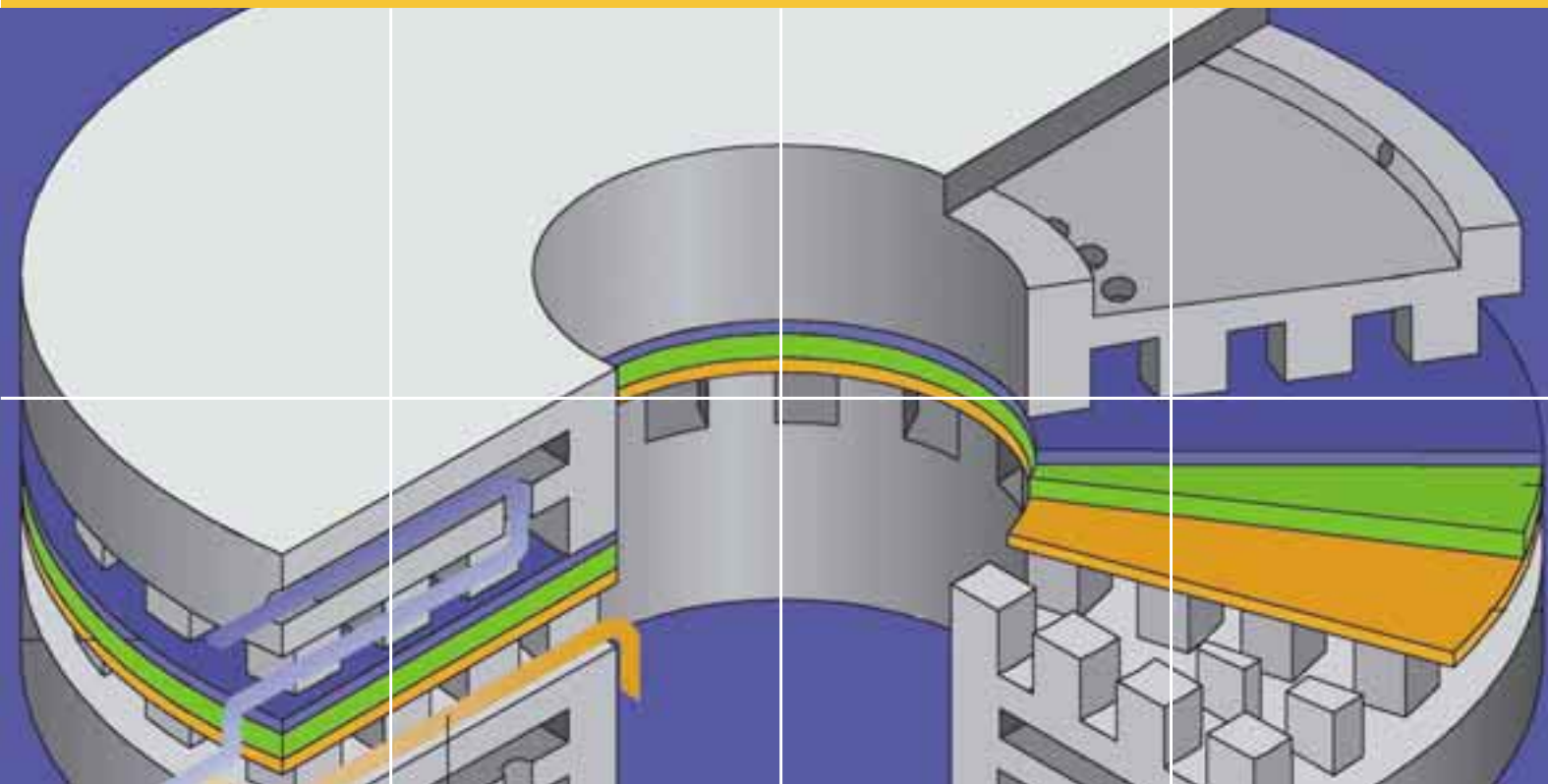


Juin 2001

ENET NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique



Géothermie
Le fond a été atteint

Piles à combustible
L'OFEN ne se fait aucune illusion

Énergie nucléaire
**Nouveaux réacteurs avec systèmes
passifs de sécurité**

www.energieforschung.ch

 suisse **énergie**

OFEN

L'OFEN emménage à Ittigen près de Berne ...3

ENET

www.energieforschung.ch4

Plaque tournante entre la
recherche et l'économie7**Transports**

Le programme promotionnel NewRide9

CORE

Sur le chemin de la durabilité10

Fondements de l'économie énergétique

Conséquences des initiatives atomiques ...12

Petits aménagements hydrauliquesOuverture du marché de l'électricité –
Où allons-nous ?13**Géothermie**

Le fond a été atteint14

BiomasseProduire mieux que simplement
de l'énergie16**Bois**

Le vent attise l'incendie18

**Piles à combustible**La technologie des piles à
combustible en Suisse19

L'OFEN ne se fait aucune illusion22

PSI: À la pointe grâce aux choix opérés24

En trio, ça sonne beaucoup mieux27

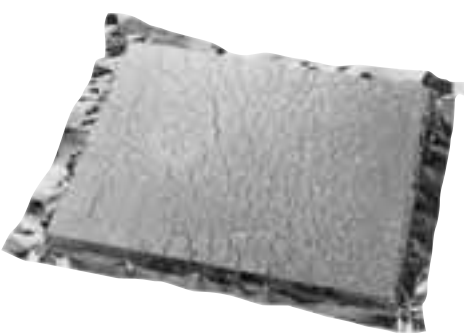
Chaleur ambiante

Le dégivrage demande trop d'énergie30

Pompes à chaleur pour le marché
de la rénovation31**Électricité**

On demande des données32

Le mode veilleuse en question32

**Systèmes pour le bâtiment**

PIV – Panneaux Isolants sous Vide33

Énergie nucléaireNouveaux réacteurs avec systèmes
passifs de sécurité35**Nouvelles publications**38

Manifestations39

Impressum

ENET-NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique

Juin 2001 / N° 48

Paraît quatre fois l'an en français
et en allemand.

Éditeur

Office fédéral de l'énergie OFEN

Worblentalstrasse 32

CH-3063 Ittigen

L'adresse postale

Case postale

CH-3003 Berne

Rédaction

ENET Communication

Jürg Wellstein

Parkstrasse 15

CH-4106 Therwil

Tél. +41 61 726 92 18

Téléfax +41 61 726 92 11

enet.kommunikation@bro.ch

Annonces:

ENET Communication

Sibylle Clerc

Tél. +41 61 726 92 36

téléfax +41 61 726 92 41

s.clerc@bro.ch

Traduction française

Jean-Marc Suter

Reproduction autorisée seulement avec
l'indication de la source.

Papier sans chlore

Imprimé en Suisse.

Photo de couvertureL'intérieur d'une pile à combustible
(Fig.: Sulzer Hexis SA)

On demande de l'interconnexion

Les thèmes en rapport avec l'énergie exercent une fascination, font régulièrement l'objet de discussions publiques et se manifestent sous la forme de solutions innovatrices. L'énergie influe sur notre quotidien de multiples façons. D'où le côté passionnant des débats sur ces questions.

Grâce aux efforts consentis au niveau de la recherche et du développement, nous sommes aujourd'hui en mesure d'utiliser, pour de nombreuses applications, des solutions qui tiennent compte des impératifs d'une consommation d'énergie réduite. Dans le domaine de l'énergie, comme ailleurs, l'interconnexion des structures devra progresser, afin que les initiatives prises en Suisse, ce haut lieu de la technologie, puissent déboucher sur des produits concrets et futuristes. C'est pourquoi l'encouragement ciblé de la part de l'Office fédéral de l'énergie est important.

Outre les facteurs techniques, il faut aussi prendre en considération les questions économiques, sociales et politiques. Les coûts des sources d'énergie renouvelables doivent être réduits afin que les technologies développées puissent mieux s'imposer; une utilisation efficace de l'énergie, par exemple la réduction de la consommation des automobiles, doit être stimulée si l'on ne veut pas devoir assister, les bras ballants, aux conséquences du réchauffement climatique.

Les résultats obtenus – en particulier dans la recherche – doivent être diffusés. Cela doit être fait en interconnexion avec l'ensemble des intervenants de la recherche énergétique. Voilà encore une tâche que je me réjouis d'accomplir dans ma nouvelle fonction!

Walter Steinmann

Nouveau directeur de l'Office fédéral de l'énergie

OFEN

L'OFEN emménage à Ittigen près de Berne

L'Office fédéral de l'énergie a déménagé une nouvelle fois. Il y a 3 ans, quittant divers emplacements dispersés en ville, l'Office avait été regroupé dans le bâtiment appelé Titanic, de construction récente, sis à la rue Monbijou 74, à Berne. Maintenant, c'est tout l'Office qui a été déplacé à la Worblentalstrasse 32, à Ittigen, réalisant ainsi un rapprochement géographique avec l'OFEFP qui se trouvait déjà à Ittigen depuis longtemps. En effet, l'OFEN tra-



vaille étroitement avec ce dernier, pour essayer de mieux comprendre et de refréner les effets de la production de l'énergie et de son utilisation sur le climat.

Comme jusqu'ici, l'Office fédéral de l'énergie comprend les trois divisions suivantes:

- Économie et Politique énergétique
- Droit et Énergie nucléaire
- Programmes

Cette dernière division est responsable du Programme *SuisseEnergie* et met en réseau les différents acteurs de la recherche et du développement en matière d'énergie, des installations pilotes et de démonstration ainsi que de la mise en œuvre sur les marchés.

Renseignements sur l'OFEN et le Programme *SuisseEnergie*:
www.Suisse-Energie.ch

www.energieforschung.ch

Bienvenue sur le site Internet renouvelé !

**Annemarie
Gemperli**
ENET
CH-9320 Arbon



Visitez le site Internet renouvelé de la RD&D énergétique en Suisse: www.energieforschung.ch ! La présentation des programmes de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) vient d'être restructurée; elle permet dorénavant d'accéder directement aux pages d'accueil des programmes ou à des informations en rapport avec ceux-ci. La page d'accueil d'ENET est maintenant subdivisée selon les rubriques suivantes: Transfert de technologie, Publications ENET, ENET-News-Ticker, ENET-NEWS, et Manifestations.

Le Service des Publications ENET est pourvu de nouvelles fonctions

La recherche nouvellement structurée vous permet d'accéder à toutes les publications d'un programme déterminé, ou alors vous choisissez directement l'auteur, un ou plusieurs mots du titre d'une publication ou d'un projet, ou encore d'un résumé (*abstract*).

Une fonction utile réside en la recherche de texte dans un résumé (si celui-ci est disponible) ou dans l'ensemble des données d'une publication (attention ! pas dans la publication elle-même !). Pour parfaire le tout, vous pouvez télécharger des fichiers "pdf" et utiliser les nouveaux caddies pour vos achats.

Grâce à l'intégration de la banque de données des publications reçues par ENET au site Internet, vous pouvez commander en ligne les rapports et les résultats les plus récents de la recherche énergétique et des installations pilotes et de démonstration, au fur et à mesure de leur saisie dans notre système informatique, ou alors, pour certains, les imprimer directement vous-même comme fichier "pdf".

Pour vous donner un aperçu aussi étendu que possible des publications sur l'énergie, les articles parus dans les revues spécialisées et relevant des programmes de

Soutien actif et encouragement de la collaboration entre entreprises et instituts de recherche.

Une compilation systématique de tous les résultats de la recherche et du développement ainsi que des installations pilotes et de démonstration.

Messages électroniques hebdomadaires succincts en rapport avec le domaine de l'énergie (événements et informations importants).

Le magazine avec des rapports, des reportages et des suggestions provenant de l'ensemble du secteur de la recherche en énergie.

Infos sur les manifestations actuelles dans le domaine de l'énergie.



ENET a élargi son offre. Profitez-en!

recherche sont aussi saisis, sous forme de références bibliographiques. Les droits de reproduction de ces articles étant réservés aux éditeurs des revues, c'est à eux qu'on s'adressera pour ces commandes.

En cliquant sur le titre de la publication, vous recevrez le bloc d'informations complet relatif à cette publication, avec la date de parution, la langue ainsi que le programme de recherche et le titre du projet auxquels elle se rattache.

Commander et rechercher, rien de plus facile !

Commandez la publication directement à l'aide du caddie représenté à côté du titre choisi, ou en cliquant sur le bouton intitulé "Dans le caddie !". Quand vous avez terminé votre choix de publications, cliquez sur "Passer à la caisse" ou "Mon compte" et inscrivez dans les champs correspondants vos coordonnées pour la livraison. La confirmation de votre commande vous parviendra sous peu par courrier électronique.

La possibilité de rechercher dans les textes complets vous simplifie la recherche de publications.

1. Champ de gauche: vous choisissez l'une des rubriques proposées: Titre, Auteur, Numéro de commande, Année, Numéro ou Nom du projet, Programme, Résumé, Tout.
2. Champ de droite: vous tapez dans ce champ le mot ou la partie de mot (en ajoutant dans ce cas*) que vous recherchez.

Annotations on the screenshot:

- Saisie du texte
- Résultat de la recherche: programme de recherche et nombre
- Choix de la langue
- Résumé de votre commande
- Indication fichier pdf
- Nouvelles parutions
- Rubriques de recherche
- Accès à un programme particulier
- Liste des publications (titre, auteur) classées selon leur actualité
- Prix de la publication; symbole "Caddie": commande possible; symbole "i": commande impossible auprès d'ENET

Exemples: a) saisie de *biomasse* pour obtenir la liste de toutes les publications comprenant le mot exact "biomasse"; b) saisie de *bio** pour obtenir la liste de toutes les publications dans lesquelles apparaît le terme de recherche "bio" en tant que mot entier ou partie de mot.

3. Association logique: **AND** si tous les termes de recherche indiqués doivent se trouver sur la page en question; **OR** si au moins un des termes de recherche indiqués doit se trouver sur la page en question.

ENET-News-Ticker: toujours au courant des développements techniques

Ce service vous donne gratuitement, en ligne, un certain nombre d'informations d'actualité sur la recherche énergétique, les publications des résultats les plus récents des projets encouragés par l'OFEN, ainsi que des renseignements sur des manifestations intéressantes.

Nous, les collaborateurs d'ENET, souhaitons cependant travailler encore plus étroitement avec vous. Si vous avez connaissance ou organisez une conférence intéressante ou un salon dans le domaine des énergies renouvelables ou de l'utilisation rationnelle de l'énergie, vous pouvez nous faire parvenir le lien URL que nous distribuerons sélectivement aux intéressés à l'aide du service ENET-News-Ticker.

En complément du service ENET-News-Ticker, nous vous soutenons dans la recherche de partenaires de projet. Vous nous envoyez (enet@temas.ch) une brève description du projet et un profil des exigences à satisfaire par le partenaire de projet que vous recherchez. Nous transmettons ces informations par le service ENET-News-Ticker à des groupes de personnes intéressées.

