique.

On recherche des partenaires industriels conscients de la problématique de l'énergie

L'optimisation énergétique des procédés pourra progresser surtout si les secteurs économiques gros consommateurs d'énergie s'impliquent. En s'ouvrant à la recherche et en réalisant un certain nombre de ces projets, ils peuvent rendre leurs procédés énergétiquement plus efficaces et moins générateurs de CO₂.

Mots-clés

Valorisation des rejets thermiques

S'il n'est pas possible de les éviter, les rejets thermiques à basse température (jusqu'à 80°C) peuvent être mis en valeur. Cet aspect fait aussi partie de l'optimisation économique et écologique des installations.

Chaleur et froid industriels

La chaleur industrielle est surtout produite aujourd'hui de manière traditionnelle à partir de mazout ou de gaz, alors que le froid industriel l'est par des machines à moteurs électriques. Les décideurs se méfient souvent de la qualité et de la fiabilité des installations de production d'énergie sortant des chemins battus, de sorte qu'ils ne les intègrent pas systématiquement aux procédés. Pour remédier à cet état de chose, on recourt à des études de faisabilité, des essais en laboratoire et des mesures sur des installations en service.

Les serres de Steinmaur sont chauffées au bois au lieu du mazout. Le défi pour les concepteurs a été la possibilité de compenser rapidement de grandes variations de température malgré l'inertie relative du chauffage au bois et de réagir ainsi à l'alternance rayonnement solaire direct / ciel couvert. La solution trouvée consiste à consulter toutes les heures la station météo de Zurich-Kloten et à commander automatiquement l'installation en fonction des prévisions reçues. Cette réalisation, la première de ce type en Suisse, a fait ses preuves depuis le début de 2006.



De moins en moins d'énergie et pourtant toujours plus de confort

Les bâtiments consomment environ la moitié de l'énergie en Suisse, soit 30% pour le chauffage, le climat intérieur et l'eau chaude, 14% pour l'électricité et environ 6% pour leur construction et leur entretien. Les habitations représentent environ 27% de la consommation totale d'énergie en Suisse. Comme celle-ci est couverte principalement par des agents énergétiques fossiles – pétrole et gaz –, les bâtiments contribuent de manière importante au changement climatique. La recherche se propose de réduire ces nuisances et d'ouvrir ainsi la voie conduisant à un secteur du bâtiment en Suisse compatible avec la « Société à 2000 watts ». Elle met l'accent sur l'optimisation des bâtiments considérés comme des systèmes et sur le développement de nouveaux matériaux et composants.

Rénover est rentable

Il existe aujourd'hui toute une série de technologies pour les nouvelles constructions, dont l'application conduit à un surcoût raisonnable, tout en réduisant la consommation énergétique de façon substantielle. Dans les maisons Minergie-P (voir mot-clé), la question de l'énergie de chauffage ne se pose pratiquement plus. Mais même le simple standard Minergie (voir mot-clé) et la valeur-cible de la norme SIA 380/1 permettent de se chauffer avec à peine plus de la moitié de l'énergie nécessaire dans un bâtiment de construction classique.

Pourtant, il ne suffit pas d'appliquer les nouveaux standards écologiques aux seules constructions nouvelles. La rénovation des constructions existantes recèle un important potentiel d'économies. C'est ici qu'intervient le programme national d'assainissement des bâtiments décidé par le Parlement, qui devrait accélérer la rénovation du parc immobilier grâce à une aide financière. Suite à des mesures de ce type et à la hausse du prix du mazout, le secteur du bâtiment devrait recevoir une forte impulsion. Dans ce contexte, la recherche vise notamment à développer des concepts, des technologies et des aides à la conception destinés spécialement aux rénovations et qui doivent donc prendre en compte les particularités du parc immobilier actuel.

Des techniques et un savoir-faire éprouvés permettent aujourd'hui de répondre à maints égards aux exigences de la « Société à 2000 watts ». Pour montrer comment prendre celles-ci en compte dans le bâtiment, la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) a élaboré la publication « Objectifs de performance énergétique » qui définit des valeurs cibles pour le climat intérieur, l'eau chaude, l'éclairage et les appareils électriques. L'énergie grise et la mobilité en rapport avec la situation du bâtiment complèteront cette liste dès 2010.



Transmission de la lumière et de la chaleur: un conflit

Pour ce qui concerne l'éclairage, la recherche dans le bâtiment s'intéresse aux systèmes dans leur ensemble, comme, par exemple, un éclairage artificiel combiné avec l'utilisation optimale de la lumière du jour. Pour autant qu'ils soient considérés séparément, les appareils et l'éclairage sont traités dans le domaine de recherche « Electricité ».

L'une des priorités du domaine de l'« Énergie dans le bâtiment » consiste à développer des vitrages caractérisés par une transmission optimisée de l'énergie et de la lumière. La façade transparente reste un point faible de l'enveloppe du bâtiment. Même les meilleurs verres ne donnent pas entière satisfaction lorsqu'il s'agit de laisser passer la lumière du jour tout en retenant le rayonnement thermique. L'Université de Bâle étudie de nouvelles couches optiques, tandis que le LFEM/EMPA perfectionne le vitrage sous vide. Celui-ci pourrait être à même de diminuer de moitié la conduction de la chaleur, par rapport aux meilleurs vitrages actuellement sur le marché.



Rénovation d'un bâtiment à l'aide d'éléments préfabriqués

Réhabilitation Minergie-P d'un immeuble à plusieurs appartements à Zoug. Des éléments de façade préfabriqués, à isolation poussée, permettent aujourd'hui de réhabiliter efficacement les bâtiments existants et de leur ajouter des étages. Les déperditions thermiques après rénovation peuvent ainsi être abaissées à 10 ou 20% de leur valeur initiale.

Climat intérieur : confortable et économe en énergie

De nos jours, économiser de l'énergie en rapport avec le climat intérieur ne signifie plus du tout bannir toute climatisation. Personne, en effet, ne souhaite renoncer au confort d'une pièce fraîche en été, surtout dans les bureaux. Mais on a recours aujourd'hui au « refroidissement doux », dont la clé est la coordination de tous les facteurs influençant la température intérieure. Cette optimisation systémique permet d'atteindre la température idéale avec un apport énergétique minimum. Toutefois, la qualité de l'enveloppe, les protections solaires et la géométrie des lieux restent les facteurs déterminants du confort estival. En hiver, c'est pareil : l'isolation poussée, une ventilation mécanique douce avec récupération de chaleur, et l'utilisation de l'énergie solaire passive permettent d'économiser l'énergie de chauffage.

Isolation poussée et installations de refroidissement d'un type nouveau

Que ce soit dans le domaine de l'isolation thermique poussée ou dans celui des systèmes de refroidissement, des techniques utilisant des matériaux nouveaux sont « dans le pipeline » – elles fonctionnent déjà en laboratoire sans être encore mûres pour la commercialisation. En ce qui concerne l'enveloppe du bâtiment, de grands progrès ont été réalisés dans la technologie de l'isolation par le vide. Mais celle-ci ne pourra être mise en œuvre dans la construction que si des solutions sont trouvées pour le système de support, ainsi que pour prévenir tout dommage à la pose.

Une percée pourrait se produire à la Haute école d'ingénierie et de gestion d'Yverdon-les-Bains dans le domaine du refroidissement magnétique. En cas de succès, la climatisation des voitures et des bureaux ainsi que les frigos ne fonctionneront bientôt plus avec des HFC, de l'ammoniac ou des compresseurs au dioxyde de carbone, mais avec de l'air ou de l'eau directement refroidis, magnétiquement.

Production décentralisée d'énergie

Les bâtiments de demain ne seront plus seulement des sites où l'énergie est consommée ; ils seront conçus de manière à fonctionner aussi comme centrales électriques décentralisées. On pense ici avant tout au photovoltaïque et aux piles à combustible.

Mots-clés

Analyse de cycle de vie

L'analyse de cycle de vie sert à l'évaluation écologique et économique de matériaux, de systèmes ou d'appareils. Dans le bâtiment, elle tient compte à la fois de la consommation énergétique durant l'utilisation et de l'énergie grise.

Energie grise

Par énergie grise, on désigne la quantité d'énergie nécessaire à l'extraction et à la transformation des matériaux, au stockage, au transport, à la pose et à l'élimination d'un produit, par opposition à la consommation d'énergie directement liée à l'utilisation de ce dernier.

Minergie

Minergie est le standard énergétique le plus important en Suisse pour les maisons à basse consommation d'énergie. L'association Minergie certifie les bâtiments selon des exigences distinctes pour douze catégories de bâtiments. Pour l'instant, environ 15% des nouvelles constructions et 1% des rénovations en Suisse sont certifiées Minergie.

Minergie-P

Minergie-P est un standard énergétique de haut niveau pour les bâtiments. Une maison Minergie-P offre à ses occupants une température intérieure agréable pendant toute l'année, bien qu'il n'y ait aucune installation traditionnelle de chauffage. Des habitations, des bureaux, des fabriques, des jardins d'enfants, des écoles, des centres sportifs et des supermarchés bénéficient déjà de ce standard.

Des véhicules plus efficaces, plus légers et plus intelligents

En Suisse, les transports représentent près du tiers de la consommation finale d'énergie et les voitures de tourisme 70 % de celle des transports. Malgré une nette amélioration de l'efficacité énergétique du parc automobile neuf, la consommation d'énergie dans le domaine des transports reste plus ou moins constante. L'augmentation du poids des véhicules, de la puissance des moteurs et des prestations de transport annulent en grande partie l'effet des progrès techniques. La recherche et le développement doivent s'orienter principalement vers des systèmes de propulsion améliorés, voire de nouveaux systèmes, la construction de véhicules légers, les petits systèmes de mobilité et l'amélioration des transports publics.

Des exigences élevées

Les véhicules modernes sont synonymes de performances maximum en matière de sécurité, de fiabilité et de limitation des gaz d'échappement. Ces atouts ne doivent pas être sacrifiés parce que, désormais, on accorde davantage d'importance à la consommation d'énergie. La consommation moyenne du parc automobile en 2007 était de 7,43 litres aux 100 km. Le rendement énergétique moyen d'une voiture de tourisme moderne est inférieur à 20 %; la recherche en matière de systèmes de propulsion vise à dépasser largement ces 20 %. En même temps, le poids des véhicules devrait diminuer considérablement grâce à l'utilisation systématique de matériaux légers, sans pour autant porter atteinte à la

sécurité. A long terme, il faudra que les véhicules consomment moins de 3 litres équivalents essence aux 100 km.

Systèmes de propulsion performants

Les projets de recherche suisses en matière de systèmes de propulsion concrétisent plusieurs approches en les combinant :

- réduction de la taille des moteurs à combustion interne, nouvelles améliorations apportées à ces moteurs et aux boîtes à vitesse;
- hybridisation des systèmes thermiques de propulsion;
- gaz naturel et biogaz comme carburants, carburants de synthèse ou biocarburants;
- propulsion électrique avec batterie et/ou supercondensateur et/ou pile à combustible.

La masse du véhicule influence la consommation de manière décisive

Construire des véhicules légers, c'est utiliser des matériaux de faible densité, développer une construction intelligente et recourir à la simulation bionique. En matière de construction légère, on suit la ligne adoptée jusqu'ici, sans négliger pour autant la sécurité, le confort du véhicule, la durée et les coûts de fabrication, ainsi que le recyclage des matériaux; il faut en effet que les projets débouchent sur une mise en œuvre industrielle.

A côté de la construction légère, la recherche se consacre également à de petits systèmes de mobilité d'un genre nouveau, comme les E-bikes (vélos électriques) qui permettent un trafic pendulaire performant et rapide, en particulier dans les agglomérations.

Transports publics

Du point de vue énergétique, même les systèmes de transport public peuvent être considérablement améliorés. Il en va de même du confort, ce qui devrait convaincre de plus en plus de personnes à préférer les transports publics aux moyens de transport individuel. A titre d'exemple, citons le développement, avec le soutien de l'OFEN, du bus « Light Tram3 Hybrid » par la Carrosserie Hess SA de Bellach. La consommation de carburant a été réduite d'environ 40 % et les émissions de polluants d'au moins 50 %. De plus, ce système réduit aussi considérablement les émissions sonores. Le bruit est le principal facteur de stress dans les villes d'aujourd'hui.

Mots-clés

Construction légère de véhicules

Il est possible de construire des véhicules plus légers grâce à une construction intelligente, qui imite, par exemple, la nature et/ou utilise des matériaux de densité plus faible que jusqu'ici.

Systèmes de propulsion de rendement élevé

Le rendement énergétique « Tank to Wheel » (du réservoir à essence aux roues) des voitures de tourisme actuellement disponibles sur le marché varie entre 17 % pour les véhicules à essence traditionnels et environ 25 % pour les véhicules hybrides; quant aux véhicules à moteur diesel, ils dépassent les 20 %. Les véhicules électriques les plus récents atteignent, certes, des rendements nettement supérieurs, mais présentent des désavantages importants en ce qui concerne l'autonomie. Pour tous les véhicules, il faut considérer les choses dans leur ensemble et inclure dans le bilan dressé la production des carburants, de l'hydrogène ou de l'électricité.

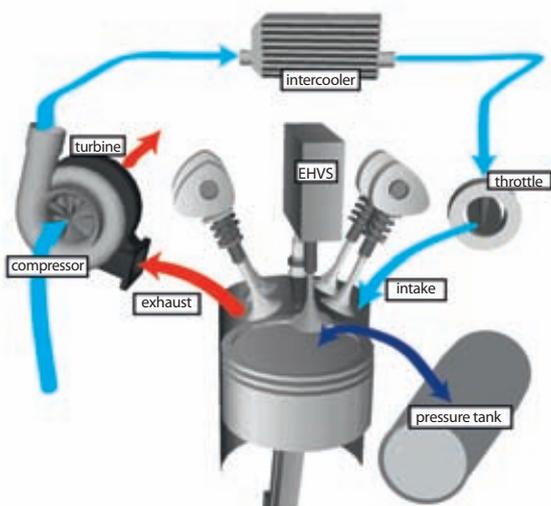


Schéma de principe d'un véhicule hybride pneumatique récemment développé à l'EPF de Zurich. Un prototype a montré en 2008 que l'économie potentielle de carburant est d'environ 32 %.

Améliorer le stockage de l'énergie grâce aux accumulateurs

Le programme *Accumulateurs* recherche les moyens d'améliorer le stockage de l'énergie électrique par voie électrochimique ou électrostatique. L'électrochimie fait intervenir des accumulateurs ou batteries secondaires pour stocker l'énergie, tandis que l'électrostatique concerne les super- et les hypercondensateurs (S-Caps). Les piles non rechargeables ne sont pas prises en considération.

Objectifs du programme

L'énergie spécifique (Wh/kg) des accumulateurs, qui est actuellement de l'ordre de 200 kWh/kg, doit être augmentée jusqu'à atteindre à long terme 2000 kWh/kg.

Grâce à la réduction de la résistance interne et à l'optimisation des structures de stockage, les futurs systèmes

de stockage devraient atteindre un rendement électrochimique d'au moins 80-90% et une durée de vie d'au moins 2000 cycles de charge et 7 années. En outre, ils ne devront pas contenir de substances toxiques et leur maniement devra être très sûr. Avec de telles performances, ces accumulateurs encourageront considérablement le recours aux sources d'énergie renouvelables, car ces sources sont rarement disponibles exactement au moment où on en a besoin. Ils faciliteront aussi la couverture des pointes de consommation dans le réseau électrique.

L'énergie spécifique des S-Caps est actuellement de 10 Wh/kg environ ; on vise les 40 Wh/kg.

Les approches

En ce qui concerne les accumulateurs, ce sont les nanotechnologies qui doivent permettre d'atteindre ces objectifs. Les batteries qui utilisent des métaux alcalins légers, comme le lithium et le sodium, sont au premier plan des investigations, car elles permettent d'atteindre les plus grandes énergies spécifiques. De ce point de vue, c'est l'hydrogène – le plus petit et le plus léger des éléments chimiques – qui promet l'énergie spécifique la plus élevée.

De leur côté, les S-Caps se verront améliorés notamment grâce à une nouvelle augmentation de la surface spécifique et à un raccordement intelligent des éléments entre eux.

Sécurité

Il existe une certaine corrélation entre l'énergie spécifique élevée d'un accumulateur et sa tendance à brûler à une vitesse fulgurante. Le programme de recherche étudie également comment réduire ce risque malgré l'énergie spécifique élevée, à l'aide de technologies appropriées de stockage et de protection.

Mots-clés

Les accumulateurs, appelés aussi batteries secondaires, sont des réservoirs d'énergie électrochimique qui fournissent de l'énergie sous forme de courant continu et peuvent être rechargés, contrairement aux batteries primaires.

Les supercondensateurs et les hypercondensateurs sont des réservoirs physiques d'énergie qui stockent celle-ci sous forme de charge électrostatique. Le processus de décharge et de charge est semblable à celui des accumulateurs.



Les batteries Zebra à base de sodium et de chlorure de nickel offrent une capacité de stockage et un rendement élevés, ainsi qu'une longue durée de vie.

En quête de plus d'efficacité et de technologies novatrices !

L'électricité occupe une place de plus en plus importante comme source d'énergie et cette évolution va se poursuivre. La croissance de la consommation d'électricité n'est pas seulement due à une augmentation générale de la consommation énergétique. Parallèlement s'opère un report de la consommation d'autres sources d'énergie sur l'électricité, p. ex. à la suite de l'augmentation du nombre des pompes à chaleur. Les buts visés par la recherche dans le domaine de l'électricité sont, d'une part, son utilisation efficace par le consommateur final et, d'autre part, le développement de technologies novatrices pour la production, la transformation et le stockage de l'énergie électrique.