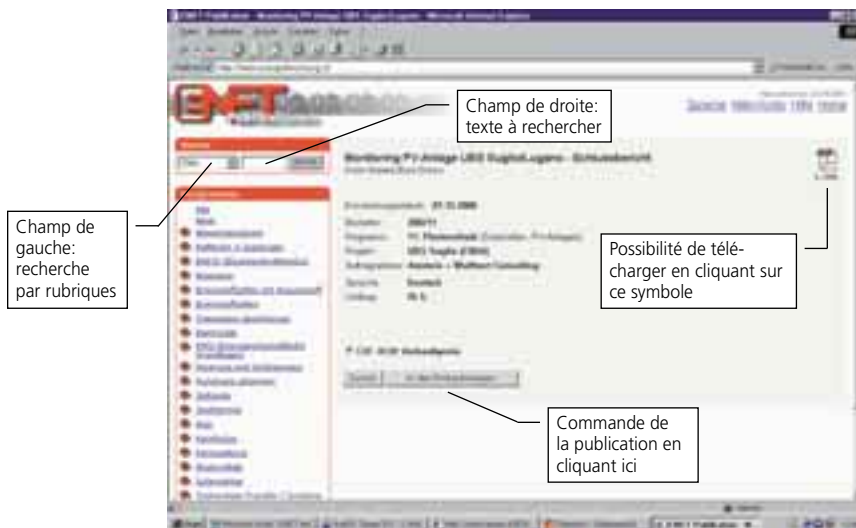
Plus de 1200 personnes ont déjà sollicité le service ENET-News-Ticker. Annoncez-vous dès aujourd'hui sous: www.energieforschung.ch (ENET-News-Ticker) pour un ou plusieurs domaines !

ENET-NEWS

Si vous vous intéressez à des sujets abordés ou à des rapports cités dans les numéros antérieurs d'ENET-NEWS, vous les trouverez sur cette page sous la forme de fichiers pdf.

Manifestations

La publication de manifestations, séminaires, congrès ou ateliers en rapport avec l'énergie vous donne un aperçu de cette offre aux multiples facettes. Pour annoncer votre participation, rien de plus simple! Les liens Internet vous mettent directement en relation avec les organisateurs.



Plaque tournante entre la recherche et l'économie

Le transfert de technologie est basé sur une approche globale

Karl Höhener
Lars Nieba
ENET
CH-9320 Arbon

Qu'est-ce que le transfert de technologie ?

Le transfert de technologie peut être défini comme le soutien actif de la collaboration entre la recherche et l'industrie de manière à faire déboucher les résultats de la recherche sur des produits et des prestations de services.

Le succès du transfert de technologie est basé sur une approche globale constituée de trois piliers (Fig. 1):

- l'encouragement des aspects techniques et technologiques dans les domaines de la science et de l'économie, en faveur du développement de produits et de prestations de services;
- l'encouragement des capacités opérationnelles d'une entreprise, telles que méthodes et procédés de fabrication, organisation et "facteurs mous" (*soft factors*);
- l'encouragement des capacités de soutien des relations commerciales, comme le marketing, etc.

Quand le transfert de technologie commence-t-il ?

Le transfert de technologie possède autant de facettes qu'il y a de centres de transfert de technologie. Les activités du Centre ENET de transfert de technologie se concentrent, dans le domaine de l'énergie, sur les trois aspects prioritaires suivants:

1. une sensibilisation des chercheurs et des entreprises, propre à chaque thème, avec pour objectif déclaré la création de conditions propices à l'établissement de relations personnelles entre les intéressés;
2. la formulation en commun de questions dont les réponses, une fois trouvées, soient susceptibles d'intéresser vivement le chercheur (par l'élargissement de l'horizon de son savoir et de sa compréhension des procédés et des processus) comme l'entrepreneur (par la solution de problèmes d'actualité et la valorisation de son savoir-faire);

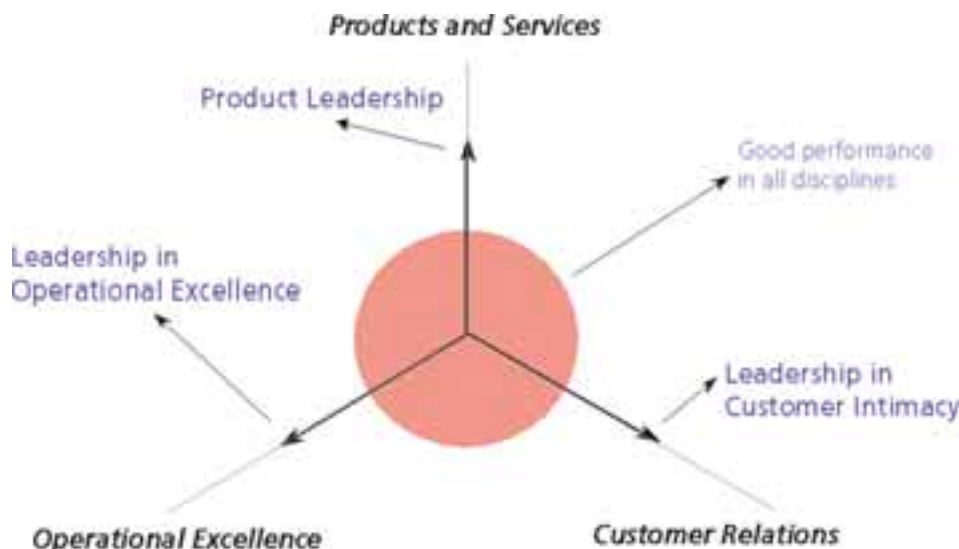


Fig. 1
Le succès du transfert de technologie est basé sur une approche globale.

3. le soutien des mécanismes de collaboration (projets) au moyen d'une structuration experte et d'un accompagnement adéquat, pour permettre la réalisation des objectifs.

Le transfert technologique commence donc au moment où des personnalités compétentes de la recherche et de l'économie débattent ensemble de problèmes et de leurs solutions. Ainsi débute le processus de mise en confiance réciproque sans laquelle tout

sur des thèmes précis susceptibles d'intéresser le transfert de technologie. Pourtant, ses activités ne s'arrêtent pas au transfert technologique, mais peuvent aussi englober le *marketing*, les objectifs de coûts et la recherche de partenariats. (Fig. 3)

tions de recherche, que ce soient les Universités, les Hautes Écoles spécialisées ou l'économie privée.

Des succès exemplaires : le *Flyer*...

La méthode de transfert technologique d'ENET a déjà été utilisée pour le développement du *Flyer*, cette bicyclette assistée d'un moteur électrique. Lors de la première phase, il s'est agi de clarifier la faisabilité des idées et concepts des fondateurs de



Fig. 2
On voit que le transfert technologique ne peut être couronné de succès que lorsqu'il se positionne judicieusement dans la chaîne de développement.

transfert de technologie, quel qu'il soit, est voué à l'échec. Le Centre ENET de transfert de technologie, c'est cette plate-forme créative qui déclenche ces processus, les accompagne et diffuse leurs résultats.

On voit que le transfert technologique ne peut être couronné de succès que lorsqu'il se positionne judicieusement dans la chaîne de développement et qu'il agit comme plaque tournante entre la recherche et l'économie. (Fig. 2)

L'observation attentive des développements technologiques, des champs d'application de ces technologies et des intervenants concernés forme la base du succès de l'utilisation de nouvelles technologies; elle conditionne donc aussi le succès du transfert technologique.

ENET, en tant que lieu de rencontre de tous les domaines de la recherche énergétique, est à même de suivre l'évolution technologique dans tous les programmes de l'OFEN. Par conséquent, ENET peut mettre l'accent

RD&D pluridisciplinaires dans le domaine de l'énergie

La position d'ENET en tant que lieu de rencontre des programmes de l'OFEN ouvre de nouveaux horizons.

L'innovation surgit souvent à des interfaces où plusieurs disciplines et groupes d'intérêts se rencontrent (recherche, entreprises, consommateurs). Ces interfaces et ces personnes compétentes sont les premiers groupes cibles du transfert technologique d'ENET. Les institutions du Domaine des EPF, en tant que "réservoirs de cerveaux" de la recherche et du développement technologique, jouent un rôle décisif dans le succès de ce processus.

Le Centre ENET de transfert de technologie veut combiner, dans une approche globale, la mise en œuvre des objectifs de la politique de recherche énergétique (OFEN) et le savoir-faire du Domaine des EPF. De cette manière, il veut relier, en fonction du but poursuivi, un certain nombre d'institu-

l'entreprise et de compléter de manière sélective leurs excellentes connaissances dans le domaine des vélos électriques. La structuration claire de la démarche – association du meilleur spécialiste du Domaine des EPF et des Hautes Écoles spécialisées, définition d'étapes précises avec des vérifications, le tout étant suivi par une personne compétente – a créé la confiance indispensable à l'octroi des crédits nécessaires à la croissance de l'entreprise. Dans ce projet, les apports d'ENET ont consisté en la clarification de la faisabilité de la technique et de la construction, en la détermination du prix du marché et du budget ainsi qu'en la préparation de la commercialisation (Internet).

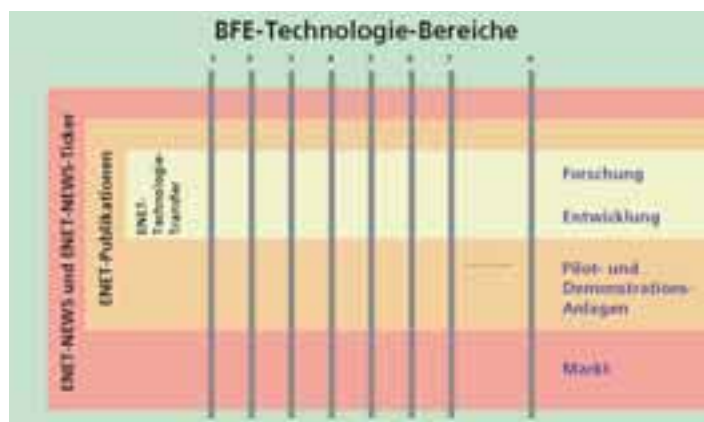
...et les cellules photovoltaïques en couches minces

La Suisse est à la pointe de la recherche mondiale en matière de photovoltaïque; des résultats marquants ont notamment été atteints dans la technique des cellules solaires en couches minces. Lors d'un workshop organisé par ENET et par un chef de programme de l'OFEN (Stefan Nowak), les quatre principaux chercheurs suisses du photovoltaïque (Jans Gobrecht, Michael Grätzel, Arvind Shah et A.N. Tiwari) ont discuté avec des représentants de l'industrie d'un transfert de ces résultats vers des produits industriels.

À part les négociations bilatérales, ce workshop a débouché encore sur d'autres activités, la fondation de *start-ups*. Le marché du



(Photo: Rent a Bike)



photovoltaïque croît chaque année d'environ 20% ; il se confirme que les nouvelles cellules en couches minces ont de l'avenir; c'est donc une chance à saisir pour la Suisse. Un *coaching* bien ciblé va grandement aider les chercheurs des Hautes Écoles, de telle sorte que la mise en œuvre des résultats de leurs recherches conduise à de nouveaux produits se vendant bien.

Fig. 3
La position du transfert technologique d'ENET en tant que lieu de rencontre des programmes de l'OFEN ouvre de nouveaux horizons.

Transports

Le programme promotionnel *NewRide*

Les deux-roues électriques sont les véhicules à moteur de haut rendement qui ont les meilleures chances de succès sur le marché. Leurs avantages sont considérables: réduction des émissions de CO₂, du bruit et de la pollution dans les régions habitées, économie de surface par rapport aux automobiles. Dans le sillage de Bâle-Ville, le Canton de Berne encourage dorénavant l'utilisation de vélos et scooters électriques, par le biais du programme promotionnel *NewRide*.

Son objectif est d'encourager la commercialisation et la diffusion, par:

- le soutien des commerçants, producteurs et importateurs intéressés, ainsi que des entreprises, Communes et groupes d'intérêts
- l'élimination des réticences à l'achat, notamment grâce aux possibilités d'essai
- la création de synergies grâce à la mise sur pied d'un réseau regroupant les milieux intéressés
- la préparation et la diffusion d'informations
- la coordination avec les activités d'autres Cantons et avec la Confédération
- l'assurance qualité attestée par le label *NewRide*.

Le nouveau programme *NewRide* a été lancé en mars 2001. Plusieurs Communes et différentes entreprises ont d'ores et déjà confirmé leur soutien. Du 8 au 11 novembre, les premiers résultats de ce programme seront présentés à l'occasion de la Foire suisse Maison et MINERGIE, à Berne. Les participants les plus engagés recevront un prix. D'autres Cantons, Communes et entreprises seraient les bienvenus à *NewRide* pour la période 2002 – 2004.

Informationen:

- Ruedi Meier, Chef du programme *NewRide*
ruedi.meier@bve.be.ch
- Martin Pulfer, Responsable du domaine Transports de l'OFEN
martin.pulfer@bfe.admin.ch
- Ueli Haefeli, Heidi Hofmann, IKAÖ
ueli.haefeli@ikaoe.unibe.ch
heidi.hofmann@ikaoe.unibe.ch

www.NewRide.ch

Sur le chemin de la durabilité

La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) poursuit une ligne de visée à long terme

“La CORE a de la recherche énergétique une vision équilibrée; avec des représentants de toutes les institutions importantes, elle poursuit les objectifs à longue échéance qui devraient permettre de mener production et consommation d’énergie sur le chemin de la durabilité.” Hans-Rudolf Zulliger, président de la CORE (Commission fédérale pour la Recherche Énergétique), résume par ce propos la mission principale de la CORE. Cette commission, fondée en 1986 déjà, donne son avis autorisé au Conseil fédéral et au DETEC dans le domaine de la recherche énergétique et de sa mise en œuvre. D’entente avec les milieux intéressés de l’économie, de la science et des administrations fédérale et cantonales,



Marco Berg, Paul-Erich Zinsli et
Giuseppina Toqni (de q. à d.)

elle élabore tous les quatre ans le *Plan directeur de la recherche énergétique*.

Des directives pour les programmes de recherche de l'Office fédéral de l'énergie

Marco Berg, de l'Union pétrolière suisse: "La consommation de l'énergie doit se faire durablement. La CORE place des barrières de sécurité raisonnables le long du chemin qui mène à cet objectif. Leur raison d'être n'est pas seulement de guider le développement des technologies; elles doivent aussi en préciser les conditions d'utilisation." Pour cela, les divers programmes de recherche énergétique sont régulièrement passés sous la loupe et évalués. Depuis

1986, la CORE a tenu 73 séances au cours desquelles ces programmes ont dû périodiquement être présentés, avec leurs points forts et avec les travaux prévus pour leur mise en œuvre. En outre, la CORE donne son avis sur la recherche mandatée en matière d'énergie et sur les projets internationaux de recherche qui lui sont soumis.

Louis Schlappbach, directeur du LFEM/EM-PA ajoute: “Par ses conseils et suggestions, la CORE doit aider à séparer l’ivraie du bon



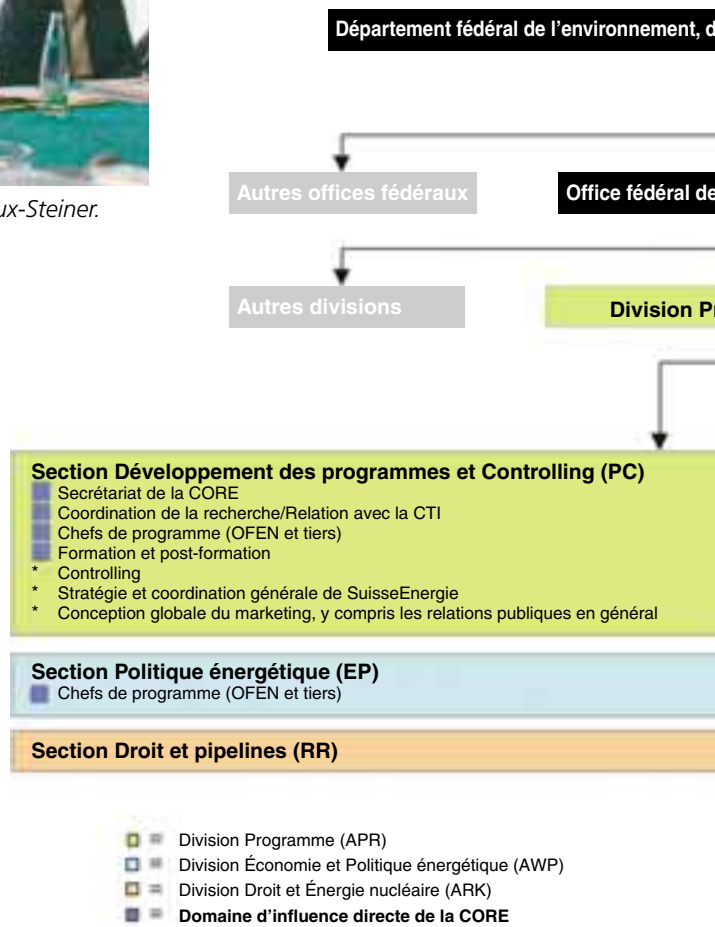
Daniel Favrat et Martha Ch. Lux-Steiner.