Des investissements élevés, mais un bilan final positif

Que ce soit dans l'industrie, au bureau ou chez soi, pratiquement chaque acquisition ou utilisation d'appareils ou machines électriques est l'occasion d'économiser de l'énergie. L'un des buts visés par la recherche appliquée est de montrer aux fabricants comme aux consommateurs où ces économies sont possibles et comment et de combien il est possible d'améliorer l'ef-

ficacité. Pour citer un exemple, les appareils électroniques, qu'il s'agisse d'informatique, de télécommunications ou d'électronique de divertissement, sont des consommateurs peu efficaces en mode veille, car ils ne fournissent alors aucune prestation. En principe, éviter ce gaspillage ne pose aucun problème technique particulier.

Dans les installations industrielles, il faut porter une attention particulière aux entraînements électriques. Lors de nouvelles acquisitions, on tient souvent compte du montant de l'investissement, mais moins des frais d'exploitation ultérieurs. Dans le cadre du programme de recherche, des outils sont développés pour le calcul des coûts cumulés sur toute la durée du cycle de vie. On voit ainsi quels moteurs occasionnent les frais globaux les plus bas, pendant toute leur durée de vie.

Stocker l'électricité : pourquoi pas avec de l'air comprimé ?

Le stockage de l'électricité est un autre sujet important de la recherche énergétique. Les aménagements hydroélectriques de pompage-turbinage représentent une solution. Un principe semblable s'applique aux réservoirs à air comprimé. L'idée est simple : un moteur comprime de l'air dans un récipient approprié, p. ex. une bouteille pour gaz industriels sous pression. En sens inverse, ce même moteur peut fonctionner en générateur à n'importe quel moment et produire du courant. Ce système présente l'avantage de pouvoir stocker l'énergie longtemps et presque sans pertes ; de plus, les bouteilles sont relativement maniables, mobiles et utilisables presque partout. Le défi consiste à développer l'efficacité de ce procédé, en collaboration avec l'industrie, et à l'optimiser.

Des rejets thermiques précieux

La recherche sur les procédés thermoélectriques est encore de caractère fondamental. Il s'agit de trouver des matériaux qui, grâce à l'effet Seebeck (voir mot-clé), permettent de produire directement de l'électricité à partir de la chaleur, notamment dans le cas de rejets thermiques dont la température se situe entre 80 et 120 °C. Les supraconducteurs à haute température font également l'objet de recherches fondamentales. Tant qu'une certaine température n'est pas dépassée, les matériaux supraconducteurs conduisent l'électricité sans aucune perte, ce qui permet des applications très efficaces.

Mots-clés

Moteurs

En Suisse, les moteurs représentent 45 % de la consommation totale d'électricité. L'optimisation systématique des entraînements et de leur fonctionnement permettrait d'économiser jusqu'à 20 % de l'électricité consommée à l'exploitation, sans aucune réduction de confort.

Effet Seebeck

L'effet Seebeck consiste en l'apparition d'une différence de potentiel électrique au moment où l'on chauffe le point de contact de deux matériaux de conductivités électriques élevées, mais différentes. De la chaleur est ainsi convertie directement en électricité.

Le « défi énergétique » chez Lonza

L'entreprise valaisanne Lonza est l'un des plus grands consommateurs d'électricité de Suisse. La part des moteurs électriques est de 94 %. Une vérification de l'efficacité des installations a révélé qu'il était possible de réduire la consommation de 30 % environ, et par conséquent aussi la facture d'électricité. C'est pourquoi l'entreprise Lonza a engagé un nouveau collaborateur chargé du « défi énergétique ». Ces possibilités d'économiser l'électricité doivent être mises en œuvre systématiquement.



Souplesse, fiabilité et rentabilité

Au début de l'ère de l'électricité, on produisait celle-ci là où on l'utilisait. Par la suite, cette structure décentralisée composée de petites centrales électriques fut progressivement remplacée par des installations de grande taille interconnectées dans un réseau géré de manière centralisée. Aujourd'hui, la tendance s'inverse à nouveau. D'une part, pour des raisons écologiques, les petites centrales produisant de l'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables sont subventionnées. D'autre part, un marché de l'électricité ouvert devrait permettre au consommateur de choisir librement son producteur. Tout cela fait que les réseaux électriques doivent répondre à un nombre croissant d'exigences. Le réseau de l'avenir doit pouvoir distribuer de manière fiable aussi bien le courant produit de manière centralisée par de grandes centrales que celui provenant d'installations plus petites, décentralisées.

Les consommateurs interviennent

Des réseaux performants et souples constitueront l'épine dorsale du système énergétique du futur. L'électricité ne circulera plus uniquement du producteur au consommateur par l'intermédiaire du vendeur; elle pourra aussi prendre « le sens opposé », lorsque le consommateur deviendra lui-même producteur de par sa propre installation photovoltaïque ou éolienne. De nouvelles architectures de réseaux sont étudiées à l'aide de modèles mathématiques et de simulations, afin de développer les bases qui assureront au réseau de transport d'énergie une grande fiabilité et une bonne rentabilité, tout en conservant une flexibi-

lité élevée. Outre les aspects techniques et écologiques, la recherche porte sur la réglementation du marché transfrontalier de l'électricité, de manière à éviter à la fois la surcharge des réseaux et les goulots d'étranglement au niveau de l'approvisionnement.

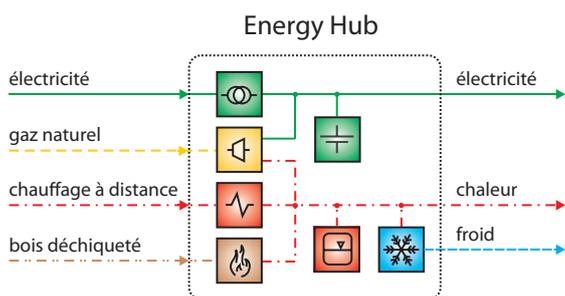
Des réseaux intelligents, en Europe et dans le monde

La Suisse participe activement à trois programmes allant tous dans la même direction: la plate-forme technologique «SmartGrids» (réseaux intelligents) et le «ERA-Net SmartGrids» de la Commission européenne, enfin le programme de recherche ENARD (Electricity Networks Analysis R&D) de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). Ici aussi, il s'agit du développement des réseaux électriques de l'avenir, qui verront en leur sein les consommateurs, les producteurs et les distributeurs locaux d'électricité collaborer plus étroitement. L'un des éléments clés consiste à organiser de manière intelligente les nœuds du réseau et à permettre à ceux-ci d'échanger automatiquement des informations; les réseaux d'énergie et de communication devront donc être conçus parallèlement, imbriqués les uns dans les autres, de manière à rendre l'exploitation plus performante et, en dernier ressort, à économiser de l'énergie.

Intérêt commercial et sécurité de l'approvisionnement, deux facteurs antagonistes

Passer des anciennes aux nouvelles structures de réseaux dans le cadre de l'ouverture du marché est déjà en soi une entreprise difficile et coûteuse. Le maintien de la sécurité de l'approvisionnement, pendant la transition, au moins à son niveau actuel représente, quant à lui, un véritable défi. Il faut notamment trouver un équilibre entre la rentabilité et le critère d'autonomie et d'indépendance de l'approvisionnement. Les micro-réseaux (MicroGrids) autonomes ont le grand avantage d'être moins sensibles aux perturbations à grande échelle du réseau interconnecté. Mais d'un autre côté, une mise en réseau aussi étendue que possible permet le transport de grandes quantités d'électricité de manière rentable ainsi qu'une réduction de coût grâce à un effet d'échelle.

Basé sur les «Energy Hubs», un modèle de l'approvisionnement énergétique du futur est en cours de développement à l'EPF de Zurich. La notion de «hub» permet de regrouper l'énergie produite par un certain nombre de sources décentralisées. Dans le hub, l'énergie peut être convertie d'une forme dans l'autre, ou stockée, pour assurer une sécurité d'approvisionnement élevée et une bonne rentabilité. L'illustration montre le principe d'un «Energy Hub» avec plusieurs possibilités de conversion et de stockage de l'énergie.



Mots-clés

Systèmes à sources d'énergie multiples

Les réseaux du futur ne transporteront pas seulement de l'électricité; ils formeront un système complexe de distribution englobant diverses sources d'énergie telles que l'électricité, le gaz et la chaleur. Le rôle des interfaces reliant les réseaux les uns aux autres ne sera pas seulement de transmettre l'énergie; en ces points, l'énergie sera convertie d'une source d'énergie dans l'autre.

Black-out

Une surcharge momentanée d'un réseau peut provoquer une panne d'électricité à grande échelle, comme cela a été le cas le 28 septembre 2003 en Italie. Afin de prévenir de telles pannes, la planification des réseaux électriques et des puissances à transporter doit être étudiée avec soin et coordonnée au niveau international.

SmartGrids et le programme ENARD de l'AIE

En avril 2006, l'Union Européenne a lancé la plate-forme technologique «SmartGrids». Dans la foulée, l'«ERA-Net SmartGrids» a suivi en 2008. De son côté, l'AIE a lancé son programme ENARD. L'un des objectifs de ces trois initiatives est de coordonner, par delà les frontières, les travaux de recherche réalisés dans les Hautes écoles, les instituts de recherche et l'industrie. Dès le début, la Suisse a participé activement aux trois programmes.

Produire ensemble électricité et chaleur

Lorsqu'on produit de l'électricité et de la chaleur en même temps, autrement dit, lorsque ces deux procédés sont couplés, il en résulte une valorisation meilleure de l'énergie chimique consommée. Le couplage chaleur-force (CCF) réunit la production de chaleur et celle d'électricité en un seul système, en les coordonnant de façon optimale. En principe, cette façon de procéder offre des possibilités d'application très variées, qui vont des petites installations pour maisons individuelles aux grandes centrales électriques raccordées à un réseau de chauffage à distance. Toutefois, par le passé, divers facteurs ont entravé la diffusion de la technique CCF à grande échelle. Mentionnons ici la disponibilité à bas prix des sources d'énergie fossiles, des difficultés à l'injection de l'électricité dans le réseau, les charges d'investissement élevées des réseaux de chauffage, ainsi que des frais d'entretien élevés et des rendements électriques modestes.

De nombreux combustibles et technologies

Pour la couverture des besoins en chaleur, la combinaison du CCF avec des pompes à chaleur est une solution optimale, car elle offre une efficacité maximale et

les émissions de polluants les plus faibles. Pour 100% d'énergie primaire consommée sous forme de combustible, on obtient 150 à 200% de chaleur utile. Ce qui veut aussi dire que, grâce au CCF, on n'utilise que la moitié de la quantité de combustible nécessaire à produire une quantité donnée de chaleur utile. Du fait que la recherche a conduit à une nette amélioration de l'efficacité des pompes à chaleur, cette combinaison n'en devient que plus intéressante.

Sont utilisés pour les systèmes CCF des machines à piston (moteurs à gaz ou diesel), des turbines à gaz ou à vapeur, des piles à combustible ou des moteurs Stirling. De nombreuses applications confirment que cette technologie permet une exploitation optimale et un rendement amélioré. Tandis que, jusqu'ici, ce sont surtout des combustibles fossiles – les dérivés du pétrole et du gaz naturel – qui ont été utilisés, l'éventail va s'élargir considérablement à l'avenir. En effet, les énergies renouvelables telles que le biogaz, les gaz de curage et de décharge, les déchets, le bois, l'énergie géothermique et l'hydrogène joueront un rôle de plus en plus important.

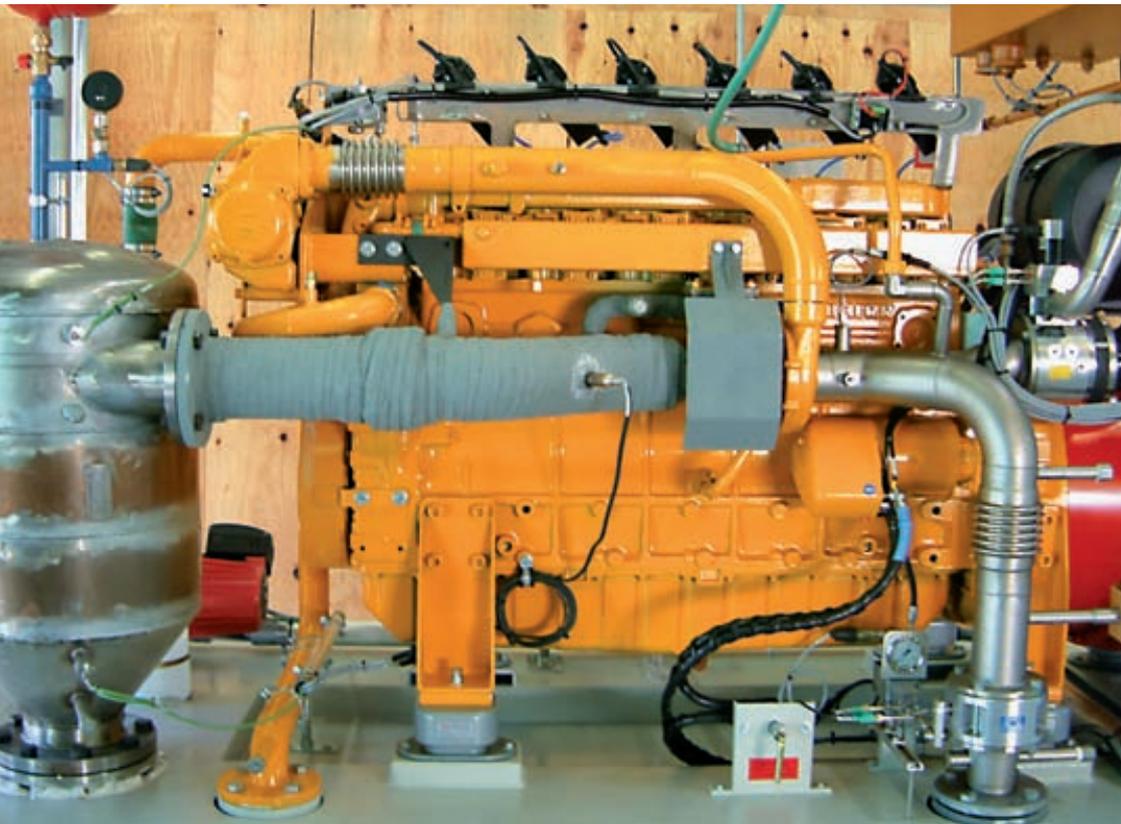
Le couplage chaleur-force, centre de gravité du développement

Les défis de l'avenir sont bien connus: l'énergie doit être utilisée plus efficacement et générer moins de polluants. Les augmentations successives du rendement des divers appareils et technologies représentent, certes, des pas essentiels dans cette direction. Mais la production combinée d'électricité et de chaleur par un seul et même système est une solution prometteuse pour couvrir les besoins en énergie de manière efficace. Ce concept, dénommé « couplage chaleur-force (CCF) », est connu depuis longtemps, mais son utilisation est encore trop sporadique.

Recherche et développement tendent à élargir les possibilités d'application du CCF dans plusieurs directions et à les coordonner avec les changements qui ont lieu dans d'autres domaines. Plusieurs programmes de recherche permettent d'améliorer les divers composants et appareils destinés à l'utilisation et à la conversion de l'énergie, de simplifier les procédés et de

réduire les émissions. Le CCF, quant à lui, associe divers éléments en fonction des besoins effectifs et optimise leur utilisation.

La recherche en matière de combustion étudie les procédés et les matériaux en rapport avec les moteurs à combustion interne. Elle cherche à les optimiser pour certains combustibles, compte tenu des propriétés particulières de ceux-ci. Le programme Centrale thermique 2020 se base sur le savoir-faire traditionnel en matière de technique des turbines à gaz et à vapeur et encourage une recherche exigeante dont le but est de poursuivre l'amélioration du rendement tout en réduisant les coûts. De leur côté, les travaux consacrés à la technologie des piles à combustible permettent aux chercheurs suisses de contribuer à la percée d'un convertisseur d'énergie d'un nouveau genre.



Le moteur à combustion interne est l'élément central du couplage chaleur-force. Il convient d'en optimiser le rendement et les émissions. Le moteur à gaz à recirculation des gaz d'échappement, conçu comme module CCF, représente une importante étape de développement.

Plus d'efficacité et moins de polluants

Vu la multiplicité des technologies utilisées pour produire de la chaleur et de l'électricité, la recherche et le développement couvrent aussi une large palette. Tandis que le couplage chaleur-force fait office de programme de liaison, d'autres programmes de recherche sont focalisés sur des sujets plus spécifiques. L'objectif commun est une augmentation sensible du rendement des composants et du système complet, ainsi que la réduction des émissions polluantes, à savoir – dans le cas de la combustion – tant le gaz carbonique que les oxydes d'azote et les particules de suie.

Dans le détail, les buts visés dépendent de l'état de la technique, la barre étant placée plus ou moins haut selon la puissance électrique du système. Ainsi, on aspire à des améliorations plus importantes du rendement et à une plus forte réduction des émissions de polluants pour les installations ne dépassant pas 100 kW environ que pour celles de plus grande taille, car ces dernières sont mieux optimisées aujourd'hui déjà.

C'est surtout pour les systèmes dépendant des combustibles fossiles qu'on attend beaucoup de la recherche, car ils vont devoir faire face à l'augmentation des prix, à une diminution de l'offre et à des valeurs limites plus strictes des émissions. On s'attache parallèlement à la

valorisation des combustibles renouvelables, en se contentant délibérément, dans un premier temps, d'un rendement électrique moindre, sans accepter toutefois des émissions polluantes plus importantes. Vu la localisation des ressources disponibles, ces installations seront plutôt compactes et décentralisées. Ce dernier point soulève des questions relevant de l'injection du courant dans le réseau électrique et de la stabilité de celui-ci.

Vers des réductions de coûts

En vue, notamment, d'une plus grande pénétration du marché par les installations de la gamme inférieure de puissance, recherche et développement visent une amélioration de la fiabilité, notamment celle de la régulation et du diagnostic. Par ailleurs, on cherche à faire baisser les coûts de manière à ce que le montant à investir ne soit plus un obstacle. Les frais d'exploitation et d'entretien devraient également être réduits au minimum. Toutefois, les grandes installations de CCF ne peuvent être exploitées de manière durable que lorsque la chaleur produite trouve des preneurs adéquats, par exemple un réseau de chauffage.