La CORE, organe consultatif du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

grain, apportant ainsi sa contribution aux décisions d'un État conscient de ses responsabilités et pour qui comptent les besoins de l'homme : la santé, la mobilité, l'information et la communication, ainsi que les flux de matières et d'énergie."

Formation et information, les lignes de force des années à venir

La formation, de base ou continue, et la gestion de l'information sont actuellement les deux préoccupations centrales de la CORE. S'y ajoutent la promotion systématique de la relève dans le domaine de la recherche énergétique et la sensibilisation de ces chercheurs. Dieter Imboden, de l'EPF de





Christian Kunze (à gauche) et Paul van Trigt.

Zurich: “La mutation de notre système énergétique vers une plus grande durabilité sera l’affaire de deux à trois générations. Elle mobilisera les connaissances, mais ne se fera pas sans une volonté politique d’aboutir. Or, ces deux aspects du problème sont basés sur de l’information.” Et Daniel Favrat, de l’EPF de Lausanne, complète ce propos dans l’optique de la situation globale: “La recherche énergétique représente l’un des défis les plus importants de notre

société, sur une planète aux ressources limitées et qui n’a qu’une capacité restreinte d’élimination des polluants. C’est pourquoi nos Hautes Écoles ont le devoir de trouver des solutions axées sur l’avenir.”

Des contacts internationaux en vue de solutions applicables mondialement

Vu que la problématique de l’énergie est de portée mondiale, la recherche énergétique repose aujourd’hui, elle aussi, sur la coopération internationale. Le développement de systèmes pour une meilleure utilisation des technologies énergétiques modernes rencontre d’autant plus de succès que son assise est large. Martha Ch. Lux-Steiner de l’Institut Hahn-Meitner à Berlin:



Louis Schlappbach, Andreas Gut et Hans-Rudolf Zulliger (de g. à d.)

“Dans le monde entier, il faudra faire des efforts considérables si l’on veut pouvoir couvrir localement les besoins en énergie essentiellement par des sources d’énergie renouvelables. La CORE peut influencer ce processus de manière décisive, en encourageant la mise à disposition des ressources nécessaires au sein de réseaux nationaux et internationaux de coopération.”

Hans-Rudolf Zulliger: “C’est pourquoi la CORE se prononce en faveur d’une orientation systématique de la recherche énergétique qui garantisse la quête de solutions raisonnables et efficaces, et cela, dans la mesure du possible, indépendamment des contraintes de la politique et de l’économie.”

Publication:

Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2000 – 2003
version finale, novembre 1999, CORE/OFEN

Les membres de la CORE

Dr Hans-Rudolf Zulliger, président
Gretag SA, Regensdorf
→ industrie

Dr Marco Berg
Union pétrolière, Zurich
→ industrie pétrolière

Prof. Dr Daniel Favrat
EPF Lausanne

Prof. Dr Dieter Imboden
ETH Zurich

Ernst Jakob
Office de l’économie hydraulique et énergétique, Berne
→ services cantonaux de l’énergie

Prof. Dr Christian Kunze
HES-SO/EIVD, Yverdon
→ Hautes Ecoles spécialisées

Prof. Dr Martha Ch. Lux-Steiner
Hahn-Meitner-Institut, Berlin
→ Universités

Kurt Rohrbach
BKW FMB Energie SA, Berne
→ entreprises électriques, PSEL

Prof. Dr Louis Schlappbach
LFEM/EMPA, Dübendorf
→ Fonds national, KTI

Giuseppina Togni
eTeam Sàrl, Zurich
→ PME

Paul van Trigt
ABB Energie Services (Suisse), Zurich
→ Industrie

Prof. Dr Peter Zweifel
Université de Zurich
→ Fondements de l’économie énergétique

Observateurs:
Dr Gerhard Schriber
OFEN

Dr Paul-Erich Zinsli
OFES

Secrétariat:
Dr Andreas Gut
OFEN/Andreas.Gut@bfe.admin.ch

les transports, de l’énergie et de la communication

conseil

CORE

l’énergie (Comité de direction)

programmes (APR)

Section Collectivités publiques et bâtiment (OG)
Recherche – P+D – Marché
Chefs de programme (OFEN et tiers)

Section Économie et transports (WI)
Recherche – P+D – Marché
Chefs de programme (OFEN et tiers)

Section Énergies renouvelables (EE)
Recherche – P+D – Marché
Chefs de programme (OFEN et tiers)

Conséquences des initiatives atomiques

Deux études analysent les conséquences énergétiques et économiques des deux initiatives atomiques

Ruedi Meier

Chef du programme "Fondements de l'économie énergétique" de l'OFEN
Bolligenstrasse 14b
CH-3006 Berne

Martin Beck

Responsable du domaine "Fondements de l'économie énergétique" de l'OFEN

L'initiative dite "Moratoire-plus" exige, pour l'essentiel, qu'aucune autorisation ne soit délivrée, sur une durée de 10 ans, ni pour de nouvelles centrales nucléaires, ni pour l'augmentation de la puissance des centrales existantes. Par ailleurs, la prolongation au-delà de 40 ans de l'exploitation des centrales nucléaires existantes serait soumise au référendum facultatif. Enfin, l'initiative prévoit l'introduction d'une déclaration d'origine du courant électrique.

L'initiative dite "Sortir du nucléaire" requiert, quant à elle, le démantèlement progressif des centrales nucléaires, au plus tard après 30 ans d'exploitation. Elle exige en outre l'interdiction du retraitement des éléments de combustible irradiés provenant

des centrales nucléaires suisses. De plus, la Confédération serait chargée d'édicter des prescriptions légales obligeant les exploitants et leurs actionnaires à supporter tous les coûts occasionnés par l'exploitation et le démantèlement des centrales nucléaires. De même, le stockage définitif des déchets radioactifs devrait être réglé. Enfin, l'initiative exige le passage à un approvisionnement en électricité basé sur des sources d'énergie non nucléaires, en évitant un remplacement par de l'électricité de provenance fossile si celle-ci est produite sans valorisation simultanée des rejets thermiques.

La mise en œuvre des initiatives "Sortir du nucléaire" et "Moratoire-plus" est techniquement réalisable, à condition toutefois

	Beznau I KKB I	Beznau II KKB II	Mühleberg KKM	Gösgen KKG	Leibstadt KKL
Referenz-Szenarien	2019	2021	2022	2039	2044
"Strom ohne Atom": SoA-Szenarien	2004	2004	2004	2009	2014
"MoratoriumPlus": M+40-Szenarien	2009	2011	2012	2019	2024
"MoratoriumPlus": M+50-Szenarien	2019	2021	2022	2029	2034

Liens Internet

Le programme de l'OFEN "Fondements de l'économie énergétique" et ses publications
www.ewg-bfe.ch

Prognos SA: l'entreprise européenne de conseil en matière de stratégie d'avenir et de bases de décision
www.prognos.ch

Ecoplan, études sur l'économie et l'environnement
www.ecoplan.ch

d'appliquer une politique énergétique nettement plus dirigiste et d'accepter les coûts considérables qui en résulteraient. Les conséquences du démantèlement accéléré des centrales nucléaires sont présentées dans deux rapports commandés par l'Office fédéral de l'énergie à des bureaux privés.

La dernière année d'exploitation de chacune des cinq centrales nucléaires suisses, dans les différents scénarios.

Conséquences écologiques et relevant de l'économie de l'énergie

Selon les scénarios étudiés, "Moratoire-plus" limiterait la durée d'exploitation des centrales nucléaires à 40 ou 50 ans. À cause de cela, différentes brèches importantes apparaîtraient dans l'approvisionnement en électricité à partir de 2015, lacunes qui devraient être comblées par une offre supplémentaire ou des économies renforcées

d'électricité. "Sortir du nucléaire", de son côté, demande la limitation de la durée d'exploitation de ces centrales à 30 ans, ce qui fait qu'il faudrait forcément disposer, en 2020, de solutions de remplacement pour plus du tiers de la demande.

Les deux initiatives engendreraient des augmentations importantes des émissions de CO₂ parce que, dans la perspective actuelle, le recours croissant à des centrales à combustibles fossiles serait inévitable. L'objectif suisse en matière de CO₂ pourrait être difficilement atteint et seulement à des coûts plus élevés. À partir de 2005, la taxe sur le CO₂ devrait être introduite pour compenser les émissions supplémentaires et réaliser les objectifs fixés. Dans le cas de "Sortir du nucléaire", des mesures coercitives seraient nécessaires, en particulier l'introduction de quotas de production et de consommation (avec le commerce des certificats); cette initiative demande en effet que les nouvelles centrales nécessaires soient exploitées seulement au moyen de sources d'énergie renouvelables ou, dans le cas d'une production thermique fossile, en valorisant les rejets thermiques.

Conséquences économiques

Une sortie anticipée du nucléaire, comme le propose "Sortir du nucléaire", conduirait à la perte d'environ un milliard de francs par année sur une longue période. En contrepartie, les risques liés à l'énergie nucléaire seraient réduits. Ce seraient avant tout les propriétaires des centrales nucléaires qui es-suieraient des pertes importantes en capital. Les industries grandes consommatrices d'énergie et celles exposées à une concurrence étrangère importante (textile, papier) subiraient aussi des réductions de chiffre d'affaire. À l'opposé, les deux initiatives n'auraient pratiquement pas d'incidence sur les revenus des ménages.

Études:

Szenarien zu den Initiativen "Strom ohne Atom" sowie "MoratoriumPlus";
Prognos SA, Bâle, 2001

Wirtschaftliche Auswirkungen der Volksinitiativen "Strom ohne Atom" und "MoratoriumPlus";
Ecoplan, Berne, 2001

Petits aménagements hydrauliques

Ouverture du marché de l'électricité – Où allons-nous ?

La situation transitoire actuelle entre monopole et marché libre refrène l'ardeur de nombreux propriétaires de petits aménagements hydrauliques prêts à investir. La loi sur le marché de l'électricité (LME) a été adoptée par le Parlement fin 2000. Le projet d'ordonnance est attendu au mois d'août prochain, puis suivra la consultation



La question au centre des débats du congrès annuel de l'ADUR: "où l'ouverture du marché de l'électricité conduira-t-elle les petits aménagements hydrauliques?"

populaire (référendum), au plus tôt à la fin de l'année. C'est dans ce contexte thématique et temporel que s'est tenu le 21 avril 2001 le congrès annuel de l'Association des usiniers romands (ADUR) et de son pendant alémanique, l'ISKB. Les représentants de l'OFEN, des producteurs indépendants, des entreprises électriques, de l'Association pour l'électricité respectueuse de l'environnement (VUE) et de l'Association autrichienne pour la promotion des petits aménagements hydrauliques (ÖVFK) ont discuté des chances et des conséquences de la nouvelle loi ou de son rejet éventuel ainsi que des revendications envers les futures dispositions de l'ordonnance.

Liens Internet

Renseignements et conseils sur l'utilisation de la force hydraulique par le biais de petits aménagements hydrauliques
www.infoenergie.ch
www.iskb.ch

Publications, notices et statistiques
www.smallhydro.ch

Le fond a été atteint

Le nouveau forage va poser le fondement de la première installation Hot-Dry-Rock en Suisse

Markus O. Häring

Geothermal
Explorers Ltd.
CH-4003 Bâle

Harald Gorhan

Chef du programme
Géothermie de
l'OFEN
c/o Electrowatt
Engineering SA
CH-8037 Zurich

Markus Geissmann

Responsable du
domaine Géothermie
de l'OFEN

La géothermie est disponible en quantité considérable, indépendamment du temps et sur toute la planète. 99% de la masse terrestre a une température supérieure à 1'000 °C; seul à peine 1% de celle-ci se trouve à moins de 100 °C. Telle est la toile de fond sur laquelle trois domaines d'application de la géothermie ont pris corps. D'une part, des sondes géothermiques ont été installées en grand nombre dans les couches supérieures du sol, notamment en rapport avec les pompes à chaleur. D'autre part, la technique hydrothermique est utilisée aux profondeurs moyennes; elle consiste à amener à la surface, par pompage, de l'eau chaude d'une nappe phréatique profonde et à la retourner à celle-ci par un second forage après lui avoir prélevé de la chaleur.

À la poursuite du roc brûlant

La troisième possibilité de valorisation de la chaleur terrestre se trouve dans les couches cristallines situées entre 4 et 6 km de profondeur, où l'on peut appliquer le procédé Hot-Dry-Rock. Dans ce procédé, de l'eau froide est injectée sous pression, par des forages profonds, dans un ensemble de fissures agrandies artificiellement. L'eau chauffée à environ 200 °C par la chaleur de la Terre revient à la surface par d'autres forages. À l'aide d'un échangeur de chaleur, on prélève de la chaleur de cette eau pressurisée surchauffée pour la transmettre à un circuit secondaire. Ce dernier contient un fluide dont le point d'ébullition est relativement bas, capable d'entraîner une turbine à vapeur produisant de l'électricité et de fournir de la chaleur à un réseau de distribution.

Le forage de sondage d'Otterbach à Bâle doit vérifier, à une profondeur de 2,5 km, si le lieu convient à une installation pilote. Il doit clarifier s'il est possible d'utiliser le procédé Hot-Dry-Rock sous nos latitudes; de ce fait, il bénéficie de l'appui de l'OFEN, du Canton de Bâle-Ville, des Services industriels de la Ville de Bâle (IWB), de la



Compagnie d'électricité de Bâle-Campagne (EBL) et de la Fondation G. H. Endress. Les responsables du projet sont en contact étroit avec d'autres forages actuellement en cours dans le monde entier, comme, par exemple, avec l'installation expérimentale de l'UE située à Soultz-sous-Forêt, en Alsace.

Échange de tiges de forage: cette nouvelle installation permet un échange rapide de la tête de forage.

Emplacement avec possibilité de raccordement au réseau de chauffage à distance

Markus O. Häring, le chef du projet, justifie comme suit le choix de l'emplacement: "Les conditions géologiques sont certes idéales dans le Nord-Ouest de la Suisse pour ce genre de forage. Cependant, une possible

Liens Internet

Renseignements
sur le programme
Géothermie de
l'OFEN
**www.
geothermal-
energy.ch**

Tout sur le projet
Deep-Heat-
Mining en cours
à Otterbach
**www.
geothermal.ch**

Renseignements
sur la technique
de forage de
l'entreprise Unter-
grundspeicher-
und Geotechno-
logie-Systeme
GmbH
www.ugsnet.de

alimentation, par la géothermie, du réseau de chauffage à distance existant de la Ville de Bâle s'est trouvée dès le début au centre du débat. La chaleur ainsi captée pourrait, en plus de celle produite par l'usine d'incinération des ordures ménagères de la Ville, être utilisée comme énergie de ruban et conduire à une réduction sensible de la consommation actuelle de gaz et de mazout de ce réseau. Il est prévu d'injecter une puissance thermique de 20 MW et une puissance électrique de 3 MW dans les réseaux respectifs de distribution. Cela correspond aux besoins en électricité et en chaleur de 5'000 foyers environ."

En 2000, le premier forage de sondage a dû être interrompu à 1,5 km de profondeur pour cause d'avarie technique. La technique adoptée, qui exige beaucoup de temps lors des manœuvres de tiges de forage, et les

caractéristiques de puissance de l'installation ont entraîné des complications qui ont causé la rupture d'une tige. Cependant, la bonne nouvelle est qu'il règne une température de 33 °C à 500 m de profondeur déjà, ce qui dépasse les prévisions les plus optimistes (gradient thermique de 4,2 °C/100 m).

Le premier forage a pu cependant être équipé d'une station sismique située à la

*Markus O. Häring
devant le panneau
d'information du
forage de sondage
d'Otterbach: "Ces
dernières semaines,
nous avons percé
une couche après
l'autre."*

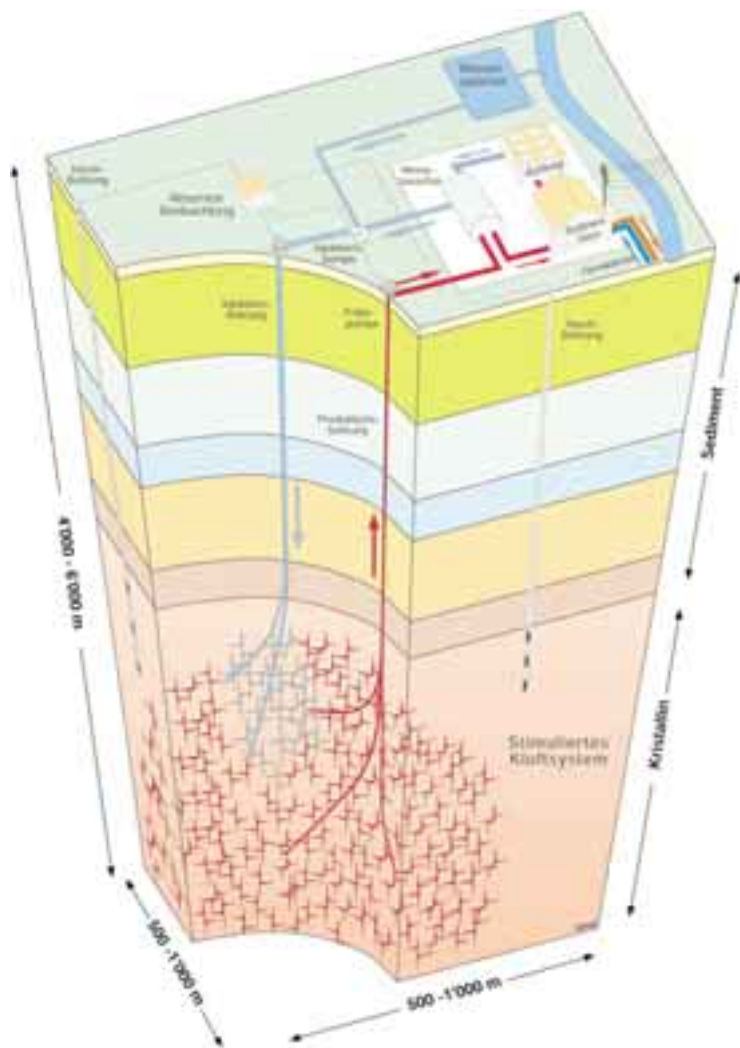


Schéma d'une centrale géothermique électrique et de chauffage selon le procédé Hot-Dry-Rock. Si le forage de sondage donne des résultats positifs, une telle centrale pourrait voir le jour à Bâle.

profondeur de 525 m. Cette installation de mesure, placée pour la première fois dans une région active sismiquement, ouvre au Service sismologique suisse une possibilité supplémentaire d'analyse intéressante.

Une technique plus performante pour le nouveau forage

Le nouveau forage entamé en janvier 2001 est effectué au moyen d'une tour de forage

du type IRI Franks 900, d'une hauteur de 34 m. Cette installation permet un échange considérablement plus rapide de la tête de forage et un diamètre de forage plus grand, donc des conditions plus stables lors du percement. Le débit de boue de forage et la capacité des pompes sont également plus élevés, ce qui est important dans les couches sédimentaires tendres.

Tandis que la technique de production d'énergie est classique, on vérifie, avec le forage profond d'Otterbach la fonctionnalité géothermique. Ce test de qualification de l'emplacement d'Otterbach sera achevé vers le milieu de l'année. En cas de résultats positifs, un grand pas en avant aura été fait vers la réalisation de la centrale géothermique électrique et de chauffage selon le procédé Hot-Dry-Rock, la première au monde.

Produire mieux que simplement de l'énergie

Une bioraffinerie de conception nouvelle produit des fibres, du biogaz et des protéines à partir de l'herbe

Peter H. Müller
2B SA
CH-8600 Dübendorf

Fritz Widmer
Etawatt
Schaffhausen SA
CH-8200
Schaffhouse

Martin Rügsegger
Responsable du
domaine Biomasse
de l'OFEN

Dans la zone industrielle Ebnat, à Schaffhouse, s'installe en ce moment la première bioraffinerie industrielle, au titre d'installation pilote et de démonstration de l'OFEN. Son exploitation débutera en août 2001; à partir d'herbe, l'usine produira des fibres, du biogaz, des engrais liquides et un concentré de protéines ainsi que de l'électricité écologique. C'est un projet de la société Bioénergie Schaffhouse SA, fondée conjointement au printemps 2000 par les milieux intéressés par la matière première, les produits finis, la technologie ou les investissements écologiques.

Combinaison de différentes étapes de traitement

La bioraffinerie permet d'utiliser la biomasse agricole d'une façon entièrement nouvelle: pour la fabrication de produits à haute valeur ajoutée. Fritz Widmer, d'Etawatt Schaffhouse SA – une entreprise générale spécialisée dans les services énergétiques et le contracting – commente les aspects du projet en rapport avec l'économie de l'énergie: "Les arguments convaincants de ce type de raffinerie sont, outre la confection de produits intéressants, le recours à des matières premières qui se renouvellent naturellement dans la région et leur transformation de façon décentralisée en agents énergétiques renouvelables, in-

tables dans les réseaux de distribution existants."

L'entreprise 2B SA de Dübendorf, à la pointe de la technologie, a développé en 1998 à Märwil (TG) une raffinerie pilote. C'est sur la base de cette expérience que l'installation de Schaffhouse a été conçue. Peter H. Müller: "À l'inverse de la première installation pilote, cette nouvelle bioraffinerie est étudiée pour une production pendant toute l'année; elle traitera une quantité d'herbe correspondant à 5000 tonnes de matière sèche par an. Dans un premier temps, la ma-

Le procédé 2B de la bioraffinerie: l'herbe sert à la fabrication de différents produits.



Pendant la construction de l'installation, Peter H. Müller (à gauche) et Fritz Widmer évoquent les questions qui se sont posées au cours de l'étude du projet.

Caractéristiques techniques de la bioraffinerie

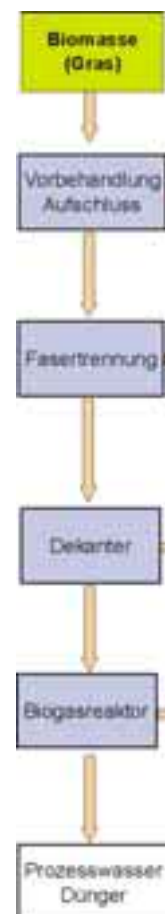
À l'entrée:

- biomasse (herbe, herbe ensilée, déchets végétaux flottants, etc.) soit l'équivalent de 5000 t de substance sèche par année

À la sortie:

- fibres env. 2000 t/année
- biogaz env. 8,8 mio kWh/année
- concentré de protéines env. 700 t/année
- biogaz injecté dans le réseau de gaz naturel env. 1 mio kWh/année
- électricité écologique env. 3 mio kWh/année
- chaleur industrielle écologique

tière première sera soumise à un procédé de digestion/séparation. Les fibres ainsi obtenues pourront être utilisées – une fois séchées et traitées – dans des matériaux d'isolation (acoustique et thermique) pour les applications les plus diverses ainsi que, par exemple, comme matériau de renforcement dans la fabrication des matières synthétiques. L'eau résiduelle produite par l'usine servira d'engrais ou sera tout simplement dirigée vers la station d'épuration."



Électricité écologique produite à l'aide de biogaz

Le biogaz qui se sera formé dans le réacteur (teneur en méthane env. 70%) sera conduit dans une cuve de stockage, puis, après un traitement approprié (désulfuration), pourra être utilisé dans une installation combinée chaleur-force modulaire. L'électricité écologique produite sera injectée dans le réseau public. Les pertes thermiques (refroidissement du moteur, gaz d'échappement et rayonnement) seront utilisées pour le procédé de digestion et le séchage des fibres ainsi que pour le chauffage de locaux loués à des tiers dans le même immeuble.

Fritz Widmer: "Nous utilisons le biogaz en premier lieu pour la fabrication des produits "GreenPOWER", "GreenSTROM" et "GreenGAS", vendus par les Services industriels de Schaffhouse/Neuhausen et par



Le biogaz est produit dans ce bioréacteur de 600 m³.

Mise en exploitation par étapes successives

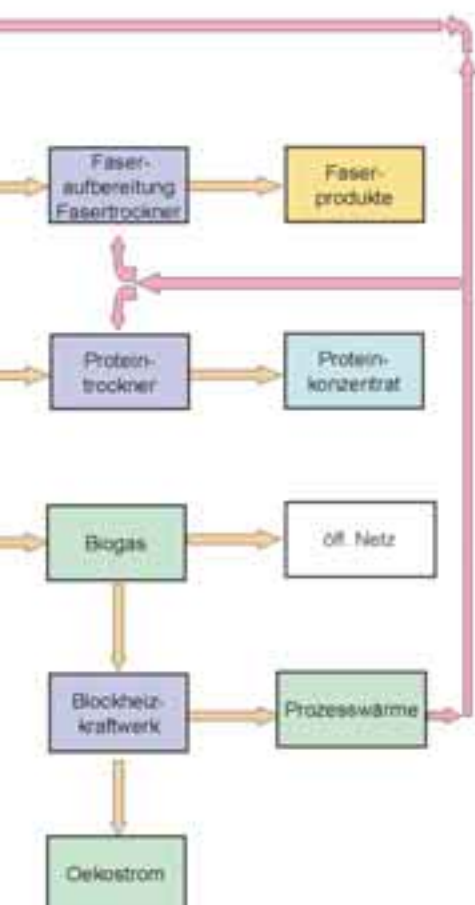
Alors que la production de fibres et d'énergie va débiter ces prochaines semaines, la deuxième phase, intermédiaire, prévoit la fabrication, à l'aide d'un décanteur et d'un séchoir, d'un concentré de protéines destiné à l'alimentation animale (40% de protéines brutes).

Soutenu par l'OFEN, le projet représente globalement un investissement de CHF 7 mio, y compris l'adaptation des bâtiments et l'infrastructure.

d'autres partenaires de la société Swiss Citypower SA. Nous comptons pouvoir livrer env. 4 millions de kWh par année. Suivant la demande, le biogaz produit sera aussi injecté dans le réseau de gaz naturel passant à proximité. Il pourra ainsi être utilisé comme moyen de chauffage, pour l'exploitation d'une installation combinée chaleur-force modulaire ou comme carburant pour des véhicules hybrides."



Moteur de la centrale CCF modulaire pour la production d'électricité et de chaleur industrielle à partir du biogaz.



Travaux de construction dans la zone humide, avec une partie du tapis roulant d'amenée de l'herbe fraîche.

Liens Internet

Services industriels de Schaffhouse/
Neuhausen
www.shpower.ch

Technologies de bioraffinage de
l'entreprise 2B SA
www.2bio.ch

Swiss Citypower SA, la marque énergétique suisse pour les synergies et les économies potentielles sur le marché
www.swisscitypower.ch

Le vent attise l'incendie

En cinq mois seulement, le crédit "Lothar" a été entièrement engagé

Christoph Rutschmann

Chef du programme
Bois de l'OFEN
(P + D)
c/o ASEB/VHe
CH-8008 Zurich

Daniel Binggeli

Responsable du
domaine Bois de
l'OFEN

L'Association suisse pour l'énergie du bois (ASEB) avait bien pensé qu'elle recevrait un flot de requêtes, mais pas un tel ouragan. Ainsi, le programme d'encouragement des petits poêles à bois décidé en juin 2000 dut-il être arrêté en janvier 2001 déjà. Le crédit d'une valeur de 20 millions de CHF suffisait tout juste pour donner suite aux requêtes présentées avant la mi-décembre.

De nombreuses petites installations et des répercussions positives

Ce programme promotionnel prend donc en compte, à raison d'environ 46%, les petits poêles de puissance inférieure à 100 kW, et, à raison de 35%, les grandes installations de plus de 100 kW. Environ 3'800 petites installations ont bénéficié de subventions. Elles permettent toutes une utilisation judicieuse de l'énergie du bois, qui est renouvelable. Dans 20% des cas, il s'est agi de constructions nouvelles, tandis que 30% des cas ont concerné le remplacement de chaudières à mazout et 40% celui d'anciens chauffages à bois. Comme seules des installations de chauffage certifiées ont été soutenues dans le cadre du programme, ces installations contribueront

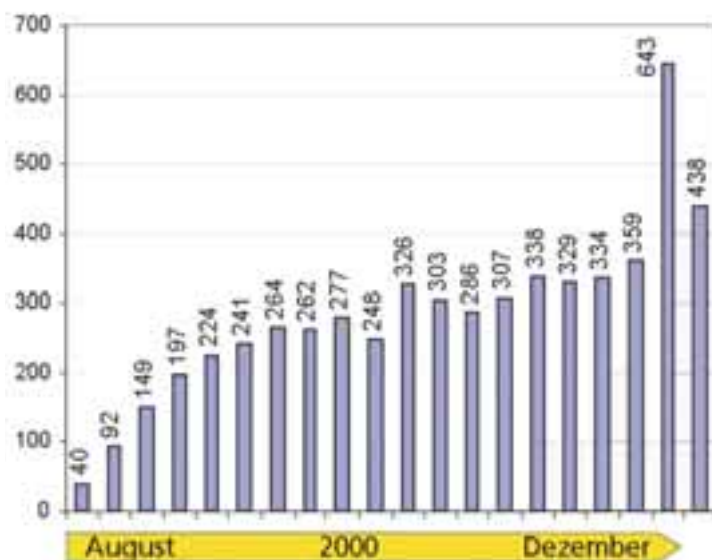
également à une réduction sensible des émissions. Concernant les requêtes de moins de 100 kW, la part des installations de chauffage central est prépondérante.

À part les petites installations, la promotion concerne environ 150 installations de forte puissance (>100 kW), 250 augmentations de la densité d'un réseau de

chauffage, 150 études de faisabilité et une demi-douzaine de dépôts de bois-énergie.

Des installations pilotes posent les premières pierres pour l'avenir

En plus des grands projets, certaines installations pilotes et de démonstration, pour



lesquelles 5,6% de la somme globale a été réservée, méritent un intérêt particulier. Cette démarche permet de subventionner des solutions intéressantes à long terme pour l'utilisation du bois-énergie. Pour l'OFEN, ce complément direct aux activités de recherche et de développement revêt une priorité particulière.

L'évolution fulgurante du nombre des requêtes reçues chaque quinzaine par l'ASEB, du lancement du programme au début de 2001.



La famille Graf à Uttigen a pu installer une chaudière à bois déchiqueté, réalisant ainsi son objectif d'utilisation écologique du bois.

Que va-t-il se passer maintenant ?