Mots-clés

Couplage chaleur-force

Le CCF permet de convertir de l'énergie chimique à la fois en travail et en chaleur utile. En général, ce travail est ensuite lui-même converti en énergie électrique.

Emissions de CO₂

La transformation chimique que subissent combustibles et carburants produit du gaz carbonique (CO₂) et de la vapeur d'eau (H₂O) ainsi que divers polluants en quantités bien moindres, comme le monoxyde de carbone (CO) et les oxydes d'azote (NO_x). Plus il y a de carbone dans les molécules à brûler, plus la réaction de combustion produit de CO₂. C'est pourquoi la combustion du gaz naturel génère moins de CO₂ que celle du mazout, pour une même quantité de chaleur utile.

Efficacité

L'efficacité (ou le rendement) est le rapport entre l'énergie utilisable fournie par un procédé et l'énergie consommée par celui-ci. C'est pourquoi tous les procédés qui sont aussi capables de transformer de la chaleur ambiante en énergie utile sont plus efficaces que ceux qui convertissent des combustibles ou des carburants directement en chaleur et en travail. A partir de 100% d'énergie chimique, les gros moteurs à gaz ou diesel peuvent produire 40 à 45% d'énergie électrique et à peu près autant de chaleur utile pour le chauffage domestique. Mais si l'électricité produite actionne une pompe à chaleur, la chaleur utile produite peut atteindre globalement 150 à 200%.

Sur la trace des flammes

Les processus de combustion ont toujours joué un rôle-clé dans l'approvisionnement énergétique et resteront aussi à l'avenir essentiels pour de nombreuses activités. La recherche et le développement visent à répondre à la demande d'augmenter le rendement, de limiter le plus possible les émissions de polluants et d'améliorer la rentabilité, le système à zéro émission représentant le critère ultime. L'objectif de réduction des émissions de CO₂ et la hausse des prix des agents fossiles incitent fortement à optimiser les systèmes de combustion et améliorent les chances d'utilisation des combustibles renouvelables.

Les exigences augmentent

La continuité dans la recherche suisse sur la combustion a permis de constituer une base en vue de répondre aux exigences plus élevées en matière de réduction des émissions et d'augmentation du rendement des systèmes de combustion. Par exemple, les poussières fines et les oxydes d'azote rejetés par les moteurs diesel doivent diminuer d'un facteur 10 d'ici 2020. Il faut en outre améliorer le rendement pour faire aussi baisser les émissions de CO₂. Or, en général, les mesures prises à l'intérieur du moteur pour réduire la création de polluants diminuent le rendement et vice-versa. Par conséquent, il est nécessaire d'approfondir la connaissance des processus complexes intervenant lors de la combustion afin de concilier ces objectifs contradictoires. Les méthodes de mesures optiques (spectroscopie laser), les modélisations par ordinateur et les bancs d'essai en laboratoire sont des instruments importants pour atteindre ces objectifs.

La concentration des moyens et la continuité sont nécessaires. Par le passé, cette stratégie a été appliquée avec succès, notamment grâce à la collaboration entre les industriels et les instituts et laboratoires. Des capteurs de mesure pour le suivi des processus dans les chambres de combustion, des procédés spéciaux de traitement des gaz d'échappement, enfin le SwissMotor en sont quelques résultats tangibles. Ce dernier est un moteur à gaz de la classe des 200 kW; il atteint des performances record: 42% de rendement et des émissions minimales.

Priorités des recherches futures

Il faut comprendre le processus de la combustion sous ses aspects chimiques, thermodynamiques et cinétiques. Cela va de l'alimentation en combustible à la formation et au traitement des gaz de fumée, en passant par la formation du mélange et le déroulement de la combustion. Diverses installations d'essai permettent de tester les résultats et de les mettre en œuvre: la cellule à haute température et haute pression; le moteur à un cylindre et deux pistons; enfin, un cylindre d'essai pour moteur diesel marin, qui a permis d'apporter une contribution importante au projet Hercules du Programme-cadre de recherche, de développement technologique et de démonstration de l'Union Européenne. Il s'agit de diminuer les émissions de gaz et de poussières fines des moteurs diesel marins et d'améliorer inlassablement leur rendement mécanique et leur fiabilité.

Les travaux de recherche réalisés sur la formation et l'analyse de la suie, sur la caractérisation des particules et sur les processus de refroidissement servent de base à des calculs et des simulations complexes. Par ailleurs, la compréhension de l'interaction entre les turbulences et les combustibles dans les flammes turbulentes du prémélange est l'objectif d'autres recherches.

De nouveaux combustibles en vue

Qu'il s'agisse de compositions nouvelles ou de combustibles synthétiques, de gaz de curage, de biogaz ou d'hydrogène..., l'utilisation croissante de nouveaux combustibles interpelle les scientifiques. Des calculs, des simulations et des essais sont nécessaires pour pouvoir définir les étapes d'une optimisation, tant pour le fonctionnement à un seul que pour celui à deux combustibles.

Mots-clés

Formation de la suie

La suie se compose principalement de carbone, sous la forme de particules dont la taille varie de 10 à 300 nanomètres (nm). La dispersion de ces particules minuscules est dangereuse pour la santé. Les recherches en cours permettront de limiter leur formation.

Rendement

Le rendement est le rapport de la puissance fournie et de la puissance absorbée. On utilise ce terme pour décrire l'efficacité d'un processus de conversion ou de transfert d'énergie.

Carburants synthétiques

Ce sont des carburants fabriqués sur mesure, dont les constituants répondent exactement aux exigences des concepts modernes de moteurs (carburants designer). On applique divers procédés pour leur fabrication: Biomass-to-Liquid (BtL), Gas-to-Liquid (GtL), etc.

Banc d'essai pour grands moteurs diesel marins à deux temps; projet Hercules de l'UE.



De grandes installations à améliorer

La technologie bien connue qui combine des turbines à gaz et à vapeur présente un rendement qu'il est encore possible d'améliorer. En outre, ces turbines devront pouvoir fonctionner à l'avenir aussi bien avec des combustibles fossiles qu'avec d'autres agents énergétiques chimiques tels que l'hydrogène et le biogaz. Il faut que l'industrie suisse soit encore en mesure, en 2020, de construire et de fabriquer les meilleures installations possibles, grâce à la recherche.

Optimiser l'ensemble

L'idée de base est d'augmenter le rendement électrique d'un procédé combinant des turbines à gaz et à vapeur, par des améliorations techniques, par exemple au niveau des compresseurs à air et des turbines ou en réduisant les besoins en air de refroidissement, ou encore en augmentant les valeurs des paramètres du procédé. Ces recherches font appel à plusieurs disciplines scientifiques, telles que l'aérodynamique, l'électrotechnique, les matériaux pour les hautes températures, la technique des procédés et la combustion.

En fin de compte, l'objectif est de réduire les émissions de CO₂, soit par des améliorations relevant de la tech-

nique des procédés, dans le but de faciliter la séparation et la rétention de ce gaz, soit en recourant plus souvent à des combustibles renouvelables et donc neutres en termes de CO₂.

Stabiliser le réseau électrique

De par leur aptitude à réagir rapidement, les centrales électriques à turbines à gaz sont de plus en plus souvent utilisées pour compenser les fluctuations à court terme de la production des installations éoliennes et photovoltaïques. C'est pourquoi la recherche se consacre aussi à l'amélioration des techniques de stabilisation des réseaux électriques, ce qui rendra possibles une variation plus rapide de la charge ($\pm 3\%$ par seconde) et une exploitation indépendante de la fréquence du réseau.

Au plan international, les projets du programme Centrale thermique 2020 sont étroitement liés au Programme-cadre de recherche et de développement technologique de l'Union Européenne, à l'initiative allemande «Kraftwerk 21» et au programme américain «FutureGen».

Le goulot d'étranglement de l'électricité est sous nos yeux

Cette recherche étant nettement orientée vers les applications, les conditions-cadres politiques et économiques y jouent un rôle aussi important que les aspects scientifiques et techniques. En outre, la conception des interfaces avec les réseaux de gaz naturel, d'électricité et de chauffage à distance sera un défi particulier au moment de la mise en œuvre.

La recherche en matière de centrales électriques à cycle combiné destinées à la production d'électricité et de chaleur et caractérisées par un rendement élevé et de faibles émissions de polluants, n'est pas seulement importante pour l'exportation. En Suisse, on s'attend à des goulots d'étranglement dans l'approvisionnement en électricité dès 2020; il faudra donc construire de nouvelles centrales.

Mots-clés

Centrale à cycle combiné gaz/vapeur

Dans une telle centrale, la combustion du gaz entraîne une première turbine. La chaleur contenue dans les effluents gazeux est utilisée pour produire de la vapeur vive qui entraîne une seconde turbine. Ces deux turbines entraînent ensemble un générateur. Cette combinaison de deux procédés, l'un à haute température (gaz) et l'autre à basse température (vapeur), permet aujourd'hui d'atteindre un rendement d'environ 60%.

Les projets de recherche du programme Centrale thermique 2020 ont pour but d'améliorer le rendement électrique d'un procédé combinant turbines à gaz et à vapeur, et de réduire les émissions. Ce procédé doit être adapté à des combustibles nouveaux et les interfaces avec les réseaux de distribution d'énergie doivent être optimisées.



Des développements suisses pour une technologie européenne clé

Les piles à combustible sont des convertisseurs d'énergie qui produisent directement de l'électricité par combustion catalytique d'un agent énergétique chimique. Leurs potentialités sont considérables, car elles émettent peu de polluants tout en ayant un rendement élevé. Les piles à combustible à électrolyte polymère (PEFC) produisent surtout de l'électricité, tandis que celles à oxyde solide (SOFC) sont des appareils adaptés au couplage chaleur-force. La technologie des piles à combustible a donc des applications variées. Le secteur de la mobilité s'intéresse plus particulièrement aux PEFC, tandis que les SOFC ont été conçues avant tout comme installations stationnaires; toutefois, ces dernières sont actuellement de plus en plus souvent conçues et réalisées sous la forme d'appareils portables.

Le «stack» décide de l'avenir

Pour que cette technologie puisse opérer une percée, des recherches sur trois axes principaux doivent être faites: la fiabilité des «stacks» et de l'appareil dans son ensemble, afin d'assurer un fonctionnement sans interruption; la technique des matériaux et la modélisation, qui sont déterminants pour augmenter la durée de vie des «stacks»; une baisse des coûts, grâce à des améliorations apportées aux «stacks» et à l'appareil complet. Ainsi, les systèmes de piles à combustible deviendront compétitifs par rapport aux technologies concurrentes

que sont les moteurs à combustion interne, les chaudières et les accumulateurs. Des installations pilotes et de démonstration devront mettre à l'épreuve l'application pratique des concepts développés et en examiner la rentabilité. On encourage de plus en plus souvent des projets du domaine de la technique des systèmes et des procédés, dans le but de mettre sur pied une production souple, à l'échelle industrielle, des éléments et des «stacks».

Des applications à introduire progressivement

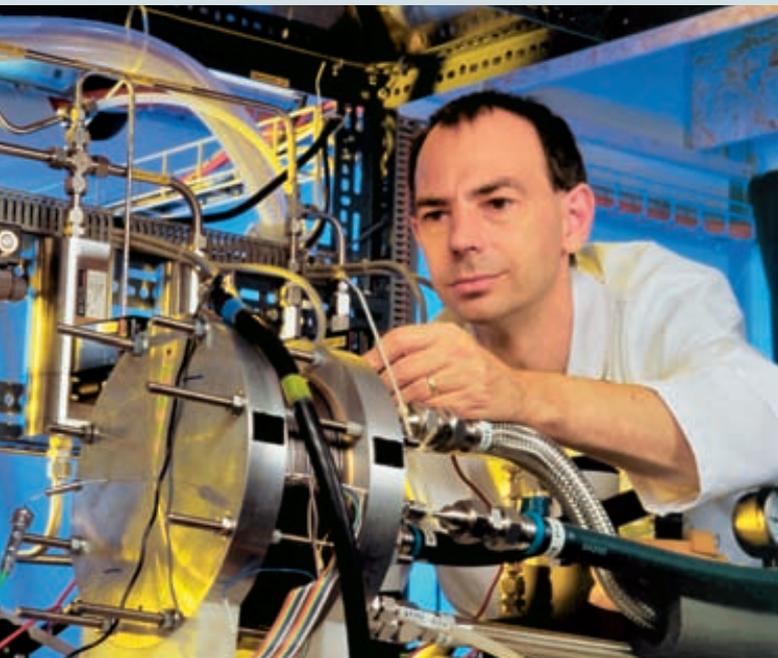
Vu la variété des combustibles disponibles pour les piles à combustible, une introduction par étapes de la technologie semble judicieuse. Les premiers systèmes utiliseront des énergies fossiles, avec un rendement élevé. Ceux-ci seront remplacés plus tard par des systèmes alimentés par des agents énergétiques biogènes ou par de l'hydrogène. Ce gaz étant indispensable au fonctionnement des PEFC, des recherches orientées sur le long terme sont nécessaires dans ce secteur. Par contre, en ce qui concerne les SOFC, il est possible – grâce à un procédé de conversion interne – d'utiliser aussi du gaz naturel ou du biogaz, ce qui devrait en accélérer la commercialisation.

Les compétences de la recherche mises en réseau

L'Institut Paul Scherrer (PSI), la Haute école spécialisée de Bienne et les sociétés Michelin et CEKA, entre autres, travaillent à la mise en œuvre des PEFC. Quant aux SOFC, ce sont les EPF de Zurich et de Lausanne, le LFEM/EMPA, la Haute école spécialisée zurichoise et les entreprises Hexis, HTceramix et Fucellco qui se consacrent à leur développement.

Des chercheurs suisses s'engagent à fond dans des projets de recherche de l'AIE. L'Initiative technologique conjointe pour l'hydrogène et les piles à combustible, lancée par la Commission européenne, témoigne, avec d'autres projets, de la priorité élevée accordée à cette technologie et à la collaboration internationale. En conjuguant leurs efforts, la recherche, l'économie et la politique devraient permettre à l'Europe de devenir le leader mondial du développement de cette technologie.

Les atouts de la Suisse sont la recherche fondamentale, l'intégration des systèmes et le développement de solutions globales.



Mots-clés

PEFC

La pile à combustible à électrolyte polymère (PEFC) transforme de l'hydrogène et de l'oxygène en eau et en électricité. Une membrane polymère solide sert d'électrolyte. Le procédé, qui se déroule à basse température, est caractérisé par un comportement dynamique, ce qui le prédestine aux applications du domaine de la mobilité.

SOFC

La pile à combustible à oxyde solide (SOFC) est une pile à haute température qui fonctionne entre 800 et 1000 °C. L'électrolyte est une céramique, donc un solide. Outre la production d'électricité, l'utilisation des rejets thermiques de la pile joue ici un rôle important, notamment pour le chauffage des bâtiments.

Initiative technologique conjointe de l'UE pour l'hydrogène et les piles à combustible

Une initiative technologique conjointe a pour objectif de créer – dans certains domaines technologiques d'importance stratégique pour l'Union Européenne – un partenariat entre les pouvoirs publics et l'économie. Il s'agit de générer de part et d'autre des investissements importants et des capacités de recherche suffisantes, de manière à ce que l'Europe devienne le leader mondial du développement dans ces domaines de la technologie.

Profiter davantage de la chaleur du soleil

Capter, stocker, utiliser en fonction des besoins effectifs : c'est ainsi que l'on pourrait résumer le principe de l'utilisation active de la chaleur solaire. Les débouchés sont aussi vastes que la gamme des températures : de 25°C pour le chauffage de locaux ou de piscines à plus de 2000°C pour les fours solaires, en passant par des températures de 100 à 250°C pour les procédés industriels.

Le programme de recherche sur la chaleur solaire se concentre avant tout sur le secteur quantitativement le plus prometteur : la chaleur à basse température pour la préparation de l'eau chaude sanitaire et pour le chauffage des habitations. Ces deux applications représentent ensemble environ 40% de la consommation d'énergie de la Suisse. Les technologies de capteurs solaires pour l'eau chaude et un complément au chauffage sont aujourd'hui techniquement fiables. Grâce aux travaux de recherche et de développement des années 1990, les systèmes mis au point en Suisse font partie des meilleurs d'Europe.

Continuer à abaisser les coûts

Les coûts de la chaleur solaire restent toutefois encore élevés par rapport à la concurrence des combustibles fossiles : de 25 à 35 centimes par kWh dans le cas des capteurs plans habituellement utilisés pour l'équipement de villas, qu'il faut comparer à une économie de 5 à 20 centimes par kWh sur l'énergie d'appoint traditionnelle nécessaire à faire fonctionner une installation solaire thermique. C'est la raison pour laquelle les efforts actuels de la recherche visent à simplifier les installations – ce qui réduira l'investissement initial nécessaire – et à améliorer leur performance (kWh utile par m² de capteur). Les scientifiques s'intéressent en particulier aux systèmes dits combinés (préparation de l'eau chaude sanitaire et chauffage des locaux, avec 12 à 20 m² de capteurs pour une villa), dont la demande devient

de plus en plus forte dans toute l'Europe. Ces systèmes permettent de couvrir 30 à 50% des besoins d'une villa bien conçue et bien isolée thermiquement. A long terme, il faut viser des systèmes solaires thermiques sans énergie d'appoint.

Les défis du futur

Comme les installations solaires ne sont pas toujours acceptées aujourd'hui dans de nombreux cas, des recherches et des développements sont encore nécessaires dans le domaine de l'intégration architectonique. C'est pourquoi le programme de recherche sur la chaleur solaire met aussi l'accent sur de nouvelles technologies et de nouveaux composants destinés à être utilisés comme éléments de construction.

Par ailleurs, on se rend compte aujourd'hui déjà que la demande en matière de refroidissement des locaux va augmenter rapidement, et avec elle la consommation d'électricité. Comme la nécessité de refroidir un local prend naissance au moment même où celui-ci reçoit beaucoup de rayonnement solaire, l'utilisation de l'énergie solaire pour répondre à ce besoin coule de source.

Amélioration des technologies de stockage

Le stockage de chaleur constitue un champ de recherche important. Des procédés de stockage saisonnier permettent un décalage temporel pour utiliser en hiver la chaleur stockée au cours de l'été précédent, ou, sur de plus courtes périodes, pour assurer la transition en cas de mauvais temps pendant quelques jours.

En Suisse, des technologies de stockage ont été développées avant tout pour le marché des villas individuelles. Le stockage saisonnier de chaleur à basse température – entre 5 et 30°C – dans le sol est actuellement au point, mais doit encore trouver sa place sur le marché; dans cette application, la chaleur est utilisée à l'aide d'une pompe à chaleur. Un point central du programme de recherche est l'amélioration du stockage dans des réservoirs d'eau et l'emploi de nouveaux matériaux. Le stockage de chaleur par voie physico-chimique laisse entrevoir une densité énergétique élevée et de faibles pertes. L'objectif est l'autonomie thermique totale à des coûts raisonnables dans les bâtiments, l'ensemble des besoins en chaleur étant alors couvert à l'aide de technologies solaires.

Mots-clés

Utilisation active

L'utilisation active de l'énergie solaire consiste à produire de la chaleur à température utile, généralement entre 30°C et 60°C, au moyen de capteurs solaires – qui convertissent le rayonnement solaire en chaleur – et d'autres composants – qui la transportent (conduites, éventuellement pompes et échangeurs de chaleur).

Utilisation passive

L'utilisation passive de l'énergie solaire consiste en l'absorption de l'énergie solaire par le bâtiment lui-même et relève donc de l'architecture du bâtiment. Ce volet est traité dans le programme Bâtiment (lire en page 10).



Des systèmes compacts pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage sont testés à la Haute école spécialisée de Rapperswil. Les résultats prometteurs indiquent que, grâce à une conception compacte et à un système optimisé, une amélioration nette de l'apport solaire et une réduction simultanée des prix de revient sont possibles.

L'énergie photovoltaïque entre dans l'ère industrielle

Le rayonnement solaire est la plus importante source d'énergie sur terre. Il fournit chaque heure de quoi satisfaire les besoins annuels en énergie du monde entier: il suffirait ainsi de transformer 0,1 pour mille de ce rayonnement en électricité pour couvrir notre consommation actuelle d'énergie. Techniquement, la conversion d'énergie solaire en énergie électrique est possible depuis longtemps: la première cellule solaire, à base de silicium cristallin, a été mise au point par des chercheurs américains en 1954 déjà. L'idée de base consiste à mettre en œuvre techniquement l'effet photoélectrique, autrement dit, le fait que certains matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Cette conversion d'énergie a lieu sans aucune pièce mobile, sans bruit ni autre émission.

Industrie d'avenir

Aujourd'hui, l'énergie photovoltaïque est entrée dans l'ère industrielle. Grâce à la qualité de sa recherche photovoltaïque, la Suisse a une belle carte à jouer sur ce nouveau marché, qui a connu dans la dernière décennie des taux de croissance de 30 à 40% par an au niveau mondial. Et cette tendance se renforce. Une enquête auprès des entreprises suisses a permis d'estimer les exportations de la branche en 2007 à 500 millions de francs au moins. Si l'on y ajoute le marché intérieur, le chiffre d'affaires global se monte à 600 millions de francs au moins. Pourtant, ce domaine de l'énergie recèle encore un important potentiel inexploité. Les coûts des installations photovoltaïques peuvent encore être réduits d'un facteur 3 à 4. Ce n'est qu'ainsi que cette technologie deviendra vraiment compétitive et que son utilisation sera possible à très grande échelle.

Priorité à la recherche appliquée

Dans ce contexte, la principale tâche de la recherche consiste à améliorer des technologies existantes par des projets directement orientés vers les applications pratiques. C'est le cas en Suisse, où 90% des moyens de la recherche publique dans le domaine de l'énergie photovoltaïque sont affectés à la réduction du coût des installations. Tous les composants sont concernés: les modules photovoltaïques, qui représentent les deux tiers des coûts des installations, les onduleurs et les structures de montage, etc. Il s'agit en outre d'augmenter le rendement technique de ces installations dans leur ensemble.

Développer les cellules de la deuxième génération

Ces recherches portent sur les cellules en couches minces, à base de silicium ou d'autres matériaux semi-conducteurs. Ces cellules, dites de la deuxième génération, ont l'avantage de nécessiter beaucoup moins de matière et d'énergie pour leur fabrication, en comparaison des cellules au silicium cristallin de la première génération qui constituent actuellement l'essentiel de la production de l'industrie photovoltaïque. Toutefois, les parts de marché des cellules en couches minces ont récemment augmenté. La réduction potentielle des coûts est plus importante que pour les cellules de la première génération. Elles offrent également l'avantage d'un plus grand champ d'application, notamment en matière d'intégration au bâtiment. Les projets de recherche menés actuellement dans ce domaine visent avant tout à améliorer encore le rendement des cellules, à perfectionner les procédés de fabrication et à mettre sur pied l'infrastructure dont les partenaires industriels ont besoin.

Les technologies des couches minces atteignent progressivement le stade de la maturité industrielle. D'une façon un peu paradoxale, elles sont aidées en cela par le succès des technologies cristallines: le développement



rapide de la demande sur ce dernier marché se heurte à une capacité insuffisante de production du silicium sous forme cristalline.

Étroite collaboration avec l'industrie

Les cellules de silicium en couches minces sont développées principalement à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) avec le soutien de deux Hautes écoles spécialisées (HES), à savoir la Haute école Arc ingénierie du Locle et la Haute école technique NTB de Buchs (SG). L'EPFL poursuit aussi le développement des cellules à colorant (cellules Grätzel). L'École polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ), de son côté, s'intéresse aux cellules solaires à base d'autres composés semi-conducteurs. Toutes ces institutions collaborent étroitement avec l'industrie; plusieurs d'entre elles bénéficient du soutien de l'Agence pour la promotion de l'innovation (CTI) de la Confédération. De plus, les projets sont bien intégrés aux réseaux internationaux, notamment aux projets de l'Union Européenne.

D'autres centres de compétences de la recherche dans le domaine de l'énergie photovoltaïque en Suisse se trouvent à la Haute école spécialisée de la Suisse italienne à Lugano (technique des panneaux photovoltaïques) et à la Haute école spécialisée de Berthoud

(onduleurs et systèmes électriques). Des activités complémentaires se déroulent aux Universités de Berne (cellules solaires à antennes) et de Genève (détermination de l'énergie solaire incidente à partir de données Meteosat), ainsi qu'à l'Institut Paul Scherrer à Villigen (thermophotovoltaïque),

Imiter la nature

Il apparaît aujourd'hui de façon toujours plus évidente que les cellules en couches minces et les technologies cristallines coexisteront encore longtemps. Ceci est principalement dû au fait que les cellules de la première génération peuvent encore être considérablement améliorées, aussi bien en ce qui concerne le matériau utilisé qu'en termes de rendement ou de procédés de fabrication. Ces améliorations relèvent avant tout de l'industrie.

Il se dessine même d'ores et déjà la perspective d'une coexistence de trois générations de cellules. Les quelque 10% des moyens publics qui ne sont pas investis dans la recherche appliquée bénéficient à des projets de recherche fondamentale, avec des perspectives d'application technique se situant au-delà de 2020. Ces projets ont pour but de développer une nouvelle génération de cellules organiques ou polymères, et de tirer parti d'effets relevant de la nanophysique. Les recherches sont motivées par les avantages que devraient présenter ces nouveaux matériaux, notamment un faible coût, une matière première disponible de manière illimitée et une facilité de mise en œuvre. Objectif ultime: imiter la nature pour arriver un jour à une photosynthèse artificielle.

De la recherche fondamentale au marché: développée dans les laboratoires de l'Institut de microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel (aujourd'hui rattaché à l'EPF de Lausanne), cette technologie de cellules solaires en couches minces sur substrats souples est perfectionnée jusqu'à sa maturité commerciale par l'entreprise VHF Technologies, à Yverdon, une spin-off de l'IMT.

Mots-clés

Cellules de la première génération

Les cellules cristallines de la première génération sont fabriquées à partir de silicium mono- ou polycristallin. On utilise les propriétés semi-conductrices du silicium solide. Cet élément chimique est présent en abondance sur la terre; on le trouve, par exemple, sous forme de composés avec l'oxygène (silice, silicates) dans le sable ou le quartz. Ces matériaux doivent être travaillés pour obtenir du silicium propre à la fabrication des cellules solaires.

Cellules de la deuxième génération

Les cellules de la deuxième génération sont constituées de fines pellicules d'un matériau (les «couches minces») déposées sur un autre matériau, appelé «substrat». Le but de la technologie des couches minces est l'obtention de propriétés physiques analogues à un coût moindre et avec plus de souplesse dans les applications, en utilisant une quantité moindre de matériau et d'énergie pour la fabrication. Dans le cas des cellules photovoltaïques, différents matériaux sont utilisés pour ces couches minces: le silicium amorphe et ses variations (silicium micromorphe), ou les composés II-VI du système périodique des éléments. Quant aux substrats, ils peuvent être en verre, en métal ou en plastique.



Utilisation de l'énergie solaire à haute température

Le programme «processus solaires à haute température» se répartit sur les domaines suivants: la thermo-chimie solaire, la chaleur solaire dans les processus industriels ainsi que les centrales solaires thermiques (Concentrated Solar Power, CSP). Ces processus ont en commun le fait qu'ils utilisent l'énergie solaire à haute température (depuis environ 150°C pour les processus industriels jusqu'à environ 2000°C pour la thermo-chimie) et se déroulent hors des systèmes de production d'eau chaude sanitaire et de chauffage de bâtiment.



Troisième prototype mis en fonction sur le site de l'entreprise AirLight Energy à Biasca. Le collecteur à concentration a une configuration linéaire et exploite un concept tout nouveau basé sur un miroir flexible pneumatique. Les membranes sont fixées sur leur bord par un simple cadre en béton préfabriqué et précontraint.

Le potentiel dans ces trois domaines d'utilisation est considérable. La thermo-chimie est concentrée sur la production de zinc par cycle thermo-chimique ZnO/Zn et est menée par l'Institut Paul Scherrer (PSI). Le deuxième domaine (processus solaires industriels) vise à mettre en place des systèmes qui permettent l'intégration de l'énergie solaire dans les processus de production traditionnels. Les centrales solaires thermiques sont des centrales possédant un fort potentiel de production d'électricité appelée à un développement considérable au niveau mondial dans les années à venir.

Etat de la recherche

La recherche fondamentale occupe actuellement une place importante dans le domaine de la thermo-chimie solaire. Par contre, dans les prochaines années, une transition vers la recherche appliquée aura lieu avec la mise en place, dans un premier temps, d'un prototype (10 kW) et, par la suite, d'un réacteur pilote (100 kW) pour la dissociation de l'oxyde de zinc.

La chaleur solaire pour les processus industriels et les CSP sont, par contre, dans le domaine de la recherche

appliquée. Ces deux secteurs ont pour objectif de proposer des solutions novatrices techniquement et économiquement viables. Les acteurs privés ainsi que les industries doivent jouer un rôle déterminant parallèlement aux collectivités publiques.

Applications concrètes

Concernant la thermo-chimie solaire, un des objectifs principaux sur le long terme est de stocker et de transporter facilement l'énergie solaire sous forme de zinc. Ce produit pourra ensuite être utilisé directement pour la production d'hydrogène.

Dans le domaine de la chaleur solaire dans les processus industriels, l'objectif est de réduire l'intensité en CO₂ de l'énergie utilisée en Suisse. En principe, cette application combine l'énergie solaire avec les processus de récupération de chaleur en valorisant les rejets de chaleur à basse température.

Les centrales solaires thermiques représentent incontestablement une source d'électricité renouvelable appelée à avoir un développement substantiel dans les années à venir dans les pays de la ceinture solaire (actuellement 0,68 GW en exploitation dans le monde et plus de 2 GW en construction). Au niveau de la recherche appliquée, beaucoup reste à faire pour améliorer les technologies existantes (système parabolique linéaire, système de Fresnel linéaire, centrale à tour et système parabole / moteur Stirling) ainsi que chaque composante de la centrale (héliostat, concentrateurs, échangeurs de chaleur, turbines, régulation, technologie de concentration, ingénierie, logiciels, etc.).

Mots-clés

Cycles thermo-chimiques

L'objectif scientifique à long terme pour la production d'hydrogène est représenté par le développement du cycle ZnO/Zn. Dans ce processus, l'énergie solaire est utilisée pour la dissociation de l'oxyde de zinc en zinc et oxygène. Le zinc peut par la suite être transformé à l'aide de vapeur d'eau en hydrogène et oxyde de zinc.

Chaleur solaire pour l'industrie

La combinaison du solaire à concentration avec des énergies fossiles pour la valorisation de rejets de chaleurs ou dans le cadre d'un cycle industriel continu permet de générer de l'énergie de processus de haute qualité; l'utilisation de l'énergie solaire permet ainsi une réduction des émissions de CO₂ et des coûts énergétiques.

Electricité solaire thermique à concentration

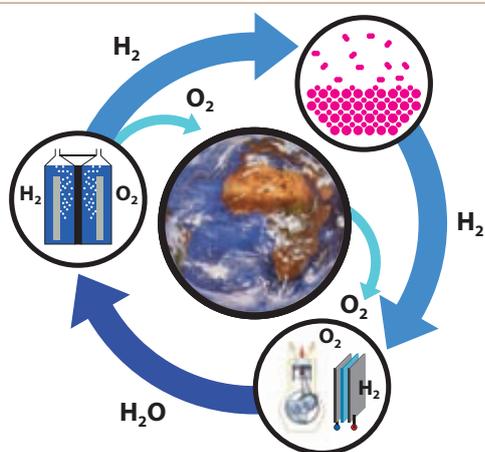
Une des technologies les plus prometteuses dans ce secteur énergétique est le système parabolique linéaire. L'énergie solaire est concentrée au moyen de miroirs paraboliques reflétant le rayonnement solaire qui est focalisé sur un tuyau posé tout au long du centre de la parabole. Le processus chauffe le fluide caloporteur à l'intérieur du tuyau. La vapeur ainsi générée fait fonctionner une génératrice à vapeur pour la production d'électricité.

Etre visionnaire pour progresser

L'hydrogène a de l'avenir en tant qu'agent énergétique. Il semble prédestiné à répondre, au moins partiellement, à la demande multiple en énergies – en particulier aussi dans un futur « post-énergie fossile ». Ses principaux avantages sont le fait qu'on peut le produire partout dans le monde à partir de n'importe quelle source d'énergie, qu'en le brûlant, on ne génère que de l'eau et que globalement il ne donne pas lieu à des émissions de CO₂, pour autant qu'il provienne de sources d'énergie non fossiles. D'une manière générale, l'utilisation de l'hydrogène ouvre des pistes variées dans le domaine de l'énergie, la première priorité revenant à la mobilité, un secteur dans lequel il est urgent d'agir. Mais sa production, son stockage, son transport et sa distribution demandent encore de gros efforts de recherche et de développement.

Production et stockage durables absolument nécessaires

La production annuelle mondiale d'hydrogène dépasse 68 millions de tonnes, ce qui est déjà l'équivalent énergétique de plus de 4% de la production de pétrole. Pour 76% environ de la production actuelle d'hydrogène, la matière première est le gaz naturel, pour 23% le pétrole et seul 1% provient de l'électrolyse, pour laquelle on utilise de l'électricité. Ces quantités produites sont utilisées surtout dans la pétrochimie et l'industrie des engrais. Si l'on veut que l'hydrogène soit aussi employé dans des applications énergétiques, apportant ainsi une contribution effective à la réduction des émissions de CO₂, il conviendra de développer des procédés alternatifs de production. En Suisse, la recherche se concentre depuis quelque temps sur la conversion de l'eau en hydrogène, d'une part, au moyen de l'électricité



Un cycle de l'hydrogène basé sur l'utilisation de sources d'énergie renouvelables.

de d'origine hydraulique et, d'autre part, par l'utilisation directe du rayonnement solaire ou par l'intermédiaire d'oxydes métalliques réversibles produits dans des fours solaires. Au premier plan des recherches dans ce domaine se posent surtout des questions qui relèvent de la science des matériaux.

Le stockage de l'hydrogène constitue lui aussi un très grand défi. La recherche suisse, qui collabore avec des chercheurs de l'étranger, met notamment l'accent sur le stockage dans les réservoirs à hydrures métalliques, qui est réversible, tandis que le stockage traditionnel du gaz sous pression et le stockage cryogénique de l'hydrogène liquide ne le sont pas.

Être visionnaire demande de l'endurance

La mobilité est actuellement le champ d'application de l'hydrogène qui est la principale motivation des recherches, pour remplacer les carburants fossiles. C'est un très grand défi. Dans plusieurs pays déjà, des projets de démonstration montrent l'utilisation de l'hydrogène pour la mobilité, dans un moteur à combustion interne ou dans une pile à combustible à basse température alimentant un moteur électrique.

Comme l'hydrogène est, depuis plus de cent ans, un élément bien connu des industries chimique, pharmaceutique, métallurgique et alimentaire, il s'agit maintenant de construire une passerelle pour son utilisation future comme source d'énergie. Celle-ci devra s'appuyer sur des agents énergétiques de base utilisables durablement et créer des cycles de matériaux acceptables pour l'environnement.