Les demandes de subventionnement d'installations de chauffage au bois qui n'ont pas pu être prises en considération jusqu'ici ont été systématiquement portées sur registre. Des crédits supplémentaires pour l'énergie du bois vont être sollicités du Parlement dans sa session d'automne ou d'hiver. Si celui-ci les accorde, les requêtes en attente à l'ASEB pourront être prises en compte l'une après l'autre.

Par ailleurs, quelques Cantons ont lancé des programmes promotionnels qui prennent la relève du subventionnement des chauffages à bois par la Confédération. Il s'agit notamment de dispositions applicables dans le contexte des rénovations.

La technologie des piles à combustible en Suisse

Lars Nieba
Andy Tauer
 ENET
 CH-9320 Arbon

En matière de technologie des piles à combustible, la Suisse et ses chercheurs se sont acquis, en comparaison internationale, une position de tête. Dans plusieurs disciplines, ils sont très compétents; ce sont des conditions idéales pour la mise en œuvre de cette technologie par notre industrie.

Dans un certain nombre d'applications, des piles à combustible vont prendre le relais des techniques actuelles de manière à produire de l'énergie électrique tout en respectant l'environnement. Ce processus de substitution devrait débuter dans une dizaine d'années au plus tard.

Comment fonctionnent-elles ?

Les piles à combustible sont basées sur un processus électro-chimique au cours duquel, en principe, de l'hydrogène et de l'oxygène se combinent pour donner de l'eau. Il en résulte un courant électrique qui est généré de manière contrôlée. Ainsi, la pile à combustible permet la production directe de courant électrique, avec un rendement élevé, sans qu'il soit nécessaire de faire le détour par une machine thermique et un générateur (Fig. 1).

Les différentes technologies

Il existe diverses technologies de piles à combustible, qui se distinguent, entre autres, par l'électrolyte, le porteur de charges, les combustibles et les oxydants admissibles, la température de fonctionnement, la construction, enfin par les applications potentielles (Tab. 1). On les désigne couramment à l'aide de sigles anglais indiquant l'électrolyte utilisé (exception: DMFC qui veut dire *Direct Methanol Fuel Cell*, un type particulier de *Polymer Electrolyte Fuel Cell* (PEFC)).

Avantages et applications

Ainsi qu'on le voit dans le Tableau 2, le rendement élevé, une densité d'énergie élevée également, la quantité minimale de polluants

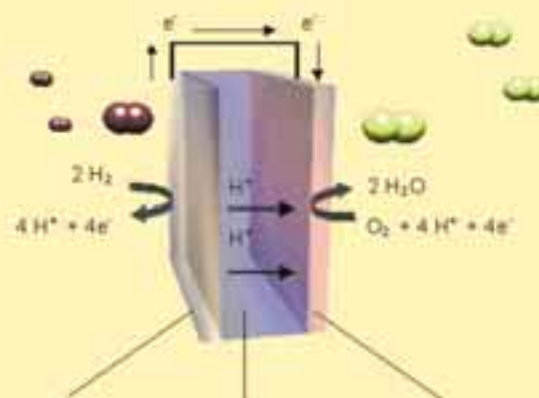
produits, le fonctionnement quasi-silencieux et un procédé neutre en termes de CO₂ sont autant d'avantages dont il faut tirer profit.

Perspectives commerciales

À court terme, c'est-à-dire durant ces dix prochaines années, les piles à combustible feront concurrence aux technologies traditionnelles dans les segments de marché suivants:

- Systèmes de production décentralisée de chaleur et d'électricité d'une puissance

*Fig. 1
 Représentation schématique d'une pile à combustible à électrolyte polymère (PEFC) utilisant l'hydrogène comme combustible et l'oxygène comme partenaire de réaction chimique.*



Anode

La réaction de l'hydrogène dans la couche-limite libre des électrons, grâce à la catalyse du platine.

Membrane conductrice pour les protons

Perméable pour les ions H⁺, mais imperméable pour les électrons e⁻ et pour les gaz

Cathode

Les électrons sont captés par l'oxygène O₂ grâce à la catalyse du platine; l'eau de réaction se forme.

électrique de 1 à 10 kW. Relevons ici le système Sulzer-Hexis qui est sur le point d'être commercialisé. D'après Sulzer, le prix de vente visé, nécessaire à une forte pénétration du marché, sera atteint dès la production en série.

- Installations décentralisées de production de chaleur et d'électricité d'une puissance électrique de 200 kW. Certains systèmes basés sur la technologie PAFC font déjà l'objet d'essais sur une base

Sources:

[1] H. Colell, M. Bro-nold, Chr. Leu, Commercialising Fuel Cell Products Fuel Cell 2000, Proceedings, L. Blomen (Ed.), Lucerne, juillet 2000, pp. 19 – 28.

[2] US Department of defense report to congressional defense committees: On the Utilization and Demonstration of Fuel Cells www.dodfuelcell.com/Strategy_Report.pdf

[3] D'après Martin Ruge, Séminaire du projet Power-Pac EPFZ et PSI, avril 2001

Désignation de la technologie	Électrolyte, solide ou liquide	Combustible	Oxydant	Température de fonctionnement	Porteur de charges	Catalyseur	Rendement * (higher heating value)
p. à c. à électrolyte d'oxyde solide (<i>Solid Oxide Fuel Cell</i>), SOFC	oxyde de zirconium, solide	(CH ₄ et eau), H ₂ , CO	air	env. 1000°C	O ²⁻	perovskite/nickel	40-55%
p. à c. à électrolyte polymère (<i>Polymer Electrolyte Fuel Cell</i>), PEFC (ou PEM, <i>Proton Exchange Membrane</i>)	membrane échangeuse de cations, solide	H ₂ , pur (cellule directe au méthanol: solution aqueuse de méthanol)	air	env. 70°C	H ⁺	platine	40-50%
p. à c. à électrolyte d'acide phosphorique (<i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i>), PAFC	acide phosphorique, liquide	H ₂ , pur	air	env. 200°C	H ⁺	platine	ca. 40%
p. à c. à carbonate fondu (<i>Molten Carbonate Fuel Cell</i>), MCFC	carbonate de métaux alcalins, liquide	(CH ₄ et eau), H ₂ , CO	air	env. 650°C	CO ₃ ²⁻	nickel	50-60%
pile à combustible alcaline (<i>Alkaline Fuel Cell</i>), AFC	hydroxyde de potassium, liquide	H ₂ , pur	air sans CO ₂	env. 70°C	OH ⁻	nickel	50%

Tab. 1

Les technologies de piles à combustible et leurs caractéristiques.

* Pouvoir calorifique supérieur (Higher Heating Value HHV): rendement de la production d'électricité à partir du combustible, état actuel de développement des prototypes et installations pilotes [2].

commerciale, tandis que d'autres systèmes basés sur des piles à combustible d'autres types sont en cours de développement.

- Équipements commerciaux remplaçant les moteurs et générateurs de 1 kW_{el} environ. Il est réaliste de penser que le développement et la production de systèmes commercialisables basés sur des éléments PEFC va débiter au cours des prochaines années.

À moyen terme, c'est-à-dire dans 10 à 20 ans, les piles à combustible sont susceptibles de remplacer un très grand nombre d'équipements dans une large gamme de puissance. Il y a cependant, pour chaque application, des obstacles spécifiques à surmonter et des conditions à satisfaire dictées par le marché. Cela vaut notamment pour le remplacement de petits accumulateurs de moins de 10 W_{el}, pour lesquels le rendement global est encore trop faible et le prix par watt trop élevé [1].

État de la recherche et possibilités de transfert technologique en Suisse

La Suisse et ses chercheurs jouissent d'une longue tradition et leur savoir est appréciable, en particulier dans le domaine des PEFC et des SOFC. Pour ce dernier type, Sulzer Hexis domine la recherche et le développement industriels. Ce système prometteur de piles à combustible est le fruit

* dans le cas de combustibles renouvelables (biogaz, méthanol, etc.)

Avantage ou profit supplémentaire escompté	Application remplacée	Nouvelle application mobile	Nouvelle application stationnaire	Puissance électrique
densité d'énergie élevée, recharge rapide, faible poids, pas de décharge spontanée	piles, accumulateurs	systèmes portables, Natel		10 W
		magnétoscopes, ordinateurs portables		100 W
fonctionnement quasi-silencieux, rendement élevé, quantité minimale de polluants produite, neutre en termes de CO ₂ *	alimentation du réseau, générateurs, accumulateurs	appareils ménagers, pour la maison ou les loisirs	production décentralisée d'électricité, chauffage domestique	1 kW
	alimentation du réseau, installation de chauffage	vélo, vélo-moteur		
bon rendement, quantité minimale de polluants produite, neutre en termes de CO ₂ *, bonne image de marque	accumulateurs au plomb, moteurs à combustion interne	automobile	groupes de secours	10 kW
			alimentation décentralisée des grands bâtiments en énergie	100 kW
	installations de couplage chaleur-force, générateurs, pompes à chaleur			
	installations de couplage chaleur-force, générateurs		approvisionnement centralisé en énergie	>100 kW

Tab. 2

Domaines d'application et avantages des piles à combustibles [3].

d'une collaboration efficace entre Sulzer Hexis et le Domaine des EPF, sur la base d'un projet.

Les principales institutions s'occupant de recherche en matière de piles à combustible sont le PSI à Villigen, les EPF de Zurich et de Lausanne, le LFEM/EMPA et certaines HES (Tab. 3).

La mise au point de piles à combustible fait appel aux connaissances se rattachant à différents domaines de la science et de l'industrie: la technologie des matériaux, les techniques de surface, l'électronique, l'électro-chimie, la préparation de prototypes, les techniques de fabrication, l'optimisation des procédés et le *marketing*.

Dans le domaine des éléments à électrolyte polymère (PEFC), le niveau des connaissances technologiques en Suisse permet d'escompter d'ici quelques années des produits commercialisables, notamment à la puissance de 1 kW_{el} environ.

Plus-values à différents stades de la chaîne de production

Les piles à combustible peuvent être utilisées à différents niveaux comme "générateurs de plus-value". Le Tableau 4 donne un aperçu de la question, aussi bien pour les composants entrant dans la fabrication des éléments que pour les systèmes complets se présentant sous diverses formes.

Saisissons notre chance!

Les hautes qualifications des chercheurs et des industriels suisses dans tous les secteurs de la chaîne générateurs de plus-values sont de bon augure pour l'utilisation rentable de la technologie des piles à combustible. Le partenariat de la science et de l'industrie offre une excellente base pour positionner notre pays en ce qui concerne cette technologie clé. Les deux partenaires doivent être prêts à reconnaître cette opportunité et à en tirer profit dans un climat de confiance réciproque.

*Tab. 3
Points forts de la recherche et possibilités de transfert de technologie dans les centres de compétence suisses (PSI, EPFZ, EPFL, LFEM/EMPA et HES).*

Thème de recherche	Transferts technologiques possibles
Développement de membranes de conception nouvelle conduisant les protons	Nouvelle génération d'éléments à électrolyte polymère
Matériau pour les piles à combustible convertissant directement le méthanol	Construction de mini-piles à combustible <10 W
Développement et intégration de "stacks" à des systèmes complets de piles à combustible	Production industrielle d'équipements de 1 kW
Gestion de l'eau dans les éléments à électrolyte polymère	Nouvelle génération de "stacks" PEFC
Optimisation de la tolérance au CO des catalyseurs conducteurs et des électrodes	Simplification de la technique des systèmes, utilisation d'hydrocarbures comme combustibles
Caractérisation <i>in situ</i> des PEFC	Optimisation de composants électrochimiques
Banc d'essai pour piles à combustible	Essai et optimisation de systèmes PEFC
Nouveaux matériaux (oxydes métalliques, polymères) employés comme catalyseurs conducteurs et électrodes	Nouvelle génération de SOFC et de PEFC
Électrolytes en couches minces pour SOFC, nouveaux matériaux et substrats d'anode de la famille des céramiques, étude des mécanismes de réaction, catalyse à l'interface anode/électrolyte, nouveaux procédés de fabrication	Optimisation de SOFC, anodes pour SOFC à basse température, fabrication avantageuse
Outils informatiques d'aide à la conception de SOFC	Sulzer Hexis: optimisation de piles SOFC
Développement et série zéro d'un équipement PEFC de 300 W	Étude et fabrication d'équipements de 1 kW

*Tab. 4
Plus-values créées à différents niveaux.*

Plus-value directe au niveau des éléments de pile à combustible	Composants	Compétence de partenaires industriels potentiels
	film membrane pour PEFC	fabrication et travail du film
	électrodes conducteurs électriques	traitement des surfaces de métal, de graphite ou de céramique, surfaces catalytiques
	éléments de liaison bipolaires, châssis	travail de métaux et de matières plastiques, frittage, découpage-poinçonnage, étampage, etc.
Plus-value directe au niveau de la pile à combustible complète	réservoir de combustible, systèmes de stockage de l'hydrogène	compression du gaz, bouteilles pressurisées, systèmes de remplissage du gaz
	compresseurs, pompes, ventilateurs	construction de pompes, moteurs et appareils
	commande et régulation	électronique du réglage automatique, logiciels correspondants, etc.
	transformation du courant électrique, affinage	électrotechnique
Applications d'un équipement à pile à combustible de 1 kW	Domaine d'application	Transfert possible vers les fabricants de...
	appareils électriques portables, remplacement d'accumulateurs ou de moteurs classiques à combustion interne	...appareils domestiques ou ménagers (p.ex., tondeuses à gazon, perceuses, etc.)
	remplacement de générateurs diesel	...matériel pour la construction, machines agricoles ou les travaux en forêt (p.ex., lampes de signalisation, tronçonneuses, etc.)
	moyens de locomotion propulsés de manière respectueuse de l'environnement (vélo, Microboard, chaise roulante, bateau, etc.)	...accessoires de camping, vélo, Microboard, chaises roulantes électriques, etc.

L'OFEN ne se fait aucune illusion

Le développement de piles à combustible mérite certes un encouragement solide; il ne faut toutefois pas se faire d'illusions

Alphons

Hintermann

Responsable du domaine Piles à combustible à hydrogène de l'OFEN

Martin Rügsegger

Responsable du domaine Piles à combustible au biogaz de l'OFEN

La technologie est d'une simplicité fascinante et pourtant hautement complexe dans son application. À partir d'agents énergétiques chimiques et d'oxygène, les piles à combustible produisent directement du courant électrique. Pourtant, la concurrence des méthodes classiques de production d'électricité ainsi que des difficultés techniques relevant des matériaux et de la fabrication de "stacks" d'éléments bon marché feront encore longtemps obstacle à une forte pénétration du marché.

Depuis plus de 10 ans, l'OFEN soutient et encourage ces travaux de recherche et de développement. Deux de ses représentants, Alphons Hintermann, responsable du domaine Piles à combustible à hydrogène, et Martin Rügsegger, responsable du do-

main Piles à combustible au gaz naturel et au biogaz, donnent leur point de vue sur la situation actuelle.

à combustible sont encore intactes. Les piles à électrolyte d'acide phosphorique (PAFC) de 200 kW, originaires des USA, sont aujourd'hui les plus développées et commercialisées. Pour d'autres technologies, on peut obtenir des prototypes en y mettant le prix et en attendant suffisamment longtemps. Nous nous trouvons toujours et encore au stade des installations pilotes où il est question de tester la technique choisie, ou au mieux dans la phase de démonstration, avec comme point fort la validation économique.

Martin Rügsegger:

"Les faits et les résultats sont plus importants pour moi; quand on me parle d'euphorie, je reste prudent."

maine Piles à combustible au gaz naturel et au biogaz, donnent leur point de vue sur la situation actuelle.

Quel niveau la technologie des piles à combustible a-t-elle atteint ?