L'association pour l'hydrogène Hydropole (www.hydropole.ch) rassemble en un réseau national les compétences de l'économie de l'hydrogène en Suisse en matière de production de ce gaz et les travaux de recherche variés des institutions impliquées. On dispose ainsi d'une plate-forme qui favorise intelligemment le dialogue entre la recherche dans les Hautes écoles et les activités de l'industrie.

Mots-clés

Hydrogène

L'hydrogène est le plus petit élément et le gaz le plus léger. C'est un constituant de l'eau et de la plupart des composés organiques, qu'on trouve très rarement sous sa forme élémentaire dans la nature. Tout comme l'électricité, l'hydrogène est donc un agent énergétique secondaire qu'il faut d'abord produire avant de pouvoir utiliser.

Electrolyse

Dans l'électrolyse de l'eau, on établit une tension électrique entre deux électrodes et obtient ainsi de l'hydrogène gazeux à la cathode. Depuis cent ans, des installations d'électrolyse de l'eau sont en exploitation dans le monde entier, avec une puissance pouvant aller jusqu'à plusieurs MW.

Cellule tandem PEC

Les cellules tandem photoélectrochimiques (PEC) permettent de dissocier l'eau directement par le rayonnement solaire. On combine, par exemple, de nouvelles électrodes en couches minces, photosensibles et peu coûteuses, en oxyde de fer (« la rouille ») avec des matériaux semi-conducteurs en couches minces comme le dioxyde de titane (« le blanc des pâtes dentifrices »).

Réaction réversible mettant en jeu des oxydes métalliques

Il est possible d'utiliser certains complexes d'oxydes métalliques comme substances de stockage thermo-chimique de l'hydrogène. Dans un procédé cyclique, les oxydes métalliques sont d'abord réduits à des températures de plus de 1200 °C, puis ré-oxydés en fonction des besoins dans un procédé de dissociation à basse température utilisant de l'eau comme source d'hydrogène.

Conversion optimale de l'énergie

On utilise les pompes à chaleur pour le chauffage des locaux et la préparation de l'eau chaude sanitaire. Ces machines produisent de la chaleur à un niveau de température utile, à partir de celle qu'elles prélèvent de l'air extérieur, des eaux souterraines, du sol ou de rejets thermiques. L'entraînement des pompes à chaleur est le plus souvent électrique. Le remplacement des chauffages à mazout ou à gaz par des pompes à chaleur réduit la consommation de combustibles fossiles, et donc aussi les émissions de CO₂. Si cette électricité est d'origine renouvelable – hydraulique, éolienne ou photovoltaïque – ou d'origine nucléaire, la réduction des émissions de CO₂ ainsi réalisée est particulièrement importante. Mais les pompes à chaleur peuvent aussi être entraînées par de l'électricité produite par des centrales modernes à cycle combiné ou par des installations de couplage chaleur-force. La combinaison de ces systèmes permet de réduire la consommation d'énergie fossile et les émissions de CO₂ de 50%.

Des développements à différents niveaux

Pour pouvoir réaliser les systèmes les plus efficaces possibles, la recherche met l'accent sur l'amélioration du rendement (coefficient de performance COP et coefficient de performance annuel moyen COPA) et sur un élargissement du champ d'application. Grâce, par exemple, au projet lancé en 1994 d'un compresseur à port intermédiaire d'injection de vapeur, c'est un produit 15% plus efficace qui est commercialisé depuis 2004. Pourtant, toutes les possibilités d'amélioration du rendement des pompes à chaleur ne sont pas encore épuisées.

Mots-clés

Pompe à chaleur et machine frigorifique

Aussi bien la pompe à chaleur que la machine frigorifique « pompent » de la chaleur d'une température relativement basse à une température plus élevée. Pour fonctionner, ce procédé requiert une source extérieure d'énergie, car la nature tend toujours à égaliser les températures.

COP (coefficient de performance)

Cette grandeur est un rapport entre la chaleur utilisable délivrée et l'énergie nécessaire à son entraînement. Le COP dépend des caractéristiques de la machine, de la température de la source de chaleur utilisée et de celle à laquelle l'énergie de chauffage est délivrée.

COPA (coefficient de performance annuel moyen)

Comme le COP dépend de la température, les conditions de travail de la pompe à chaleur subissent des variations au cours d'un hiver. Le coefficient de performance annuel moyen caractérise la performance moyenne sur l'ensemble de la période de chauffage.



L'utilisation de pompes à chaleur multifonctionnelles offre de grands avantages ; les travaux de recherche et de développement cherchent à améliorer encore leur rendement et à optimiser leur intégration aux installations techniques du bâtiment en général. Cette pompe à chaleur de 450 kW, utilisant pour son entraînement l'énergie électrique fournie par une centrale CCF modulaire à moteur à gaz, fait partie de la centrale d'énergie d'un grand complexe immobilier.

Le fluide de travail de la pompe à chaleur est un autre thème essentiel de la recherche. En améliorant l'intégration des pompes à chaleur à l'ensemble des installations techniques du bâtiment, il a été possible de suivre jusqu'ici les différents développements enregistrés dans le secteur de la construction, qu'il s'agisse d'installations standardisées, et donc plus économiques, ou conçues en fonction d'une isolation thermique toujours plus poussée dans les bâtiments.

Chaleur et froid d'un seul coup d'œil

À côté des simples pompes à chaleur pour le chauffage des habitations, la réalisation d'installations multifonctionnelles – chauffage, préparation d'eau chaude sanitaire, réfrigération, congélation, déshumidification – est recherchée. La source de chaleur est ici un aspect à étudier de près, car la dynamique du fonctionnement pose des exigences particulières.

Il ne faut oublier non plus la place importante qu'occupe l'énergie de refroidissement dans les entreprises industrielles et commerciales, puisque les procédés utilisés là font appel à des équipements de conception analogue à celle des pompes à chaleur. Les besoins en froid vont augmenter ; c'est pourquoi on attend de la recherche et du développement qu'ils contribuent aussi à l'amélioration des rendements et à la mise au point de technologies permettant une utilisation optimale des rejets de chaleur. Dans les équipements de production de froid, l'accent est mis sur l'amélioration des composants et l'intégration du système.

Petits, décentralisés – et enfin aussi en harmonie avec l'environnement

Les petits aménagements hydroélectriques sont des installations d'une puissance allant jusqu'à 10 mégawatts. Moteurs de l'industrialisation, ils ont été construits par tout le long des cours d'eau en Suisse, alors que la protection de l'environnement n'était pas encore d'actualité. Avec le développement des réseaux de transport de l'électricité, la plupart de ces petites centrales hydroélectriques ont été mises hors service au profit de plus grandes installations. Aujourd'hui, l'objectif est d'encourager à nouveau leur développement, tout en respectant les impératifs de la protection des eaux.

Le potentiel méconnu de la petite hydraulique

Depuis 1992, les installations dont la puissance ne dépasse pas 1 mégawatt bénéficient des tarifs d'encouragement de la Confédération pour l'injection d'électricité dans le réseau. Leur nombre a régulièrement augmenté durant la dernière décennie. Si l'on considère



De l'électricité grâce au réseau d'approvisionnement en eau potable

Beaucoup de réseaux d'approvisionnement en eau disposent d'un grand potentiel énergétique inutilisé, lié à la dénivellation. Généralement, la pression excédentaire est ramenée au niveau voulu par des réducteurs de pression ou se perd dans des chambres d'équilibre. L'énergie correspondante est ainsi transformée en chaleur, inutilisable. Actuellement, différents projets de recherche s'occupent de technologies novatrices. En Suisse, il existe déjà toute une série d'entreprises offrant l'ensemble des produits nécessaires aux centrales à eau potable; ce sont des turbines Pelton, des turbines-pompes tournant en sens inverse et une turbine Pelton à contre-pression développée spécialement. La valorisation des potentialités énergétiques est ainsi possible de manière rentable, même pour les petits aménagements.

les installations jusqu'à 10 mégawatts, l'importance – aujourd'hui déjà – de leur contribution à l'approvisionnement en électricité apparaît clairement: les quelque mille aménagements de cette catégorie fournissent 3439 gigawattheures – soit plus de 5% de la production totale d'électricité en Suisse. Un potentiel considérable demeure cependant inexploité. Quelles sont encore les possibilités réelles de mise en œuvre? Un projet de recherche étudie la question.

Objectif de la recherche: la machinerie la plus simple possible

Du point de vue technique, il n'y a pas de nouveauté spectaculaire à attendre de la recherche; cette technologie est déjà bien éprouvée. La recherche vise avant tout l'optimisation des systèmes existants afin d'améliorer la rentabilité des installations. Tandis que, pour les grandes centrales hydroélectriques, on cherche à améliorer la productivité, c'est la simplicité qui prime dans les petites installations pour que celles-ci puissent être aménagées à peu de frais. Les innovations sont très prometteuses dans le domaine des turbines et celui des systèmes fermés, notamment dans les centrales à eau potable et celles exploitant les eaux usées.

Protection de l'environnement et modèles de financement

Tirer parti des potentialités encore inexploitées des petits aménagements hydroélectriques ne sera possible que s'il n'en résulte aucun nouvel impact environnemental. C'est pourquoi on s'intéresse également à la mise au point de mesures écologiques d'accompagnement, parmi lesquelles des projets de renaturation, l'optimisation des échelles à poissons, et des solutions aux problèmes liés aux remous, au marnage et aux débits résiduels. Correctement conçus, les petits aménagements hydroélectriques peuvent même contribuer à la revalorisation des milieux vitaux. La faisabilité financière est aussi un important sujet de recherche: différents modèles de financement sont étudiés et des directives sur les meilleures pratiques sont élaborées à l'intention des exploitants.

Mots-clés

Rentabilité des petits et des grands aménagements hydroélectriques

La production d'électricité par la force hydraulique n'est pas seulement propre; elle est aussi rentable, surtout dans le cas des grands aménagements. Les recherches en rapport avec ces derniers sont donc logiquement financées par l'économie privée elle-même, tandis que les pouvoirs publics s'occupent de la recherche réglementaire nécessaire à la sécurité de ces grands ouvrages. Ceux-ci posent cependant des problèmes écologiques qui sont souvent un obstacle politique à leur réalisation. Quant aux petites centrales hydroélectriques, elles doivent, par contre, encore être simplifiées et optimisées pour atteindre le seuil de la rentabilité, ce qui requiert souvent le soutien des pouvoirs publics.

Centrales à eau potable

Les centrales à eau potable ont rencontré un véritable succès commercial. Appartenant à la catégorie des microcentrales hydroélectriques, elles sont intégrées aux réseaux d'approvisionnement en eau. L'écobilan global de telles installations est excellent et leurs potentialités d'application considérables.

Combustion, gazéification, fermentation

La biomasse est un agent énergétique d'une grande souplesse. La matière brute est disponible à de nombreux endroits sous forme de déchets organiques biogènes ou de matières premières qui repoussent sans cesse; plusieurs technologies de transformation sont déjà opérationnelles à l'heure actuelle. Une question complexe se pose cependant: quel procédé utiliser pour transformer quel type de biomasse et obtenir quel agent énergétique secondaire (électricité, chaleur ou carburants)? En conséquence, il ne s'agit pas seulement de développer des solutions efficaces et rentables, mais également d'assurer autant que possible une utilisation respectueuse de l'environnement.

A moyen terme, le but est de doubler la production actuelle d'énergie issue de la biomasse. Pour l'instant, c'est le bois qui constitue la plus grande partie de la biomasse utilisée. Le reste de la biomasse utilisée est constitué avant tout de déchets et de substances résiduelles de la production agricole et forestière. On en utilise aujourd'hui environ le tiers du total possible.



Production propre d'électricité à partir du bois

La réduction des émissions de particules fines et de NO_x lors de la production de chaleur et d'électricité est obtenue par la combustion du gaz de bois fourni par un gazéificateur. Le projet comprend, d'une part, une centrale comportant un générateur électrique à bois et une chaudière au bois déchiqueté et, d'autre part, le réseau de chauffage à distance de Rieden/Stans-Oberdorf. Dans cette installation, le bois de forêt non traité produit de la chaleur tandis que l'énergie des déchets de bois et du bois de récupération est convertie en électricité et en chaleur d'une manière neutre en termes de CO_2 . Quand elle sera entièrement en exploitation, l'installation produira 9,1 GWh de chaleur et 9 GWh d'électricité.

Le bois

Aujourd'hui, c'est en brûlant des substrats secs, dont le bois, – à l'avenir éventuellement en y adjoignant la gazéification thermique – que l'on peut remplacer la plus grande quantité d'agents énergétiques fossiles. Dans les installations de chauffage, le mazout et le gaz naturel peuvent être remplacés quasiment à 100%. L'objectif est le développement d'installations complètes de rendement élevé, qui brûlent complètement le combustible tout en ayant les émissions les plus faibles possibles.

La gazéification est un procédé qui délivre de l'énergie de haute valeur, puisque cette énergie peut ensuite être utilisée de plusieurs manières (électricité, carburants). Les installations actuelles seront l'objet d'un suivi, les données d'exploitation, coûts compris, seront recueillies et la technologie améliorée, de manière à augmenter le rendement.

Les poêles polluent l'air

L'utilisation du bois à des fins énergétiques devrait doubler au cours des 10 à 15 prochaines années, mais cela devrait se faire sans pour autant polluer l'air davantage. C'est pour cela qu'une partie importante de la recherche est consacrée aux poussières émises sous forme de particules fines. Comment sont-elles produites? Quelles sont leurs dimensions, leur nombre, leur nocivité? La problématique des particules fines doit être résolue tant par l'amélioration de la technique de combustion que par le recours à des séparateurs pour les gaz de fumée. Actuellement, les grandes installations sont déjà équipées de filtres électrostatiques efficaces et bon marché. Par contre, les chaudières d'une puissance inférieure à 70 kW, parmi lesquelles les nombreux poêles et cheminées de salon, posent encore des problèmes.

Des fourneaux de bon rendement et de qualité certifiée

Il s'agit d'optimiser les systèmes de manière à ce qu'on trouve sur le marché des poêles propres, avantageux, présentant un rendement élevé et émettant peu de polluants. Un label de qualité créera la transparence qu'attendent les consommateurs.

Chauffage à distance et électricité grâce aux chaudières au bois déchiqueté

Les grandes installations qui produisent de l'électricité et alimentent simultanément un réseau de chauffage à distance, ont un excellent rendement. Il s'agit donc ici, d'une part, d'optimiser les systèmes existants et, d'autre part, de trouver de nouveaux moyens de limiter les émissions.

Les autres types de biomasse

L'utilisation énergétique des autres types de biomasse passe, par exemple, par la fermentation anaérobie. Les objectifs sont l'optimisation des procédés actuels (efficacité énergétique, réduction des émissions) et la mise au point de mesures destinées à assurer la qualité.

Les « paysans de l'énergie » produisent de la chaleur et de l'électricité

L'agriculture possède un important potentiel énergétique encore totalement inexploité. Le « paysan de l'énergie » qui produit de la chaleur et de l'électricité sur son domaine agricole n'est plus une utopie. Il ne

s'agit pas ici de produire à grande échelle des plantes énergétiques, mais bien plutôt de faire fermenter les déchets des récoltes et les engrais de ferme dans le cadre d'une production couplée d'électricité et de chaleur.

Une question encore sans réponse est, par exemple, la valorisation de la chaleur produite, qui représente l'essentiel – 50 à 60% – de la production totale d'énergie. Certes, cette chaleur peut être utilisée en hiver pour chauffer la ferme. Mais qu'en faire en été? Une piste possible consiste à développer des systèmes tirant délibérément parti de synergies – par exemple, par un raccordement à une installation de séchage ou à un élevage de poulets, puisque ce dernier requiert une température constante de 33 °C.

Refermer sur eux-mêmes les flux de matières

Faisabilité technique et rendement des procédés ne sont pas les seuls critères décisifs pour évaluer une technologie donnée; celle-ci doit aussi être performante écologiquement et acceptée par la population. C'est pour cette raison, entre autres, que la recherche énergétique suisse adopte une attitude réservée à propos de la culture intensive et généralisée de plantes énergétiques. Le programme de recherche sur la biomasse vise en particulier à refermer les flux de substances pour obtenir des cycles. Les substances nutritives de valeur ne doivent pas être perdues, mais au contraire réinsérées dans la chaîne de production. Pour ce qui concerne l'injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel, il s'agit de limiter voire d'éliminer les pertes de méthane et de réduire les émissions d'ammoniaque.

Des carburants issus de plantes énergétiques

Les carburants biogènes sont un sujet de recherche. Il sera ainsi possible d'exporter technologies et savoir-faire et d'importer en contrepartie des biocarburants. Au programme de la recherche dans ce domaine figurent l'amélioration des installations de gazéification, ainsi qu'un certain nombre de questions encore sans réponse concernant l'injection du biogaz dans le réseau de gaz naturel et les écobilans des différents biocarburants.

Mots-clés

Émission de particules fines et d'oxydes d'azote

L'utilisation de l'énergie du bois ne génère pas d'émission supplémentaire de CO₂. Par contre, les rejets d'oxydes d'azote (NO_x) et de particules fines polluent. Afin de réduire autant que possible cette pollution, les fourneaux et les chaudières doivent être améliorés.

Bois utilisé

Environ 8 à 10 millions de m³ de bois poussent chaque année dans les forêts suisses, dont 6,4 millions de m³ ont été utilisés en 2007. La consommation annuelle de bois en Suisse est d'environ 7 millions de m³, compte tenu du solde du bilan des importations et des exportations.

Bois-énergie

Le bois-énergie est disponible sous plusieurs formes. Aujourd'hui, la consommation annuelle de bois-énergie atteint 3 millions de m³ environ, alors qu'on pourrait prélever dans ce but de la forêt suisse – sans l'exploiter outre mesure – quelque 5 millions de m³.