Alphons Hintermann: Aujourd'hui, cinq technologies différentes sont appliquées aux piles à combustible; elles se différencient les unes des autres par le combustible, la construction des éléments et par la température de fonctionnement correspondante. Leur niveau de développement est certes différent, mais on n'en est pas encore là où les rapports publiés régulièrement dans les médias le suggèrent, à savoir la commercialisation prochaine.

Martin Rügsegger: À moyen terme, les chances de marché de tous les types de piles



Comment l'OFEN encourage-t-il les activités de développement en cours ?

Martin Rügsegger: Les activités les plus importantes sont orientées aussi bien dans la direction du type à électrolyte polymère (PEFC) à basse température que du modèle à électrolyte d'oxyde solide (SOFC) à haute température. Dans le premier cas, le combustible est de l'hydrogène ou du méthanol, dans le second du gaz naturel ou du biogaz. Ainsi, nous couvrons le domaine des équipements mobiles comme celui des applications stationnaires. L'OFEN désire donc continuellement améliorer et approfondir la

Martin Rügsegger: "Nous recherchons des solutions à des problèmes concrets, et des développements nouveaux; et pourquoi pas des percées technologiques!"

base des connaissances et assurer à long terme la recherche et le développement. Par ailleurs, nous voulons apporter des solutions à des problèmes concrets et nous recherchons des développements nouveaux, par exemple, des percées technologiques qui conduisent à des piles de coût plus avantageux. C'est pourquoi nous associons aussitôt que possible aux projets R+D en cours les partenaires industriels en charge des composants du système (pompes, ventilateurs, vannes, électronique, etc.) ou des éléments du "stack" (plaques bipolaires, pièces de fixation, électrochimie, etc.) de même que les futurs utilisateurs des piles à combus-

tements de matériaux, la fabrication de composants, etc., en sont autant d'exemples montrant le savoir-faire des industriels suisses.

Il ne se passe pas de jour sans que l'on parle d'un nouveau produit en rapport avec la pile à combustible. Les entreprises essaient de s'y faire un nom; les clients potentiels comme les investisseurs sont désorientés par la diversité des applications.

Alphons Hintermann: Nous sommes heureux que la technologie des piles à combustible jouisse d'une bonne réputation dans les médias du monde entier et nous aimerions la

difficile de faire des pronostics. Le domaine des puissances moyennes, de 1 à 200 kW, offre diverses variantes d'applications stationnaires ou mobiles et son développement potentiel est considérable. Une utilisation comme installation combinée chaleur-force modulaire au titre de production décentralisée d'énergie dans les agglomérations a de grands avantages: des pertes minimales à la transmission grâce à la proximité du consommateur; et l'aptitude à compléter et renforcer le réseau par des installations silencieuses, nécessitant peu d'entretien et respectant l'environnement.

Quelle orientation prend l'encouragement futur des piles à combustible par l'OFEN ?

Alphons Hintermann: Il s'agit encore et toujours d'établir des faits palpables dans un climat ambiant d'espairs et d'illusions. Il faut développer des composants de piles à com-



*Alphons Hintermann:
"Nous désirons
mettre en réseau
les connaissances
actuelles de façon
optimale."*

tible, leurs fabricants et les distributeurs d'énergie (H₂, biogaz, etc.).

Alphons Hintermann: Nous souhaitons, outre cela, mettre en réseau de façon optimale le savoir acquis et nous saluons de ce fait la collaboration intense des instituts de recherche avec l'industrie, notamment avec les PME, et la participation des Hautes Écoles spécialisées. Nous aspirons, par l'interconnexion des compétences et des ressources, au maintien de la position de leader de la technologie suisse qui peut se reposer sur sa force; celle-ci ne se situe pas dans la production en masse, mais bien plutôt dans des marchés sectoriels relevant de certaines étapes de fabrication. Les techniques de fabrication de revêtements, les développe-

ment en créant des faits nouveaux par la recherche et le développement ainsi que par les installations P+D. Nous voulons mettre sur le marché des produits aussi bons et avantageux que possible et éviter toute promesse qui ne puisse être tenue.

Martin Rüegsegger: Pour le marché et le succès commercial, il est aussi important que les nouveaux systèmes de piles à combustible aient, par rapport aux systèmes actuels, un rendement global stable et plus élevé et qu'ils soient plus avantageux et plus fiables que ceux-ci. Aux plus petites puissances, on peut envisager des solutions de rechange aux piles des téléphones cellulaires ou d'autres petits appareils électroniques. Ici, une percée pourrait avoir lieu très rapidement, même s'il est

bustible prêts à fonctionner et trouver des partenaires industriels avec lesquels nous puissions pénétrer durablement le marché. Pour cela, il est nécessaire de définir les délimitations des différents systèmes, de procéder par étapes aux développements et de trouver des marchés sectoriels.

Martin Rüegsegger: L'OFEN préfère suivre la voie qui consiste à assurer les connaissances de base, car une trop grande euphorie, ou le fait que des investisseurs se lancent sans réfléchir, pourrait, dans peu d'années, se retourner contre la technologie des piles à combustible si toutes les attentes n'étaient pas satisfaites. L'OFEN soutient, par un engagement à long terme, cette technologie intéressante et futuriste et veut contribuer activement à tracer son avenir.

PSI: À la pointe grâce aux choix opérés

Dans le domaine de la technologie à basse température, la recherche a abordé des thèmes importants

Günther Scherer
Institut
Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

Bien que le principe de la pile à combustible soit connu depuis longtemps, il a fallu attendre certaines avancées décisives en technologie des matériaux pour que les activités de développement s'accélérent dans le monde entier. Au PSI à Villigen, ces travaux ont aussi commencé il y a une dizaine d'années. C'est ainsi qu'une équipe internationale de chercheurs est à l'œuvre dans le secteur des connaissances de base de la technologie PEFC. Grâce à sa basse température de fonctionnement, cette pile à combustible convient aux applications aussi bien stationnaires que mobiles, voire portables. C'est pourquoi l'industrie automobile s'y intéresse aussi.

Le défi principal lancé à la recherche et au développement de piles à combustible à basse température réside, d'une part, dans l'infrastructure liée au combustible, et d'autre part, dans l'abaissement aussi massif que possible du coût des matériaux et de la fabrication. Ce sont là des éléments clés si l'on veut améliorer les chances de cette pile sur les marchés.

Une membrane polymère à partir d'un matériau disponible dans le commerce

L'équipe de chercheurs de l'IPS qui travaille sur la pile à combustible à électrolyte polymère s'attaque donc aux trois secteurs des composants, des modules et des aspects systémiques. Au cours de l'année 2000, des travaux importants ont été réalisés dans chacun de ces trois secteurs.

Les piles PEFC recourent à une membrane polymère qui conduit les ions tout en séparant l'hydrogène de l'air. À la recherche d'un matériau plus avantageux pour cette membrane, le PSI a étudié un procédé de fabrication faisant appel au greffage par irradiation: une chaîne principale FEP est irradiée et subit une greffe à l'aide de



"Stack" PEFC de 100 éléments refroidis à l'eau et de surface active 200 cm² chacun, pour le projet de démonstration d'une pile à combustible de 6 kW.

Fuel Cell 2001 à Lucerne

Les experts des piles à combustible vont se rencontrer sous peu à Lucerne, à l'occasion du congrès annuel "Fuel Cell 2001". Le Palais de la culture et des congrès accueillera, du 2 au 6 juillet 2001, les trois manifestations suivantes: le congrès "The Fuel Cell Home", axé sur la pratique, le congrès scientifique "1st European PEFC Forum" et l'exposition internationale des tout nouveaux développements de produits et d'accessoires. Ces manifestations répondent au besoin d'informations détaillées sur les développements techniques et les possibilités de commercialisation.

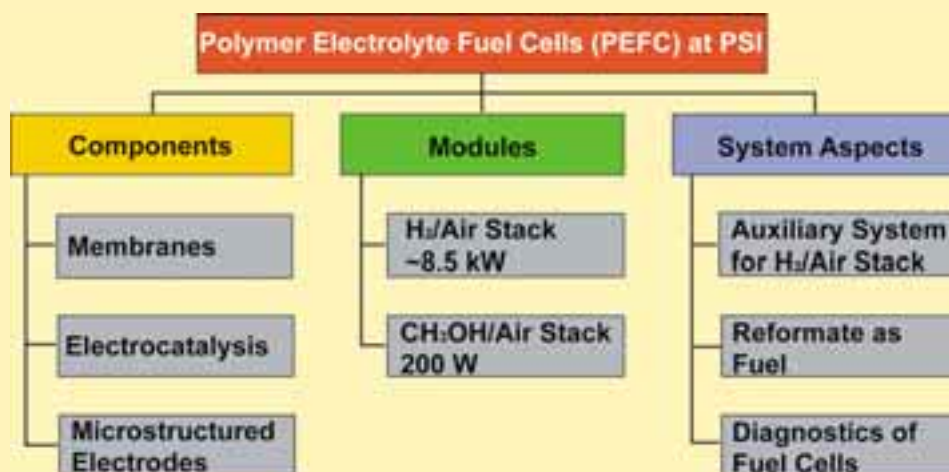
styrène. En lui ajoutant une fonction acide sulfonique (SO_3H), on obtient à partir d'un matériau vendu dans le commerce une membrane conduisant les ions.

Conjurer les dangers

Quand on cherche des solutions à un problème, il faut toujours penser à la production industrielle future. Un apport irrégulier de gaz, le dessèchement de la membrane polymère et la condensation d'eau dans les électrodes font courir le danger d'une inversion de la différence de potentiel aux bornes d'un ou de plusieurs éléments de la pile. C'est pourquoi le comportement des composants impliqués a été étudié expérimentalement. Par ailleurs, l'humidification des membranes est un sujet important de recherche dans le domaine des piles PEFC, car il serait souhaitable de pouvoir se passer des appareils auxiliaires dont on a besoin aujourd'hui.

Considérer le système propulseur dans son ensemble

La plaque bipolaire est l'un des éléments constitutifs principaux du stack; il faut donc poursuivre l'optimisation de sa construc-



tion et des matériaux qui la constituent. Dans son installation expérimentale de 100 éléments de pile, le PSI est parvenu à une puissance spécifique de 330 W/kg et à une puissance nominale de 6,4 kW. Pour répondre aux exigences relevant de la technique des matériaux, notamment la résistance à la corrosion au contact d'électrolytes acides, de l'hydrogène, de la chaleur et de l'humidité, le choix s'est porté sur un matériau à base de graphite. La collabora-

tion étroite avec l'industrie et l'EPFZ a conduit à la réalisation d'un *stack* refroidi à l'eau.

Dans l'intervalle, le PSI a mis au point une pile à combustible dont le *stack* a 8,5 kW, destinée à une application mobile expérimentale. Ce projet a pu être mené à bien grâce au caractère interdisciplinaire de l'équipe de chercheurs: les aspects électrotechniques, par exemple l'usage d'un supercondensateur, ont aussi pu être étudiés. Ainsi, toute la chaîne de propulsion d'un véhicule a été calculée et dimensionnée, y compris la régulation et les équipements auxiliaires.

Moins de métaux nobles = des coûts acceptables pour le marché

L'objectif de coûts de production plus avantageux pour les piles à combustible a remis en question le choix du platine, un métal noble. La pile PEFC à basse température a

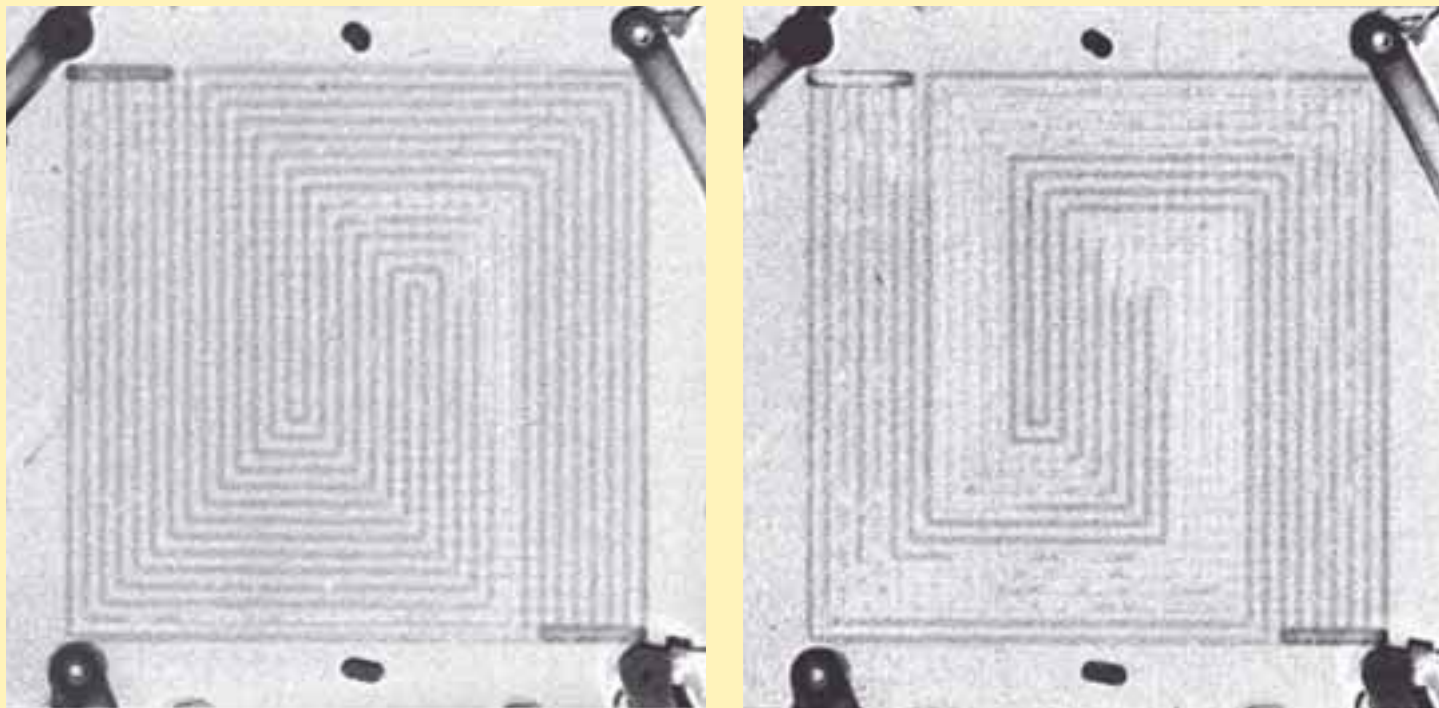
Le forum PEFC, organisé par l'Institut Paul Scherrer, se tiendra désormais à Lucerne tous les deux ans, en alternance avec le forum SOFC. Les travaux scientifiques des spécialistes internationaux se trouvent ici au centre des débats.

De son côté, le congrès "The Fuel Cell Home" réunira des spécialistes renommés pour discuter de la situation du pétrole et évaluer les chances de la technique des piles à combustible dans les domaines de la mobilité et du bâtiment. De nombreuses questions en rapport avec l'introduction des piles à combus-

tible restent en suspens; elles concernent aussi bien le combustible, son transport et son stockage que le rendement des installations actuelles.

Liens Internet

Aperçu du "European Fuel Cell Forum"
www.efcf.com



besoin de platine comme catalyseur électrique. On le dépose sur des particules de graphite dans la couche active des électrodes. De grandes quantités de platine conduisent à une tension et une densité de courant élevées, donc à une puissance importante par unité de surface. Mais l'inconvénient de cette solution est son coût élevé. C'est pourquoi le positionnement des parties en platine sur le matériau constitutif des électrodes a fait l'objet d'études particulières.

Rendre les canaux visibles

Des réflexions sur l'alimentation en hydrogène des piles à combustibles mobiles ont conduit à la mise au point d'un type différent, la DMFC (= *Direct Methanol Fuel Cell*), qui utilise directement le méthanol.