Déchets biogènes et substances résiduelles

Les déchets organiques et autres substances résiduelles issus de l'activité de nombreuses entreprises peuvent servir à la production d'énergie; sont concernés l'agriculture (déchets des récoltes et engrais de ferme), l'économie du bois, l'industrie et la gastronomie, les ménages, les installations de traitement des eaux usées et les abattoirs.

Matières premières renouvelables

A côté du bois, diverses plantes fibreuses (herbe, chanvre, lin), des graines oléagineuses (colza, tournesol), des céréales (« grain énergétique »), ainsi que les betteraves sucrières et les pommes de terre figurent parmi les matières premières renouvelables – elles repoussent sans cesse – pouvant être utilisées pour la production d'énergie.



L'Institut Paul Scherrer (PSI) à Villigen étudie la gazéification hydrothermale de la biomasse dans une installation de laboratoire fonctionnant en continu, avec un débit de 1 kg/h. Le procédé se déroule typiquement à 400 °C sous 30 MPa.

Chaleur et électricité des profondeurs

A peu d'exceptions près, la température de la roche augmente avec la profondeur: en Suisse, elle s'élève en moyenne de 30°C par kilomètre. La géothermie utilise, d'une part, la chaleur relativement faible des couches de terre proches de la surface et, d'autre part, les températures élevées en grande profondeur. Des projets pilotes utilisant la chaleur provenant de ces profondeurs pour produire de l'électricité sont très prometteurs: si cette technologie s'avère rentable, elle pourrait couvrir à long terme une grande partie de nos besoins en électricité.

Chaleur superficielle de la terre pour chauffer et rafraîchir

La technique consistant à capter la chaleur de la terre à des fins de chauffage par l'intermédiaire de sondes géothermiques verticales (SGV) raccordées à des pompes à chaleur est arrivée à maturité et peut être utilisée à maints endroits. Des milliers de systèmes de ce genre sont déjà en service dans les caves de petits et moyens bâtiments et y remplacent les chauffages à mazout. Si la concurrence entre les fournisseurs commerciaux incite à améliorer l'efficacité et à faire baisser les coûts, de la recherche est encore nécessaire pour concevoir et faire fonctionner des installations SGV complexes servant à

la fois à chauffer et à rafraîchir des bâtiments, pour développer de nouveaux fluides caloporteurs et pour élaborer des instruments d'assurance qualité pour la planification et pour la réalisation.

Capter des sources chaudes et l'eau chaude des tunnels

En Suisse, les sources hydrothermales chaudes et très chaudes sont des ressources géothermiques importantes. L'eau des tunnels jusqu'à 30°C et les sources peu chaudes peuvent être utilisées pour le chauffage. Les sources très chaudes de 80 à 130°C, comme on en trouve dans le bassin molassique du

Plateau suisse, en Valais et vraisemblablement dans le Canton de Vaud, pourraient aussi produire de l'électricité. Cependant, l'exploitation de sources hydrothermales comprend toujours des risques: on ne peut prévoir avec certitude leur débit et leur température.

Chauffe-eau à 5000 mètres de profondeur

Le plus grand potentiel de production d'électricité presque sans émission de CO₂ se trouve dans l'exploitation de réservoirs de chaleur à plus de 150°C situés en grande profondeur par des systèmes géothermiques stimulés (SGS), en anglais Enhanced Geothermal Systems (EGS). Les améliorations techniques et économiques qui ne cessent de se produire feront baisser les températures minimales requises pour l'exploitation. Ces réservoirs ne contiennent pas ou peu d'eau chaude naturelle. Il faut donc recourir à des mesures d'ingénierie pour les exploiter. Un SGS se compose d'au moins deux forages profonds d'environ 5000 mètres et distants de plusieurs centaines de mètres. De l'eau est injectée sous pression par l'un des forages et ramenée à la surface par l'autre. Elle se réchauffe en circulant entre les deux forages dans des fissures naturelles de la roche élargies artificiellement. Il faut surtout encore effectuer des recherches sur la création et l'exploitation de réservoirs profonds, en particulier sur les risques encourus (tremblements de terre), et sur la transformation de chaleur à basse température en électricité. La recherche géothermique suisse participe activement à un projet international de recherche en Alsace (Soultz-sous-Forêts) et aussi aux mesures complémentaires requises par le projet pilote « Deep Heat Mining » à Bâle, stoppé par les autorités locales.

Mots-clés

Centrale à basse température

L'eau chaude des sources hydrothermales (à partir de 80-100°C) présente un grand potentiel pour produire de l'électricité sans émissions de CO₂. Cependant, il convient de réduire les risques et d'améliorer la technologie de transformation pour exploiter ces ressources de manière optimale. La production d'électricité à partir d'eau chaude à des températures relativement basses de l'ordre de 80°C constitue un défi particulier.

Géothermie profonde

Roches chaudes sèches (Hot Dry Rock HDR) – Roches chaudes fracturées (Hot Fractured Rock HFR) – Systèmes géothermiques stimulés (SGS) ou Enhanced Geothermal System (EGS): ces notions se recoupent et désignent des systèmes servant à exploiter la chaleur des roches profondes (aujourd'hui jusqu'à 7000 mètres de profondeur).



Au cours de l'hiver 2009/10, les services industriels de la ville de Zurich (ewz) ont effectué des forages jusqu'à une profondeur d'environ 2700 m en vue d'étudier le sous-sol zurichois et, idéalement, d'exploiter des nappes d'eau chaude. Le projet de forage a fourni une foule de données géologiques, sans toutefois déboucher sur la découverte de nappes importantes. Les données sont maintenant utilisées pour mieux évaluer le potentiel géothermique de la région de Zurich.

Le vent en poupe pour le savoir-faire suisse

Aujourd'hui, on trouve sur le marché des éoliennes techniquement bien au point, destinées à l'exploitation dans des conditions standard. Cette branche de l'économie se développe durablement au rythme effréné de 30% en croissance annuelle au niveau mondial; cela montre bien les potentialités considérables de l'énergie éolienne. Ces dernières années, le prix des éoliennes a augmenté de plus de 20% et on parle maintenant de délais de livraison de plus de deux ans, à cause de goulots d'étranglement au niveau des matériaux de base. Des études sérieuses montrent qu'il existe aussi en Suisse un nombre respectable de sites qui conviennent à la production d'électricité éolienne et dont la productivité est tout à fait comparable à celle observée dans les pays où l'énergie éolienne est déjà bien établie. La recherche et le développement en matière d'énergie éolienne se concentrent sur les concepts de composants et d'installations adaptés à la réalité suisse (givrage, vents turbulents, adhésion du public). Parallèlement, des entreprises suisses commercialisent divers produits sur le marché mondial de l'énergie éolienne en tant que sous-traitants: matières plastiques, capteurs de mesure, éléments mécaniques et électriques de construction.

L'énergie éolienne dans les montagnes

Des projets de recherche variés contribuent à l'approfondissement des connaissances et du savoir-faire en matière d'utilisation de l'énergie éolienne dans les

Le site expérimental du Güttsch près d'Andermatt est utilisé dans le cadre de programmes de recherche nationaux et internationaux étudiant les éoliennes et les appareils pour les mesures météorologiques en climat froid. L'expérience acquise sur ce site sera utile à la construction et à l'exploitation d'installations en conditions arctiques ou en montagne. Il s'agit de trouver des matériaux qui ne se givrent pas et d'être en mesure de prévoir les conditions météorologiques conduisant au givrage.



conditions propres à la Suisse:

- développement de composants pour les installations (capteurs de mesure, nanotechnologie, électronique de puissance) par l'industrie suisse;
- augmentation de la durée de fonctionnement des éoliennes et de leur production d'énergie dans des conditions extrêmes (climat, turbulences, logistique);
- augmentation de la « valeur » de l'énergie éolienne, optimisation de l'intégration des éoliennes à l'approvisionnement en électricité (fore-casting, énergie de réglage);
- amélioration de l'adhésion du public à l'énergie éolienne, par le recours à des spécialistes des sciences sociales et de l'environnement, dans le but d'accélérer la réalisation des projets.

En outre, des projets pilotes et de démonstration permettent de faire le pont entre la recherche proprement dite et l'application pratique et d'éliminer au moins partiellement des obstacles non techniques à une plus forte pénétration du marché.

Collaboration internationale

L'éolienne du Güttsch près d'Andermatt permet l'étude des effets de la glace et de la neige. Le but est d'empêcher le givrage des pales afin d'augmenter la production d'énergie. Ces analyses suscitent beaucoup d'intérêt au niveau international, car de nombreux sites propices à l'exploitation de l'énergie éolienne sont situés dans les zones froides du globe.

A part les basses températures, ce sont les fortes turbulences du vent qui représentent un défi particulier pour le concepteur et l'exploitant des éoliennes.

Tenir compte des aspects sociaux

Actuellement, la recherche se consacre aussi aux aspects sociaux qui entravent l'utilisation de l'énergie éolienne. Les trois Offices fédéraux de l'énergie, de l'environnement et du développement territorial ont élaboré, en collaboration avec les Cantons, les organisations écologiques et l'économie énergétique, un « Plan directeur de l'énergie éolienne en Suisse » qui définit les critères de sélection des sites de futurs parcs éoliens en Suisse. Ce document est utilisé par les Cantons pour leurs plans directeurs et donne des renseignements sur les sites potentiels.

Mots-clés

Adhésion du public

Le choix d'un site ne dépend pas seulement des conditions de vent, mais aussi de l'infrastructure et de la protection du paysage. Le « Plan directeur de l'énergie éolienne en Suisse » a défini des principes et des critères pour la sélection de sites susceptibles d'accueillir des parcs éoliens. Les Cantons procèdent maintenant à cette sélection dans le cadre de l'adaptation de leurs plans directeurs.

Now-casting

L'énergie éolienne est disponible irrégulièrement. Une exploitation optimale du réseau n'est possible qu'à deux conditions: il faut disposer d'énergie de réglage (p. ex., la force hydraulique) et de prévisions météorologiques aussi fiables que possible pour les prochaines heures (Fore-and now-casting).

La nanotechnologie pour le revêtement des pales de rotor

Il se pourrait que le développement de revêtements synthétiques pour la surface des pales de rotor apporte une solution avantageuse au givrage qui entrave le bon fonctionnement des éoliennes. De manière analogue aux protéines antigèle que l'on rencontre dans la nature, ces revêtements pourraient abaisser le point de congélation de l'eau.

De nouveaux concepts de réacteurs

L'énergie nucléaire, utilisée depuis des décennies en Suisse pour la production d'électricité sans émission de CO₂, se caractérise par une grande fiabilité. Avec la force hydraulique, cette technologie place la Suisse dans le cercle restreint des pays dont la production d'électricité est presque exempte de CO₂. Dans le contexte politique actuel, elle représente une option essentielle pour un approvisionnement énergétique sûr, économique et garanti à long terme. Par conséquent, la recherche ne se concentre pas uniquement sur les installations existantes, mais suit également les tendances de la technologie nucléaire moderne.

Continuité en matière de formation et de recherche

Les travaux de recherche sur la fission nucléaire sont essentiellement menés à l'Institut Paul Scherrer (PSI) de Villigen (AG), tandis que la formation est prise en charge par les Ecoles polytechniques fédérales, avec le Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement

des systèmes à l'EPF de Lausanne et la Chaire des systèmes énergétiques nucléaires à l'EPF de Zurich.

Le PSI contribue notamment à l'exploitation sûre et économique des centrales nucléaires en Suisse. Le soutien apporté aux exploitants des centrales et aux Autorités de la sécurité nucléaire prend la forme d'analyses, mais aussi et surtout d'études dans le laboratoire équipé de cellules blindées (Hotlabor). Le projet HRA (Human Reliability Analysis) s'intéresse aux réactions humaines en les intégrant à des modèles de simulation. A l'avenir, des questions fondamentales sur la compréhension des phénomènes liés au fonctionnement des réacteurs passeront au premier plan. Avec le projet STARS, les chercheurs ont ainsi réalisé des analyses détaillées du régime transitoire des centrales nucléaires suisses dans le cas d'hypothétiques incidents liés à la réactivité ou à une perte de liquide de refroidissement. A l'avenir, les études menées jusqu'ici sur le combustible nucléaire seront complétées et confirmées par la modélisation de l'oxyde d'uranium au niveau moléculaire.

Energie nucléaire

Les activités de recherche en énergie nucléaire relèvent de nombreux domaines, de la sécurité des centrales existantes (étude du vieillissement des matériaux, p. ex.) aux systèmes de stockage final, en passant par les concepts des réacteurs du futur, aussi bien pour la technologie de la fission que pour celle de la fusion nucléaire.

D'envergure internationale, les travaux sont intégrés au programme Euratom – dont le « Generation IV International Forum » et ITER – et à d'autres programmes cadres de recherche de l'UE, ainsi qu'aux projets de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE, de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et à divers programmes de recherche industrielle.

Eu égard aux efforts pour réduire les émissions de CO₂ dans le monde entier (le Protocole de Kyoto, p. ex.) et à l'importance croissante de l'électricité au titre d'énergie à usage multiple, les centrales de conception avancée et les futures installations de fusion nucléaire joueront un rôle de premier plan dans l'approvisionnement énergétique. Outre la production classique d'électricité au moyen de turbines à vapeur, d'autres formes d'utilisation de l'énergie et plus spécialement de la chaleur offrent matière à débat. Ainsi, des études portant sur la production d'hydrogène à partir de l'énergie nucléaire sont actuellement en cours. Mais

seules des activités de recherche intensives et continues peuvent garantir la poursuite du développement technique des matériaux et des procédés ainsi que la formation et l'encouragement de la relève scientifique.

Néanmoins, la recherche nucléaire est influencée par l'opinion du public sur la fission comme sur la fusion. La sécurité des installations nucléaires, mais aussi et surtout les solutions pour le stockage final des déchets radioactifs constituent des sujets récurrents dans le cadre du débat sur l'énergie nucléaire. De plus en plus souvent, la disponibilité du combustible pour les réacteurs est aussi abordée; sans doute, la demande croissante de combustible devrait-elle conduire à réintroduire à titre complémentaire le recours à la technologie des surgénérateurs. A l'instar d'autres systèmes de production d'énergie, l'utilisation des technologies nucléaires est étroitement dépendante du contexte socio-politique mondial.

Avec l'élargissement du fossé entre l'offre et la demande de sources d'énergie fossiles, la nécessité de recourir à des énergies de substitution va se faire de plus en plus pressante. Ainsi l'attention se concentre-t-elle actuellement sur la sécurité, la rentabilité et une utilisation plus efficace des ressources dans le cadre des nouveaux concepts de réacteurs nucléaires, mais aussi, dans une perspective à plus long terme, sur les potentialités de la fusion nucléaire.

Un réacteur de recherche pour de nouveaux concepts

Le réacteur de puissance zéro Proteus du PSI sert, dans le domaine de la physique des réacteurs, à valider des logiciels pour l'étude de configurations spéciales du cœur et pour celle des combustibles fortement irradiés, qui permettent une utilisation plus poussée de l'uranium. Alors que jusqu'ici, les études se limitaient à de petits échantillons de barres de combustible fortement irradiées, les mesures portent désormais sur des éléments de combustible entiers. Le projet Life@Proteus (2008-2012) a pour ambition de recueillir des données de façon expérimentale pour garantir la qualité du calcul de paramètres clés de la physique des réacteurs. L'installation Proteus va donc être modifiée de façon à permettre une manipulation sans danger du combustible hautement radioactif. En parallèle, la sécurité de l'installation sera renforcée grâce à une numérisation du système de commande et au renforcement du bâtiment.

Collaboration dans le domaine des réacteurs nucléaires de demain

Le « Forum international Génération IV » permet d'aborder, avec la participation



L'accélérateur Tandem de l'EPF de Zurich est utilisé pour endommager les matériaux par irradiation et recueillir ainsi des connaissances utiles aux futures installations nucléaires. A l'issue de l'irradiation, les rapports entre les propriétés des matériaux et la texture sont analysés au PSI.

de la Suisse, les sujets en rapport avec le développement à long terme de l'énergie nucléaire. Pour l'étude des différents concepts de réacteurs et de leurs fluides de refroidissement, le PSI dispose aussi bien des compétences scientifiques que des infrastructures et des installations d'essai nécessaires. Ainsi, dans le projet FAST, les réacteurs rapides de quatrième génération sont modélisés et une comparaison est effectuée concernant leur efficacité en matière de gestion des actinides et leurs caractéristiques de sécurité. Les installations de grande envergure du PSI (Hotlabor, Proteus, PANDA, etc.) servent également à réaliser des études expérimentales sur les concepts de réacteurs, les combustibles et les déchets dans le cas des systèmes de quatrième génération.

La recherche sur les matériaux occupe également une place de choix au PSI, d'une part, avec des études sur les phénomènes de vieillissement des composants des réacteurs actuels, d'autre part, avec la caractérisation de matériaux prévus pour des températures extrêmes (de 850 à 1000 °C) dans les réacteurs de quatrième génération. Les compétences des spécialistes de la science des matériaux représentent une contribution essentielle de la Suisse aux projets internationaux de développement des réacteurs à haute température; elles concernent la corrosion fissurante due à la contrainte, la corrosion des gaines du combustible nucléaire, les méthodes de me-

sure non destructives et la fatigue des différents aciers. Les réacteurs de quatrième génération devraient être disponibles à la vente à compter de 2040.

Infrastructures pour la recherche en matière de stockage final

Les compétences acquises ces dernières années dans les domaines de la gestion et du stockage des substances radioactives sont réutilisables selon les besoins dans le cadre des projets de stockage final en cours. Les scientifiques du PSI se sont longtemps occupés de la sécurité des formations géologiques destinées au stockage, pour lesquelles la NAGRA (Société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs) est compétente. Outre les analyses menées au Hotlabor du PSI, le laboratoire souterrain du Mont Terri près de St-Ursanne (JU), auquel il doit prochainement être fait appel pour des essais de plus grande envergure, a également fait ses preuves. Dans le futur, il est prévu d'appliquer les connaissances acquises dans le domaine du stockage des déchets radioactifs aussi à d'autres matériaux toxiques. Avec le nouveau faisceau (Micro-XAS) de la Source de Lumière Suisse au PSI, une autre installation moderne est à disposition; on y réalisera des analyses spectroscopiques à l'échelle microscopique, applicables également aux substances radioactives comme, p. ex., les radionucléides d'un futur dépôt définitif.