La radiographie aux neutrons a permis à au PSI de rendre visible le comportement du gaz carbonique au sein des différents flux; ce CO_2 , qui prend naissance à l'anode par oxydation du méthanol, s'accumule dans les canaux de gaz des plaques et bloque peu à peu l'accès du mélange de méthanol et d'eau à l'interface électrode/membrane. Les résultats sont utilisés actuellement pour l'optimisation de la géométrie des canaux.

On demande à l'avenir un système durable

L'équipe du PSI se propose de relever les défis les plus divers. D'une part, elle veut continuer à se concentrer sur la technologie à basse température, de manière à rester un centre d'excellence capable de transmettre à un large cercle d'intéressés ses connaissances et sa solide expérience. Par ailleurs, son interdisciplinarité lui permet de répondre aux exigences du développement de nouveaux matériaux, de modules optimisés et de solutions globales au niveau des systèmes complets. En effet, les questions de détail ne doivent pas faire perdre de vue que l'"énergie grise" doit aussi être prise en compte si l'on veut pouvoir disposer demain d'un système énergétique de conception vraiment durable.

L'expérience Neutra: grâce à la source neutrons SINQ, on peut voir le flux dans l'anode de la pile DMFC à faible densité de courant (à gauche) ou à densité plus élevée (à droite). Entrée du méthanol: en haut à gauche (barre horizontale foncée). Sortie: coin inférieur droit. Les canaux pleins de gaz (CO_2) apparaissent en clair dans la figure. Ils bloquent la circulation du méthanol.

En trio, ça sonne beaucoup mieux

Les essais de trois installations
de pile à combustible

Stephan Renz

Thoma & Renz
Conseils
CH-4051 Bâle

Thomas Wälchli

Daniel Laager
Elektra Birseck
CH-4142
Münchenstein

Harald Raak

Sulzer Hexis SA
CH-8404
Winterthur

Dans la région bâloise, on rencontre actuellement trois projets pilotes mettant en œuvre des technologies de pile à combustible différentes. Leurs promoteurs se sont lancés pour faire œuvre de pionnier, pour enchaîner sur leur expérience de plusieurs années avec les centrales de couplage chaleur-force (CCF) modulaires, ou enfin par intérêt pour des technologies peu polluantes et de rendement élevé. Une installation SOFC de Sulzer Hexis SA et une unité PAFC de la maison américaine ONSI ont été installées successivement avec le soutien de l'OFEN; de son côté, la Compagnie d'électricité Elektra Birseck (EBM), à Münchenstein, a mis en service à l'automne 2000 une unité PEFC d'Alstom-Ballard, avec l'aide du PSEL, le Fonds pour projets et études de l'économie électrique. Il est réjouissant de constater que les expériences faites de part et d'autre confirment l'aspect prometteur de ces technologies modernes.

La PAFC chez AEB

La société "Alternativ-Energie Birsfelden" (AEB) fournit de la chaleur depuis le milieu des années 80 à un quartier d'habitation et aux artisans de cette ville, à raison d'environ 15 mio kWh/an. Ce faisant, elle valorise à l'aide de pompes à chaleur les rejets thermiques de la toute proche centrale hydroélectrique sur le Rhin.

La pile à combustible à électrolyte d'acide phosphorique (PAFC) d'ONSI qu'AEB a installée l'année dernière est dimensionnée pour 200 kW_{el} et 220 kW_{th}. La température de sortie vaut 75 °C (voire 120 °C dans le cas d'un prélèvement à haute température). L'acide phosphorique, l'électrolyte liquide, est retenu dans un corps poreux. L'hydrogène nécessaire est produit dans un réformeur à partir du gaz naturel. Il y a déjà plus de 200 installations de ce type en service dans le monde. Comme, par ailleurs, l'essai

d'un modèle antérieur réalisé de 1993 à 1998 en conditions réelles par les SI de Genève, avec 40'000 heures d'exploitation, a été couronné de succès, le choix s'est porté tout naturellement sur ce type de pile à combustible, aujourd'hui perfectionné.

Après un départ sans histoire le 1er août 2000, il fallut effectuer quelques réglages techniques qui mirent à l'épreuve la collaboration du fabricant, de l'importateur et du propriétaire ou de son responsable de l'exploitation. Depuis novembre 2000, l'installation fonctionne sans aucun incident et répond aux exigences du cahier des charges.

Déchargement et montage de la pile à combustible PAFC à son emplacement à Birsfelden.



Le rendement électrique mesuré, compte tenu de tous les équipements auxiliaires, vaut 41%. L'isolation thermique de l'enceinte de l'installation est satisfaisante; elle est conçue pour l'exploitation en plein air. Il y eut cependant des émissions sonores gênantes pour les habitations environnantes, si bien qu'il fallut poser un pot d'échappement.



L'installation PAFC est en service continu depuis novembre 2000 et délivre de la chaleur au réseau local de distribution de l'AEB.

Les expériences faites confirment que la PAFC convient bien comme centrale CCF modulaire. L'installation de l'AEB montre en outre que des utilisateurs régionaux ont aussi leur chance, même avec une organisation restreinte sans support technique.

À Cologne, une autre PAFC d'ONSI fonctionnant au biogaz est en service. Les exploitants des 15 piles à combustible de ce fabricant actuellement en service en Europe se sont regroupés et se rencontrent périodiquement pour échanger leurs impressions.

Une PEFC chez EBM

La compagnie Elektra Birseck (EBM) à Münchenstein exploite depuis octobre 2000 la troisième pile à combustible d'Alstom-Ballard au monde dans la classe des 250 kW. Cette pile à électrolyte polymère fonctionne aussi avec l'hydrogène produit à partir du gaz naturel et possède un électrolyte solide conduisant les ions. Installée au siège de la compagnie, elle délivre, à titre d'essai, de l'électricité et de la chaleur. Comme

L'installation PEFC de l'Elektra Birseck (EBM) à Münchenstein. A droite: le cœur de l'installation, son "stack".

La procédure de réception des équipements s'est achevée à la fin de mars 2001.



ce type d'équipement implique des températures relativement basses, on le développe, à part les installations stationnaires, surtout en vue d'applications mobiles de petite taille.

EBM exploite des centrales CCF modulaires depuis 1982; elles sont aujourd'hui au nombre de 49 et leur puissance totale dépasse 5 MW. L'exploitation d'une première pile à combustible a pour but d'analyser les possibilités de remplacement de ces installations CCF. La puissance de la nouvelle PEFC est de 212 kW_{el} et 240 kW_{th}, sa température de fonctionnement de 80 °C environ. À l'avenir, ses rejets thermiques pourront servir de substitut du mazout pour la production de chaleur nécessaire aux bâtiments de l'Elektra Birseck. Contrairement au marché américain, on s'intéresse en Europe à la production simultanée d'électricité et de chaleur. La construction d'une usine de fabrication purement européenne répond à cette spécificité du marché.

La réception de la nouvelle installation a eu lieu le 30 mars 2001. Les difficultés tech-

niques initiales, apparues généralement là où on ne les attendait pas, dans les équipements périphériques, avaient pu auparavant être surmontées en étroite collaboration avec le fournisseur. Depuis lors, EBM a atteint une disponibilité de plus de 60% déjà. Les interruptions d'exploitation sont aussi dues aux nombreuses visites de groupes intéressés par cette installation pilote, et à l'exécution de modifications.

EBM participe à la société AEB, si bien que les essais en cours seront très utiles aux développements futurs de ces deux technologies de piles à combustible. En principe, cette technique énergétique futuriste est considérée positivement. On en attend un renforcement de l'approvisionnement décentralisé en chaleur et en électricité, proche du consommateur client.

Et la SOFC au Gymnase économique

C'est à la fin de 1998 déjà que l'une des six unités SOFC de Sulzer Hexis participant aux essais *in situ* dans le monde entier, a été installée au Gymnase économique de Bâle. Cette technologie à haute température mettant en jeu un électrolyte à oxyde de zirconium permet le recours direct au gaz naturel.

L'installation complète le système de chauffage des bâtiments scolaires. Elle a permis aussi d'étudier la technique de construction des *stacks*, qui a été perfectionnée. En tout, quatre *stacks* ont été utilisés dans ce but. Avec approximativement 8000 heures d'exploitation, l'année 2000 a vu une puissance maximum de 1120 W_{el} et un rendement électrique moyen de 30%.

Une accélération des dégradations et des ruptures isolées d'éléments a été constatée suite à des arrêts occasionnels de plusieurs jours de la production d'énergie, pour analyser certains aspects particuliers. Les travaux de développement du nouveau modèle pour la présérie destinée aux essais in situ à grande échelle, à partir de 2001, tiennent compte de ces constatations. D'une

part, Sulzer Hexis se fixe l'objectif réaliste d'une durée de vie de 40'000 heures pour le *stack*; d'autre part, on travaille à l'abaissement de la température de fonctionnement et à la réduction des coûts de fabrication par le biais d'optimisations au niveau de la technique des matériaux.

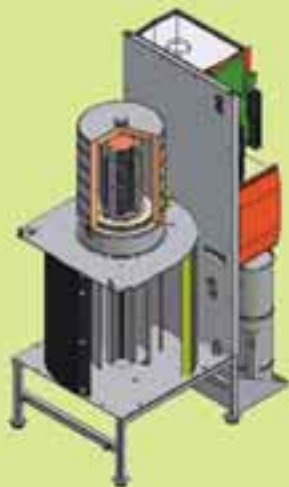


La nouvelle pile à combustible de Sulzer Hexis, la HXS 1000 Première, va faire l'objet d'essais in situ dans plusieurs pays dès l'automne 2001.

Une dimension internationale

Les essais sur le terrain vont commencer sous peu

La pile à combustible "HXS 1000 Première", conçue pour les maisons individuelles, sera lancée en automne 2001 pour un essai de quatre ans sur le terrain. La production décentralisée d'électricité et de chaleur avec un rendement électrique et un rendement global élevés doit se



faire sa place sur la scène internationale. Le nouveau modèle de Sulzer Hexis tire profit des résultats techniques récents obtenus avec les installations pilotes; il se distingue par sa construction compacte et un chauffage d'appoint intégré (à titre de complément pour parer à toute éventualité). En outre, il

Liens Internet

Le fabricant américain de piles à combustible

www.onsicorp.com

La compagnie Elektra Birseck à Münchenstein

www.ebm.ch

Un aperçu de l'entreprise Alstom du secteur de l'énergie

www.alstom.de

Ballard – Power to change the world

www.ballard.com

La technologie Sulzer-Hexis pour la production de chaleur et d'électricité dans les villas

www.hexis.ch

est possible de dresser un télédiagnostic électronique de l'installation par le biais d'une liaison ISDN/RNIS, ce qui est très pratique pour conseiller à distance les installateurs locaux et l'exploitant.

Il est prévu de commercialiser ce système dans le cadre du *contracting* énergétique, pour décharger le client de tout risque tant au niveau de l'investissement que de l'exploitation.

Une SOFC avec du biogaz comme combustible de remplacement

Dans le cadre des activités de recherche en cours, une installation pilote sera mise en place sous peu dans une exploitation agricole à Lully, près de Lausanne. Il s'agit de vérifier si la SOFC est adaptée au biogaz. Cette exploitation produit déjà du biogaz au moyen de quatre digesteurs, alimentant le moteur à combustion interne d'une installation de CCF modulaire. Avec le soutien de l'OFEN et la collaboration de l'EPFL, on analysera le biogaz avant la combustion dans la nouvelle pile et déterminera l'effet de sa composition sur le rendement. Par ce test, on pourra évaluer les possibilités et les limites de l'utilisation de cette pile à combustible pour la production décentralisée d'électricité dans les pays en voie d'industrialisation.

Le dégivrage demande trop d'énergie

Une analyse des méthodes de dégivrage des pompes à chaleur air/eau explique comment réduire les pertes

Martin Zogg

Chef du programme
Chaleur ambiante,
rejets thermiques et
couplage chaleur-
force de l'OFEN
Kirchstutz 3
CH-3414 Oberburg

Fabrice Rognon

Responsable du
domaine Chaleur
ambiante, rejets
thermiques et
couplage chaleur-
force de l'OFEN

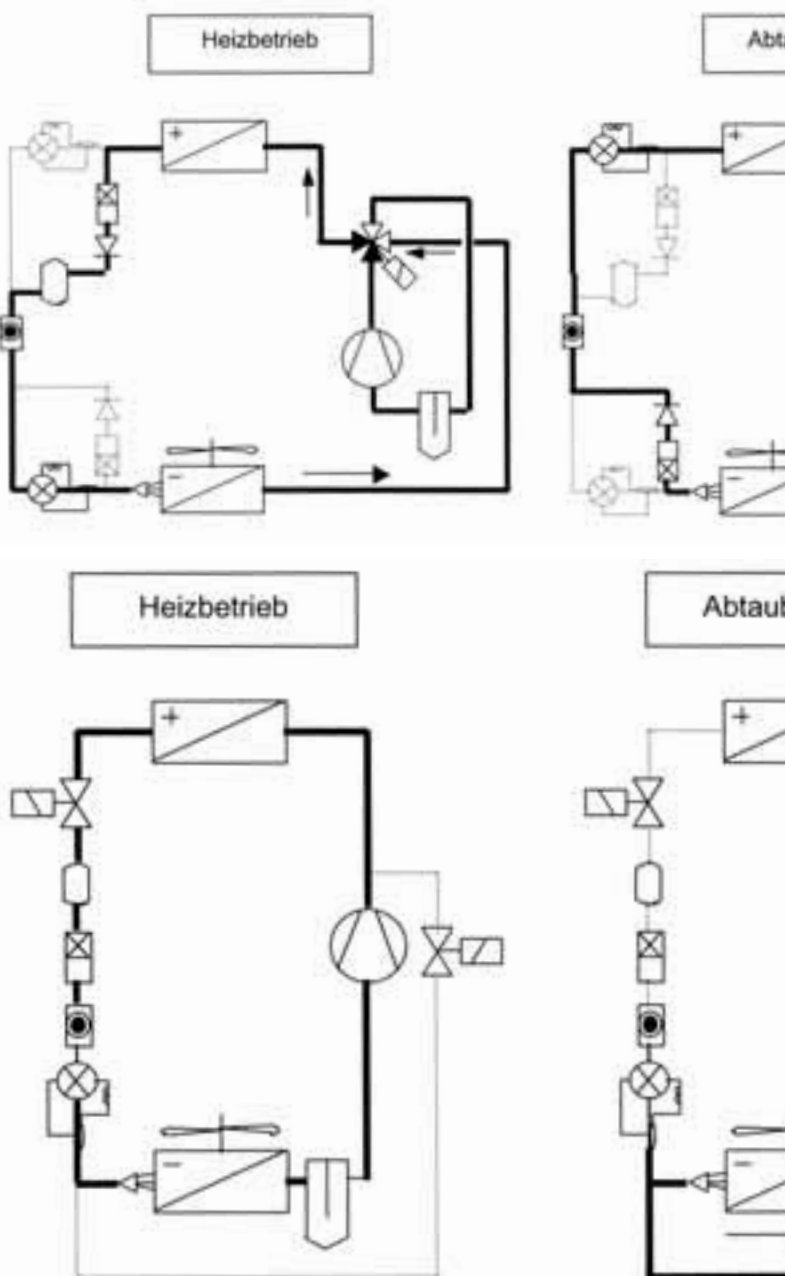
Les pertes dues au dégivrage atteignent, pour les pompes à chaleur air/eau, 10 à 15% de la consommation totale d'électricité des installations. L'amélioration des méthodes de dégivrage pourrait ainsi considérablement contribuer à celle des coefficients de performance annuels moyens. C'est pourquoi l'Office fédéral de l'énergie a lancé un projet dont le but est d'améliorer le dégivrage des évaporateurs utilisant l'air comme source de chaleur.