Des jalons pour la mise en œuvre d'un potentiel considérable

La fusion nucléaire contrôlée pourrait à l'avenir permettre de produire de l'énergie en ruban. Les combustibles nécessaires à la production d'énergie par la fusion existent en quantité quasi illimitée et les volumes employés sont si modestes que l'utilisation de ce type de réacteur est parfaitement envisageable dans les grandes agglomérations. Autres avantages sur la fission nucléaire : un bilan satisfaisant du volume des déchets produits et une courte durée de vie des éléments radioactifs mis en jeu. Cependant, la mise en œuvre technique de la fusion nucléaire contrôlée représente un défi de taille ; même si l'on est encore loin d'une utilisation commerciale, les principaux jalons (ITER, DEMO) sont cependant déjà en place.

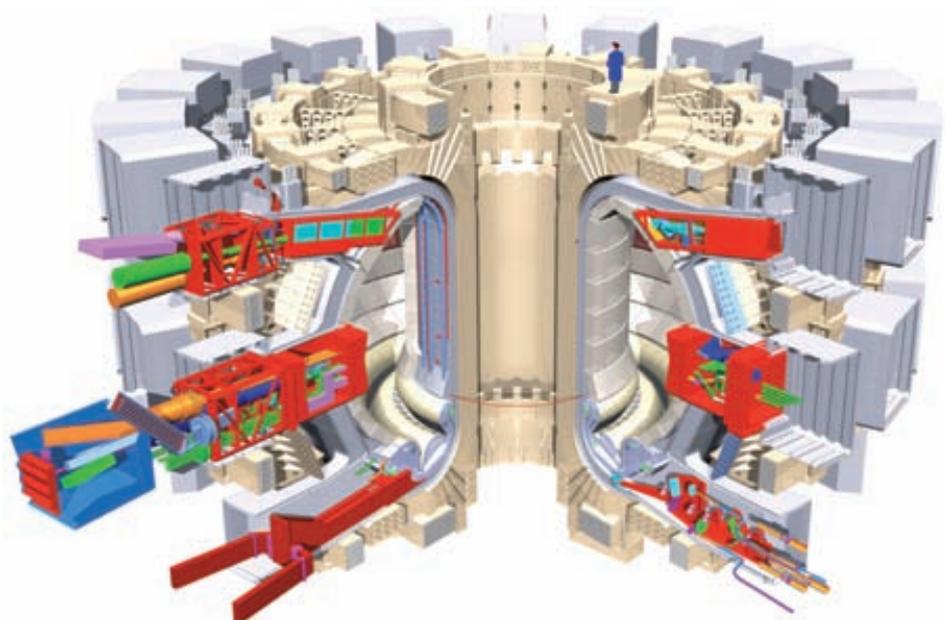
Construction d'un réacteur expérimental de fusion

Actuellement, la technique la plus avancée pour obtenir une réaction de fusion est le confinement magnétique du plasma. A des températures avoisinant la centaine de millions de degrés Celsius, les noyaux de deutérium et de tritium se heurtent avec suffisamment de violence pour vaincre la répulsion électromagnétique et entraîner leur fusion. L'énergie libérée par cette fusion est transformée en chaleur, qui peut servir à l'entraînement de turbines et de générateurs de manière tout à fait classique. Maintenant que les bases scientifiques

ont été jetées par le truchement d'une coopération quasi mondiale avec, notamment, le réacteur expérimental de fusion JET (Joint European Torus), utilisé depuis le milieu des années 1980 avec la participation de la Suisse, ITER devrait permettre de franchir une étape essentielle de la mise en œuvre technologique.

La construction du réacteur thermonucléaire international expérimental ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor ; en latin, ITER signifie le chemin) est préparée depuis 2007 à Cadarache, près d'Aix-en-Provence (F), et devrait s'achever dans une dizaine d'années. La puissance thermique attendue s'élève à 500 MW. Au contraire du JET et d'autres réacteurs expérimentaux, l'objectif est cette fois de prouver aussi que le fonctionnement quasi continu est possible. Avec un diamètre de plus de 12 mètres et un volume plasma de 840 m³, ITER est prévu pour fonctionner pendant 20 ans. Comme dernière étape avant l'exploitation commerciale de l'énergie de fusion, la communauté internationale envisage ensuite la construction d'un réacteur de démonstration baptisé DEMO. Tandis que ITER doit apporter la preuve de la faisabilité scientifique et technologique, DEMO doit, de son côté, démontrer que la production commerciale d'électricité est possible sur cette base.

Depuis 2007, le réacteur thermonucléaire international expérimental (ITER) est en construction à Cadarache, en France. Dans une dizaine d'années, ce réacteur de fusion devrait délivrer une puissance thermique de 500 MW. Les équipements de mesure des propriétés du plasma, qui entoureront le tore, joueront ici un rôle clé.



L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN)

Avec le développement de l'énergie nucléaire dans les années 1950, la Confédération a également structuré l'Autorité de surveillance. Depuis 1983, c'est la Division principale pour la sécurité des installations nucléaires (DSN), devenue aujourd'hui l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), qui est l'organisme responsable en la matière. Dans le cadre de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire, l'IFSN attribue et coordonne les mandats de recherche, ce qui permet de préciser et d'élargir l'état actuel des connaissances scientifiques et techniques. Des questions concrètes de sécurité en rapport avec les installations existantes ainsi que les problèmes et les phénomènes associés à la sécurité nucléaire en général sont à la base de ces projets de recherche.

La loi sur l'énergie nucléaire en vigueur depuis 2005 ne dit rien de la durée d'exploitation restante des centrales nucléaires. La désaffectation des centrales existantes dans un proche avenir est néanmoins inéluctable. Dans ce

contexte, l'IFSN doit surveiller le respect des dispositions légales relatives à leur exploitation, évaluer la progression de leur vieillissement et accompagner leur désaffectation ultérieure. La détermination des dates de désaffectation et la gestion des questions de sécurité et des investissements au cours des dernières années d'exploitation sont des sujets qui occuperont l'IFSN de plus en plus dans les années à venir.

En outre, l'interaction entre l'homme, l'organisation et la technique est un sujet d'importance puisque la sécurité d'une centrale nucléaire est fonction à la fois de facteurs humains, organisationnels et techniques. Ceci concerne, outre les causes événementielles de nature technique, l'impact de l'action humaine, aussi bien en conditions normales de fonctionnement qu'en cas d'incident.

L'IFSN encourage par ailleurs des activités de recherche qui relèvent du domaine de la gestion des déchets radioactifs. L'autorité de

surveillance doit évaluer la sécurité des solutions proposées.

Comme la date de la mise en service de nouveaux réacteurs nucléaires en Europe se rapproche, l'IFSN s'intéresse également à la technologie qui assurera leur sécurité. Dans le cas des nouveaux concepts, il s'agit, par exemple, de systèmes passifs de sécurité pour le refroidissement, avec circulation du liquide par gravité, et du « Core Catcher », qui doit retenir dans l'enceinte de confinement un cœur de réacteur fondu. Ces concepts sont déjà appliqués aux réacteurs à eau pressurisée du type « European Pressurized Reactor », qui sont en cours de construction en Finlande et en France.

Pour traiter ces sujets, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire mise sur la collaboration internationale et sur le savoir-faire reconnu.

Compétences en technologie des plasmas

Le principal acteur dans le paysage de la recherche sur la fusion en Suisse est le Centre de recherches en physique des plasmas (CRPP) de l'EPF de Lausanne. Dans le cadre de la coopération entre l'Euratom et la Confédération suisse en matière de recherche, le CRPP gère toute une série d'infrastructures de recherche qui couvrent divers aspects de la technologie de la fusion, telles que le Tokamak à configuration variable (TCV), l'installation TORPEX (Toroidal Plasma Experiment) et l'infrastructure SULTAN-IT pour la simulation de phénomènes de turbulence. En rapport avec ITER et DEMO, l'objectif du CRPP est de fournir des bases théoriques et expérimentales et d'apporter des contributions dans les domaines du chauffage, du diagnostic, du réglage et des câbles supraconducteurs. Pour ce qui est du chauffage, l'institut développe des gyrotrons qui chauffent le plasma par émission de faisceaux d'ions de haute énergie (2 MW à 170 GHz).

A côté du CRPP, l'Institut de physique de l'Université de Bâle s'intéresse également à la fusion nucléaire, et notamment à l'étude des propriétés de surface. Il s'agit de mettre au point une technologie permettant la fabrication de systèmes de miroirs pour la mesure des propriétés des plasmas dans les futurs réacteurs de fusion.

Des exigences extrêmes pour les matériaux

Par ailleurs, la construction de l'IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) revêt une grande importance dans le cadre de la recherche de nouveaux matériaux à faible activation destinés au réacteur DEMO. A l'instar du développement des réacteurs nucléaires de fission à haute température, la fusion nucléaire est intéressée à la recherche de matériaux résistants; par ailleurs, du fait que ces technologies sont orientées vers le long terme, il leur faut des scientifiques qui assurent la continuité de l'effort et la relève. L'infrastructure utilisée permet une formation à la fois ambitieuse et tournée vers l'avenir, de jeunes chimistes, ingénieurs, physiciens, etc.; cette remarque vaut pour l'entier d'une carrière de chercheur.

La fusion nucléaire est une technique énergétique présentant de grandes potentialités, mais dont la mise en œuvre à l'échelle commerciale dépend encore de nombreux facteurs difficiles à évaluer. Cependant, même pour un petit pays comme la Suisse, les travaux scientifiques de nos chercheurs qui collaborent avec l'étranger gardent toute leur raison d'être. Les nombreux résultats que l'exploitation du JET a permis d'obtenir jusqu'ici en rapport avec de nouveaux produits, démontrent que l'industrie peut, dès à présent, tirer profit de ces travaux de recherche, sans oublier les effets positifs pour la science et l'enseignement.

Les conditions-cadres d'un approvisionnement énergétique durable

La production, la distribution et la consommation d'énergie ne dépendent pas uniquement des technologies disponibles; les conditions-cadres économiques et sociales jouent ici un rôle tout aussi important. Le programme de recherche «Énergie – Économie – Société» de l'OFEN traite de ces questions.

Les résultats des recherches effectuées dans le cadre de ce programme servent de base à la définition des orientations à long terme de la politique énergétique; par ailleurs, ils sont utiles au traitement des affaires politiques relevant de l'énergie et des domaines apparentés, comme l'environnement et les transports. Les recherches portent à la fois sur l'optimisation des instruments existants et sur l'élaboration de nouveaux instruments. Ces résultats profitent aux instances politiques, aux associations et autres organisations, ainsi qu'à l'industrie.

Comme réaliser la «Société à 2000 watts» ?

Le programme «Énergie – Économie – Société» suit les objectifs d'un approvisionnement énergétique sûr et durable pour la Suisse, dans le sens de la vision de la «Société à 2000 watts». Il identifie les effets, sur l'économie en général, d'une évolution dans la direction de cette vision. Ses résultats alimentent notamment les perspectives énergétiques de l'OFEN, qui montrent avec quels instruments de politique énergétique la «Société à 2000 watts» peut être réalisée.

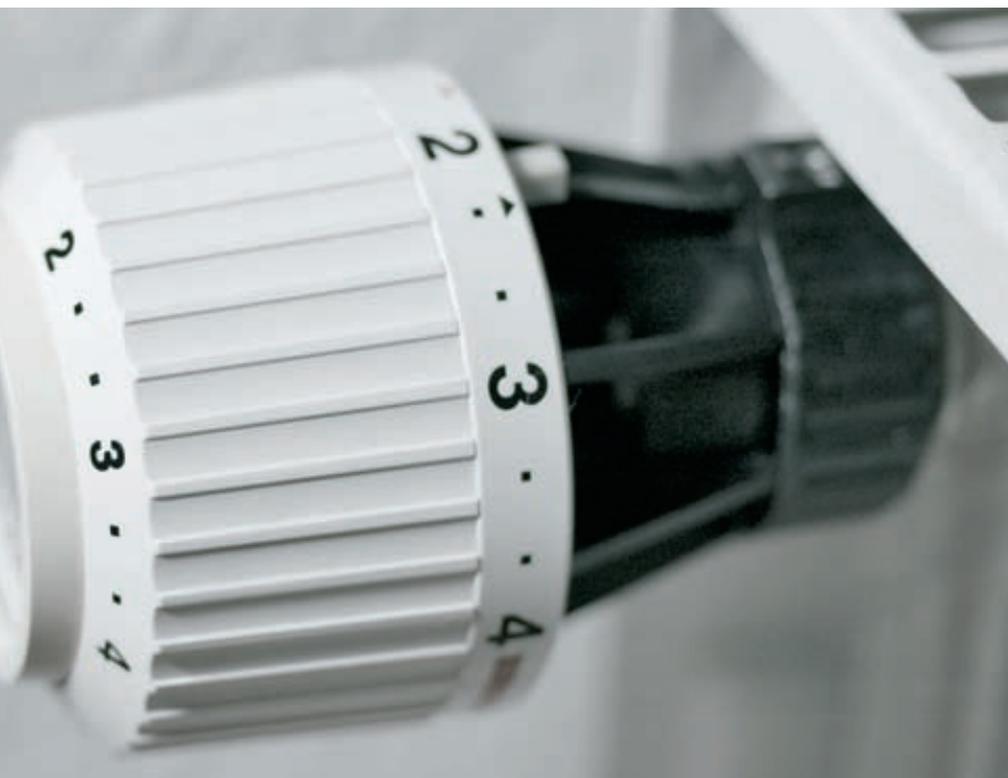
Diversité des thèmes, des disciplines et des institutions

Le programme comprend deux secteurs: la recherche appliquée et la recherche proche de la politique. La première comporte trois grands thèmes: l'innovation, le comportement et les modèles. Il s'agit d'abord d'étudier l'ensemble du processus de l'innovation en matière de technologies énergétiques, de l'idée de départ à la commercialisation, et d'identifier les obstacles éventuels et les facteurs de succès. En ce qui concerne le comportement, on analyse comment les consommateurs prennent leurs décisions. Pourquoi les appareils de meilleure efficacité énergétique, qui sont donc plus avantageux à long terme, ne sont-ils pas achetés? Comment les décisions prises dépendent-elles d'éléments peu sûrs, comme, par exemple, l'évolution du prix de l'énergie? Il faut apporter des réponses détaillées à ces

questions essentielles si l'on veut être en mesure de mettre au point les meilleurs instruments possibles de la politique énergétique dans des conditions-cadres données. Enfin, pour ce qui est du troisième thème, des modèles reproduisant les données économiques et technologiques sont développés et permettent ainsi d'évaluer les effets des mesures politiques sur les technologies utilisées et l'économie du pays dans son ensemble.

La recherche proche de la politique traite, quant à elle, les questions d'actualité de la politique énergétique et permet ainsi à l'OFEN d'assumer ses tâches politiques. Les disciplines scientifiques concernées se déclinent donc dans un large éventail: de la macro- et de la micro-économie à la sociologie et la psychologie en passant par la politologie, sans négliger, bien entendu, les bases techniques. A titre d'exemple, dans le domaine de la sécurité d'approvisionnement, citons les conséquences d'une utilisation intensifiée des sources d'énergie renouvelables, que ce soit au chapitre de la chaleur, de l'électricité, des carburants ou de l'acceptation des grandes infrastructures par la population. A partir de 2020, quand les anciennes centrales nucléaires suisses cesseront leur production, il faudra compenser ce déficit d'une manière ou d'une autre. Les approches possibles sont une amélioration de l'efficacité énergétique, la construction de nouvelles grandes centrales, l'importation de plus grandes quantités d'électricité ou une plus grande production à partir de sources renouvelables d'énergie. C'est pourquoi, notamment, les conditions-cadres applicables à cette dernière variante sont importantes. Pour l'essentiel, on connaît les potentialités des différentes approches, mais il faut poursuivre les recherches pour en déterminer les répercussions économiques.

La recherche prend place en de nombreux endroits. Mentionnons plus particulièrement les différents instituts des EPF, les Universités, les Hautes écoles spécialisées ainsi que de nombreux bureaux d'études et de conseils qui disposent d'un important savoir-faire et



Les buts du décompte individuel des frais de chauffage et d'eau chaude sont la répartition équitable des coûts et l'incitation des locataires à utiliser l'énergie avec modération. Bien que son efficacité soit prouvée et qu'elle ait été introduite par étapes à partir des années 1980, cette mesure de politique énergétique mène dans de nombreux Cantons une existence dans l'ombre. C'est ce que montre une étude publiée par le programme «Energie – Economie – Société» à la fin de 2008. L'étude envisage toute une série de variantes à propos de l'avenir de cette disposition. L'une d'elles serait de réintroduire pour tous les Cantons son obligation dans les bâtiments existants ; une autre recommande de concentrer les efforts de la Confédération et des Cantons uniquement sur les constructions nouvelles.

participent à ces études. Deux des préoccupations du programme «Energie – Economie – Société» sont de stimuler l'échange des informations entre chercheurs, tant à l'échelle nationale qu'internationale, et de générer de nouvelles compétences méthodologiques.

Et dans 50 ans ?

Le programme de recherche établi de manière ciblée les bases utiles aux débats d'actualité en rapport avec les nouvelles lois et accords internationaux. A l'échelle nationale, il faudra prendre des décisions concernant la loi sur le CO₂ après 2012. A l'échelle européenne, il s'agit avant tout de la réglementation des marchés énergétiques et de la certification de l'électricité d'origine renouvelable. A l'échelle mondiale, il s'agira de trouver une solution pour l'après-Kyoto. Quels objectifs de politique énergétique la Suisse peut-elle inclure dans ses engagements pour l'après-2012 ?

Mais le regard plonge aussi plus loin dans le futur. Quelle contribution à la mise en œuvre de technologies nouvelles et à l'utilisation efficace de l'énergie la réforme fiscale écologique visée peut-elle apporter dans 20 ou 50 ans ?

Mots-clés

Perspectives énergétiques

Les perspectives énergétiques que l'OFEN élabore à intervalles réguliers montrent quelles options s'offrent à la planification énergétique à long terme. Celle-ci doit répondre aux impératifs tout à la fois de la sécurité d'approvisionnement, du respect de l'environnement et de la viabilité économique, tout en étant socialement acceptable. Les résultats des études les plus récentes sont disponibles depuis le début de 2007. Ils servent de base à la discussion politique sur la stratégie à adopter par la Suisse en matière d'énergie et de protection du climat.

Taux d'actualisation

Divers projets d'une durée de plusieurs années ont été lancés en 2008 dans le but d'analyser, au moyen d'expériences, le taux d'actualisation dans les ménages. Plus le taux d'actualisation est élevé, plus les dépenses et les recettes d'aujourd'hui ont de poids par rapport aux dépenses et recettes du futur. C'est un aspect important lors de l'achat d'appareils électriques et il occupe aussi une place centrale dans les discussions de politique climatique.

Processus novateurs de longue haleine

Bien que les résultats de la recherche énergétique suisse et internationale débouchent de plus en plus souvent sur des applications commercialisées, la recherche énergétique de la Confédération souhaite particulièrement encourager et accélérer ce processus, le cas échéant par le biais de mesures financées à l'aide des fonds publics. Cette intervention s'avère nécessaire, étant donné que, dans le secteur de l'énergie, les seules forces du marché ne suffisent pas à faire évoluer les choses dans le sens du développement durable. Ce processus nécessite impérativement la collaboration des milieux de la recherche, de la société, de l'économie et de la politique.

Une reconversion complexe

Le développement de nouvelles technologies déterminantes pour l'avenir se déroule en plusieurs étapes, qui sont souvent répétées: d'abord la recherche de base dans le domaine des sciences naturelles, puis la recherche appliquée, avec la mise au point technique des systèmes et leur mise à l'épreuve, enfin la commercialisation et la diffusion des résultats.

L'évolution future des besoins en énergie ainsi que les apports respectifs des différentes sources d'énergie dépendent en outre d'autres facteurs, notamment des conditions-cadres économiques, écologiques, politiques et sociales (coût des ressources et du travail; lois, ordonnances, impôts et taxes; valeurs sociales dominantes (style de vie)). Outre la rentabilité, la sécurité de l'approvisionnement en énergie et la compatibilité environnementale de l'innovation jouent un rôle décisif également pour les générations à venir ainsi que pour les pays en développement ou émergents.

L'encouragement du processus de l'innovation par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) agit sur toutes les étapes de la chaîne du développement, par le biais des programmes de la recherche énergétique et dans le cadre de SuisseEnergie, le programme de la Confédération pour l'efficacité énergétique et les sources d'énergie renouvelables réalisé en partenariat. Tous les facteurs mentionnés ci-dessus sont pris en considération, étant entendu qu'à l'inverse, on tente d'influencer positivement ces derniers par le biais des découvertes faites par la recherche. Le transfert des connaissances et des technologies est un processus complexe, mais

Le Centre de recherches en Physique des plasmas (CRPP) de l'EPFL a mis à la disposition de l'Université de Neuchâtel ses connaissances dans le domaine de la technologie des plasmas, au profit du développement de cellules photovoltaïques en couches minces. En 2002, un contrat de coopération a été conclu entre OC Oerlikon – l'un des leaders du domaine des écrans plasma à l'échelle mondiale – et l'Université de Neuchâtel pour permettre de produire en grandes séries, donc à un prix avantageux, des cellules solaires à base de silicium amorphe, puis, dans un deuxième temps, micromorphe. Les résultats des recherches effectuées à Neuchâtel ont aussi abouti à la création de nouvelles entreprises dont, par exemple, VHF-Technologies à Yverdon en 2000, spécialisée dans les cellules photovoltaïques souples en couches minces.



Mots-clés

Projets P&D

L'abréviation P&D signifie projets pilotes et de démonstration. Tandis que les projets pilotes démontrent la faisabilité technique d'un nouveau développement, les projets de démonstration ont pour objectifs d'améliorer l'adhésion du public aux technologies et solutions novatrices et d'en prouver la rentabilité.

SuisseEnergie

SuisseEnergie est le programme de la Confédération pour l'efficacité énergétique et les sources d'énergie renouvelables, réalisé en partenariat. Il encourage la collaboration entre la Confédération, les Cantons, les Communes et les partenaires issus de l'économie, des associations de défense de l'environnement, des organisations de consommateurs ainsi que des agences publiques et privées.

Business Network Switzerland

Le Service Center du Business Network Switzerland est le guichet officiel où les entreprises peuvent trouver des réponses à leurs questions concernant le commerce extérieur. Pour garantir une parfaite collaboration avec cette organisation de réseau du Secrétariat d'Etat à l'économie, l'Office fédéral de l'énergie a conclu avec elle un contrat de coopération.

REPIC (Renewable Energy Promotion in International Cooperation)

La plate-forme interdépartementale REPIC pour l'encouragement des sources d'énergie renouvelables et de l'efficacité énergétique contribue à la mise en œuvre des accords internationaux multilatéraux sur la protection du climat ainsi qu'à la promotion d'un approvisionnement énergétique durable dans les pays en voie de développement ou émergents. Elle constitue ainsi un élément important de la mise en œuvre de la politique suisse du développement durable au niveau international.

capital, qui mérite une attention particulière. Les responsables des centres de transfert ont pour tâche de faciliter et d'encourager les échanges tant horizontaux (p. ex., d'une entreprise à l'autre) que verticaux (p. ex., d'un centre de recherche universitaire à des partenaires industriels), tout au long de la chaîne de création de plus-values.

L'objectif : des plus-values

Les agents énergétiques fossiles (huile de chauffage, essence...) couvrent près de 70% de la consommation énergétique finale de la Suisse. Afin de satisfaire aux objectifs de durabilité (réduction des émissions de CO₂ à 1 tonne par personne et par année), cette consommation doit être réduite d'un facteur six. Pour ce faire, il faut améliorer à court terme les technologies et concepts

existants et en introduire d'autres à long terme, nouveaux. Les technologies obsolètes doivent être éliminées du marché, les modèles de comportement repensés et les ressources utilisées autrement que jusqu'ici. Ce processus permet à la recherche et à l'économie suisses de jouer la carte de l'innovation et de renforcer ses exportations, d'offrir ainsi dans le monde entier des produits et des services améliorés.

Dans ce contexte, les projets pilotes et de démonstration (projets P&D) revêtent une importance particulière. Ils mettent à l'épreuve la faisabilité technique, la rentabilité et les réactions du public face à la technologie et aux solutions novatrices mises en œuvre. Dans le cadre de ces projets, les chercheurs collaborent souvent avec les entreprises, ce qui accélère et facilite énormément le transfert du savoir-faire et la mise en œuvre des connaissances scientifiques dans la pratique.

La solution : collaborer

On s'efforce de faciliter le transfert de technologie par le biais de mesures ciblées visant à réduire les flottements et autres pertes de temps lors du passage des informations des instituts de recherche à l'industrie. Pour ce faire, les instruments dont disposent la Confédération, les Cantons et le secteur privé sont mis systématiquement à contribution. Là où subsistent des lacunes, l'OFEN les comble à titre subsidiaire, à l'aide des crédits de la recherche énergétique.

Tirer les leçons des activités commerciales

Un marché intérieur performant est une condition préalable importante de succès à l'exportation. Les entreprises exportatrices suisses profitent tout particulièrement de la dynamique du marché international, dynamique créée, entre autres, par des mesures de promotion ciblées de l'Etat. Les innovations helvétiques doivent pouvoir s'affirmer dans ces marchés à forte croissance. Pour ce faire, les produits et systèmes conçus au cours de la recherche et du développement doivent être concurrentiels déjà à ce stade. En ce qui concerne les activités à l'étranger, l'OFEN collabore étroitement avec le Business Network Switzerland du Seco.

La coopération avec les pays en voie de développement est également cruciale pour l'introduction accélérée des technologies de l'efficacité énergétique et l'encouragement des sources d'énergie renouvelables. Le développement économique de ces pays entraîne une augmentation de leur consommation d'énergie. Pour profiter au mieux des agents énergétiques, l'utilisation de technologies nouvelles, efficaces et avantageuses s'impose. La plate-forme REPIC coordonne les projets des différents offices fédéraux dans ce domaine.

Des synergies par delà les frontières



L'objectif de la plate-forme technologique européenne « SmartGrids – Les réseaux électriques du futur » est de faire le meilleur usage possible des grandes centrales et des installations plus petites et décentralisées de production d'électricité, pour offrir aux consommateurs au moindre coût un approvisionnement en électricité fiable.

Mots-clés

Programme-cadre de recherche de l'UE

Le Programme-cadre de recherche, de développement technologique et de démonstration (PCRD) est un programme d'encouragement de la Commission européenne. Le 7^e PCRD a été lancé début 2007. Il est doté d'un budget de 54 milliards d'euros (dont 4 milliards pour le programme Euratom) sur une durée de sept ans. Plus de 300 millions d'euros sont prévus annuellement pour la coopération dans le domaine de la recherche énergétique.

Agence internationale de l'énergie (AIE)

L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), qui a son siège à Paris, soutient les 26 États membres dans leur objectif d'assurer l'approvisionnement en énergie de leurs populations. Dans ce contexte, l'utilisation de technologies nouvelles ou améliorées occupe une place toujours plus importante. Grâce à l'AIE, la Suisse a accès aux projets de recherche réalisés en collaboration internationale aussi avec des pays non européens.

La collaboration internationale dans le domaine de la recherche énergétique jouit d'une longue tradition. Elle a pour cadres principaux l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) de l'OCDE, d'une part, et les programmes de recherche de l'UE, d'autre part. L'AIE offre une infrastructure flexible aux pays souhaitant collaborer dans un domaine précis. Les projets y sont définis en partant des propositions de la base (principe du bottom-up), et le financement réparti entre les pays participants. En ce qui concerne les projets de l'UE, un certain nombre de grands thèmes sont mis au concours et les chercheurs intéressés (des secteurs public et privé de plusieurs pays) peuvent ensuite s'associer et poser ensemble leur candidature. Le financement est réalisé par le budget de la recherche de l'UE, auquel la Suisse contribue également.

Décider au cas par cas

Une collaboration internationale ne s'avère cependant pas toujours judicieuse ni utile. Certes, elle fait naître des synergies, aide à éviter les doublons et à améliorer l'efficacité de la recherche. Elle est également en mesure de renforcer les entreprises industrielles associées. Mais les questions spécifiques à la Suisse ne peuvent être résolues qu'au niveau national. Et si l'industrie helvétique est particulièrement bien positionnée pour trouver et mettre à profit certaines approches novatrices, ces projets seront de préférence menés en faisant cavalier seul. Les avantages et les inconvénients d'un encadrement

international des projets de la recherche énergétique doivent donc être évalués au cas par cas.

Mise en œuvre de projets de coopération à l'échelle européenne

L'énergie est l'un des neuf thèmes prioritaires des programmes de recherche de l'UE. Les sujets concernés vont de l'utilisation des énergies renouvelables et la réduction des émissions de CO₂ aux questions de réglementation politique et de coopération internationale, en passant par l'amélioration de l'efficacité énergétique et la création de réseaux énergétiques intelligents. La recherche nucléaire est encouragée dans un programme à part de la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom).

Coordination à l'échelle mondiale

Au sein de l'AIE, les projets sont réalisés au travers de ce qu'il est convenu d'appeler des Implementing Agreements (accords de mise en œuvre), conclus entre les pays participants. Actuellement, près de quarante accords de ce type sont en vigueur. La Suisse participe à 17 d'entre eux. Ces accords sont extrêmement flexibles. Les activités qu'ils couvrent s'étendent de la recherche fondamentale ou de la recherche appliquée à l'échange et à la diffusion des résultats de ces recherches, en passant par l'évaluation de la rentabilité et des aspects écologiques des résultats obtenus à l'aide de technologies nouvelles.

		Recherche		Marché
	Programmes	Chefs de programme	Responsables de domaine ¹⁾	Responsables de domaine ¹⁾
I. Utilisation rationnelle de l'énergie	Bâtiments	Charles Filleux Basler & Hofmann AG • Forchstr. 395, 8032 Zürich • Tél.: 044 387 11 22 Fax: 044 387 11 00 • charles.filleux@baslerhofmann.ch	Andreas Eckmanns	Olivier Meile
	Transports	Martin Pulfer, OFEN	Martin Pulfer	Hermann Scherrer
	Accumulateurs et supercondensateurs			—
	Technologie des procédés			Martin Stettler
	Technologies et utilisations de l'électricité	Roland Brüniger R. Brüniger AG, Zwillikerstr. 8, 8913 Ottenbach • Tél.: 044 760 00 66 Fax: 044 760 00 68 • roland.brueiniger@r-brueniger-ag.ch	Michael Moser	Felix Frey
	Réseaux électriques	Michael Moser, OFEN		—
	Couplage chaleur-force	Thomas Kopp HSR Hochschule für Technik Rapperswil • Oberseestrasse 10 8640 Rapperswil • Tél.: 055 222 49 23 • Fax: 055 222 44 00 thomas.kopp@hsr.ch	Andreas Eckmanns	Richard Phillips
	Combustion	Stephan Renz Beratung Renz Consulting • Elisabethenstr. 44 • Postfach • 4010 Basel Tél.: 061 271 76 36 • Fax: 061 272 57 95 • renz.btr@swissonline.ch	Sandra Hermle	
	Centrale thermique 2020	Peter Jansohn PSI, 5232 Villigen-PSI • Tél.: 056 310 28 71 • Fax: 056 310 26 24 peter.jansohn@psi.ch	Gunter Siddiqi	
	Piles à combustible	Stefan Oberholzer, OFEN	Stefan Oberholzer	—
II. Sources d'énergie renouvelables	Hydrogène	Stefan Oberholzer, OFEN	Stefan Oberholzer	—
	Photovoltaïque	Stefan Nowak NET Nowak Energie & Technologie AG • Waldweg 8, 1717 St.Ursen Tél.: 026 494 00 30 • Fax: 026 494 00 34 • stefan.nowak@netenergy.ch		Urs Wolfer
	Utilisation industrielle de l'énergie solaire	Pierre Renaud Planair SA, Crêt 108 a, 2314 La Sagne NE • Tél.: 032 933 88 40 Fax: 032 933 88 50 • pierre.renaud@planair.ch		
	Chaleur solaire	Jean-Christophe Hadorn Base Consultants SA • 8 Rue du Nant, c.p. 6268, 1211 Genève 6 Tél.: 022 840 20 80 • Fax: 022 840 20 81 jchadorn@baseconsultants.com	Andreas Eckmanns	
	Pompe à chaleur et froid	Thomas Kopp HSR Hochschule für Technik Rapperswil • Oberseestrasse 10 8640 Rapperswil • Tél.: 055 222 49 23 • Fax: 055 222 44 00 thomas.kopp@hsr.ch		Richard Phillips
	Energie du bois	Sandra Hermle, OFEN	Sandra Hermle	Daniel Binggeli
	Biomasse (sans bois)			Bruno Guggisberg
	Force hydraulique	Klaus Jorde St. Leonhardstr. 59, 9000 St.Gallen • Tél.: 071 228 10 20 Fax: 071 228 10 30 • jorde@entec.ch	Michael Moser	Bernard Hohl
	Géothermie	Rudolf Minder Minder Energy Consulting • Ruchweid 22, 8917 Oberlunkhofen Tél.: 056 640 14 64 • Fax: 056 640 14 60 • rudolf.minder@bluewin.ch	Gunter Siddiqi	Markus Geissmann
	Energie éolienne	Robert Horbaty Enco AG, Munzachstrasse 4 • 4410 Liestal • Tél.: 061 965 99 00 Fax: 061 965 99 01 • robert.horbaty@enco-ag.ch	Katja Maus	
III. Energie nucléaire	Technique et sécurité nucléaires	Jean-Marc Cavedon a.i. PSI, 5232 Villigen – PSI • Tél.: 056 310 27 24 • Fax: 056 310 44 81 jean-marc.cavedon@psi.ch	Michael Moser ²⁾	—
	Recherche réglementaire en sécurité nucléaire	Reiner Mailänder ENSI, Industriestrasse 19, 5200 Brugg Tél.: 056 460 86 19 • Fax: 056 460 84 99 reiner.mailaender@ensi.ch		
	Fusion nucléaire	Claude Vaucher SBF/SER, Hallwylstrasse 4, 3003 Bern • Tél.: 031 322 74 79 Fax: 031 322 78 54 • claude.vaucher@sbf.admin.ch		
	Déchets radioactifs	Simone Brander, OFEN	Simone Brander	—
Programmes transversaux				
IV. Domaines transversaux	Energie – Economie – Société (EES)	Nicole Mathys, OFEN		
	Transfert scientifique et technologique (TST)	Yasmine Calisesi, OFEN		

1) Collaborateurs de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). E-Mail: prénom.nom@bfe.admin.ch • Fax: 031 323 25 00

2) L'OFEN a ici un rôle de répondeur. La gestion de la recherche du domaine III.1 est du ressort du PSI, celle du domaine III.2 de l'IFSN et celle du domaine III.3 du SER.

Office fédéral de l'énergie
Mühlestrasse 4
CH-3063 Ittigen
Adresse postale: CH-3003 Bern

Tél.: 031 322 56 11
Fax: 031 323 25 00

contact@bfe.admin.ch
www.bfe.admin.ch

06.11 200 860269416