Inversion du cycle ou intervention du gaz chaud

Dans une première phase du projet, les méthodes usuelles de dégivrage ont été soumises à une analyse détaillée. Alors que, dans la réfrigération industrielle, le chauffage électrique direct est le procédé courant de dégivrage, celui de la pompe à chaleur a lieu presque exclusivement par l'inversion du cycle (une commutation à l'intérieur du circuit de travail de la pompe à chaleur conduit à la permutation de l'évaporateur et du condenseur pour la durée de dégivrage – Figure en haut) ou à l'aide de gaz chaud (le compresseur ne fait circuler le fluide de travail que par l'évaporateur à dégivrer – Figure en bas). Plus des 3/4 des nouvelles pompes à chaleur air/eau recourent au dégivrage par inversion du cycle.

Lors de l'évaluation du dégivrage par inversion du cycle, les pertes consécutives à la perte de charge et aux fuites des vannes effectuant la commutation, ne sont en général pas prises en compte. Il en va de

même de la quantité de chaleur prélevée au circuit du chauffage, qui doit être compensée ultérieurement. Pour des pompes à chaleur délivrant la chaleur à 50 °C environ, ces pertes indirectes représentent jusqu'à 80% de l'énergie nécessaire au dégivrage. Quand la température du circuit utilisateur est plus basse, les pertes sont cependant moindres.



Rapport final:

Verbesserung des Abtauens bei luftbeaufschlagten Verdampfern, Phase 1: Analyse gängiger Abtauverfahren. Rapport final, OFEN

B. Hubacher, M. Ehrbar

A télécharger:

www.waermepumpe.ch/fe (Berichte)

ou à commander auprès d'ENET

N° 9816187

Principe de l'inversion du cycle: pour la durée du dégivrage, l'évaporateur et le condenseur sont permutés.
(Source: Rapport final)



Les pertes indirectes au cours de l'inversion du cycle relativisent l'avantage généralement admis pour cette méthode par rapport au dégivrage par gaz chaud.

Autres méthodes, au vu de la situation problématique du dégivrage

L'analyse thermodynamique détaillée montre que les deux procédés de dégivrage sont comparables du point de vue énergétique, au moins dans le cas où la chaleur est délivrée à température élevée. La faible puissance de chauffage s'avère problématique lors du dégivrage au gaz chaud. Souvent, elle ne garantit pas le dégivrage complet de la surface de l'évaporateur et l'on peut avoir de mauvaises surprises, dues à l'effet de la convection naturelle de l'air ambiant dans l'évaporateur. Le rapport final aborde aussi d'autres méthodes de dégivrage.

La construction de l'évaporateur et de l'égouttoir est aussi de première importance. Par exemple, l'eau de fonte doit pouvoir s'écouler de l'évaporateur de manière à ne pas regeler ultérieurement.

Tandis qu'en technique du froid, avec des températures en général constantes du côté de l'évaporateur, le dégivrage peut être lancé et stoppé par une simple horloge, les conditions de fonctionnement des pompes à chaleur sont bien plus complexes, la température et l'humidité de l'air variant constamment. Le début et la fin du dégivrage doivent être commandés en fonction des besoins. Le rapport final de la phase 1 présente en détail les stratégies adoptées à cet effet dans la pratique, ainsi que d'autres propositions non encore testées.

Durant les prochaines phases du projet, l'analyse des caractéristiques d'un grand nombre de pompes à chaleur air/eau testées va permettre une comparaison fondée des méthodes actuelles de dégivrage. Sur cette base, des améliorations seront élaborées et testées.

L'auteur: Martin Zogg

Principe du dégivrage par gaz chaud: le compresseur ne fait circuler le fluide de travail qu'à travers l'évaporateur à dégivrer.
(Diagramme tiré du rapport final)



Pompes à chaleur pour le marché de la rénovation

Le symposium 2001 du Programme de recherche UAW, qui a eu lieu le 8 mai, était consacré principalement aux solutions proposées pour faciliter le recours à la pompe à chaleur dans le marché de la rénovation. Des aspects très divers de la question ont été abordés, des exigences techniques de ce domaine aux approches de coopération en vue de la poursuite des développements, de la production et de la diffusion de la Swiss Retrofit Heat Pump, en passant par les expériences faites in situ avec le prototype de ce modèle.

Comme, jusqu'à présent, les pompes à chaleur n'ont pas pu percer dans le marché de la rénovation des chauffages – à l'inverse du succès notoire qu'elles rencontrent dans les nouvelles constructions – on mesure toute la signification que revêtait la présentation de ces nouveaux résultats de recherche.

Le texte des exposés peut être téléchargé sur Internet:
www.waermepumpe.ch/fe

On demande des données

Des études de faisabilité montrent différentes méthodes d'amélioration des statistiques de consommation

Roland Brüniger

Chef du programme
Électricité de l'OFEN
c/o R. Brüniger SA
CH-8913
Ottenbach

Erwin Gautschi

Responsable du
domaine Électricité
de l'OFEN

Comment déterminer avec certitude la consommation d'électricité sur tout le territoire suisse? Sur quelles données se baser pour affirmer que des changements sont intervenus dans la consommation d'électricité? Il faut impérativement disposer de données statistiques significatives et fiables. Les bases permettant de définir les mesures à prendre en rapport avec la saisie périodique des données, ont pu être formulées pour l'OFEN grâce à deux études de faisabilité. Alors que, pour les domaines de l'éclairage et de la mobilité, le matériel statistique approprié existe déjà, d'autres analyses sont nécessaires dans les catégories des installations techniques du bâtiment, des chauffe-eau électriques, du chauffage électrique, de l'énergie auxiliaire consommée par les autres chauffages ainsi que pour les composants des installations de ventilation. Il s'agit ici en premier lieu d'obtenir des indices caractéristiques représentatifs de chaque type d'installation.

À chaque catégorie ses données

L'étude examine la procédure correcte, les méthodes, le volume des données, la résolution nécessaire à la saisie et le coût probable de l'opération. Par catégorie d'appareils, les données devraient renseigner sur:

- l'étendue du stock et le nombre d'entrées et de sorties
- les caractéristiques techniques en rapport avec l'énergie (puissance consommée en marche, en mode veilleuse, à l'arrêt)
- les modes de fonctionnement et les cycles courants, en rapport avec l'attitude des utilisateurs

Une qualité des données adaptée aux besoins

Une tâche essentielle consiste à déterminer la résolution et la précision vraiment nécessaires. Par souci du rapport coût/bénéfice, les catégories de consommateurs insignifiantes au point de vue de l'énergie (< 0,5 % de la consommation nationale) ne

Lien internet

Aperçu du programme de recherche de l'OFEN
www.electricity-research.ch

Le mode veilleuse en question

La troisième conférence de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) sur le thème "Standby Power" s'est tenue en février 2001 à Tokyo. Un premier atelier intitulé "Le mode veilleuse – Un problème qui nous concerne tous" avait eu lieu en janvier 1999 sous l'égide de l'AIE. Une année plus tard suivait le deuxième atelier, à Bruxelles cette fois, sous le titre "La réduction de la consommation en mode veilleuse: possibilités et défis". La conférence de Tokyo a donc été le troisième atelier de la série, probablement aussi le dernier. De nombreux aspects de ce problème bien connu qu'est la consommation d'énergie des appareils y ont été examinés, suivant la devise "Vers une solution harmonisée". Des recherches dans différents pays montrent qu'environ 10 % de la consommation d'électricité dans les ménages sont dus au mode veilleuse.

On estime que tous les pays de l'OCDE consomment ensemble 200 TWh/année d'électricité en mode veilleuse, soit environ 2,2 % de leur consommation globale d'électricité, ce qui est la cause de 1 % des émissions de CO₂ de ces pays.

Les magnétoscopes et les appareils audio ainsi que les ordinateurs appartiennent à la catégorie des "dévoreurs silencieux d'électricité". Dans le monde entier, la consommation en mode veilleuse a tendance à croître; c'est pourquoi les fabricants d'appareils sont soumis à des pressions croissantes leur demandant de réduire de manière drastique cette consommation.

À l'occasion de cette conférence, le chef du programme Électricité de l'OFEN a présenté au public international deux résultats de la

recherche énergétique suisse en matière d'électricité. Il s'agissait d'abord de l'étude "La mise en réseau dans les ménages et son impact sur la consommation d'électricité". Par ailleurs, le "Déclenchement des serveurs pendant la nuit et le week-end" a suscité beaucoup d'intérêt.

Les économies potentielles ne sont pas seulement importantes dans l'hémisphère occidental; au contraire, il faut prendre en considération bien plus encore les pays en voie d'industrialisation: par exemple, les ventes de téléviseurs couleur en Chine (30 millions en 2000) permettent d'estimer à 5 – 20 TWh/année les économies d'énergie possibles dans ce cas.

Le label "Energy Star" se rapporte également à la consommation en mode veilleuse de dif-

feront pas l'objet d'un recensement exact. Pourtant, il faut tenir compte, pour ces catégories aujourd'hui insignifiantes, des développements potentiels.

En ce qui concerne les groupes des appareils ménagers, de l'électronique de divertissement, de la bureautique et des appareils de communication, le matériel statistique disponible permet la définition d'une vingtaine de catégories au niveau de la consommation d'électricité.

Les deux études ont montré qu'on pourrait nettement améliorer, sans effort disproportionné, la qualité des données dans certaines catégories. Dans d'autres domaines, par contre, il est très difficile de déterminer exactement la consommation d'énergie.

Études de faisabilité:

- Datenerhebung im Programm „Elektrizität“, Verbrauchsgruppen: Beleuchtung, Haustechnik, Mobilität usw.
ARGE Arena – Bush Energie; direction du projet: Jürg Nipkow; déc. 2000
- Datenerhebung im Elektrizitätsbereich
Bereiche: Haushaltgeräte, Unterhaltungselektronik, Büro- und Kommunikationsgeräte, Industrie
ARGE Basics – Encontrol – Meyer & Schaltegger; janv. 2001

férents appareils. On envisage des valeurs de 1 W pour les téléviseurs, 2 W pour les magnétoscopes et 3 W pour les appareils combinant ces deux applications. D'une manière générale, il est important de viser une consommation réduite en mode veilleuse dès la conception d'un appareil. C'est une tâche du ressort de l'industrie. Le client, cependant, peut et doit soutenir cette évolution en réclamant des appareils à bon rendement énergétique.

Liens Internet

Renseignements sur le thème "Standby Power"

www.iea.org

www.openplanet.co.jp

www.wirklich-aus.de

PIV – Panneaux Isolants sous Vide

Un nouveau projet international de l'AIE examine l'application de la technique du vide à l'isolation des bâtiments.

Mark Zimmermann

Chef du programme
Systèmes et installations techniques
pour le bâtiment
de l'OFEN
c/o LFEM/EMPA
CH-8600 Dübendorf

Martin Stettler

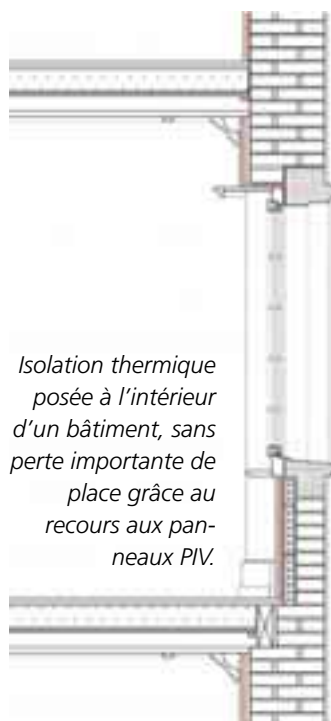
Responsable du
domaine
Systèmes pour le
bâtiment de l'OFEN

La technique d'isolation des bâtiments évolue dans deux directions: vers des couches isolantes plus épaisses, et vers une conductivité thermique plus réduite des matériaux utilisés. Ces dernières années, cette dernière méthode a été appliquée avec succès au développement de fenêtres super-isolantes. Le triple vitrage, un revêtement déposé sur les surfaces intérieure et extérieure, enfin le remplissage avec un gaz rare sont autant de mots-clés en la matière.

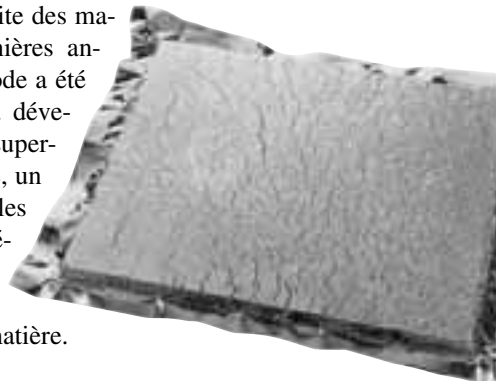
On demande des isolations murales plus minces

Pendant ce temps, du côté des parois, les systèmes d'isolation devenaient toujours plus épais pour répondre à l'importance croissante des standards de construction modernes prescrivant une utilisation économe de l'énergie. Or, les volumes et épaisseurs de parois nécessaires qui, dans les nouvelles constructions, ne posent souvent aucune difficulté lors de l'établissement des plans, ne sont guère possibles dans le domaine de la rénovation. C'est pourquoi le développement de panneaux isolants minces de conductivité thermique très réduite prend une signification particulière.

Les panneaux isolants sous vide (PIV) se composent d'un matériau pour le cœur et d'une enveloppe étanche aux gaz de par sa soudure, de sorte que le vide peut être fait à l'intérieur du panneau. Cette technique est déjà appliquée industriellement, par exemple dans le système de piles



Isolation thermique posée à l'intérieur d'un bâtiment, sans perte importante de place grâce au recours aux panneaux PIV.



*Les panneaux isolants sous vide (PIV) sont constitués d'un matériau pour le cœur et d'une enveloppe étanche aux gaz de par sa soudure.
(Fig.: ZZ Wancor)*

à combustible de Sulzer Hexis et dans les accumulateurs Zebra de MES-DEA. Ses applications potentielles à l'isolation thermique des bâtiments sont considérables.

De nouvelles possibilités dans la rénovation de bâtiments

Les standards modernes applicables aux bâtiments à faible consommation d'énergie (Minergie, "maison passive", etc.) demandent des coefficients de transmission de chaleur (valeurs U) de 0,1 à 0,15 W/m²K. Cette valeur cible est atteinte par les PIV (de conductivité thermique 0,006 W/mK) avec une épaisseur de panneau de 40 mm déjà. Cette dernière valeur correspond à 1/7 environ de l'épaisseur d'isolation classique nécessaire avec ces standards modernes de construction.

PIV sont aussi utilisés en remplacement du liège ou autre matériau de faible épaisseur; ce faisant, ils procurent une meilleure isolation thermique.

En raison du vide régnant à l'intérieur, les panneaux ne doivent être ni coupés, ni percés ou perforés; ils requièrent une manutention soignée au montage. Il faut distinguer ici la situation sur le chantier et la production des éléments préfabriqués. Alors que, dans le premier cas, une protection par la mousse d'un fin manteau de matière synthétique (p.ex. du polystyrène) est nécessaire, on peut utiliser des plaques non protégées ou de forme spéciale lors du montage en usine de parois, portes, caissons de stores à rouleaux, fenêtres, etc. Des essais ont aussi eu lieu avec des PIV protégés par un vitrage.

Réfection d'une terrasse en toiture, avec des PIV.



Dans la rénovation des bâtiments auxquels on ne peut, pour des raisons esthétiques ou techniques, ajouter aucune isolation extérieure, les PIV appliqués à la face intérieure du bâtiment représentent de précieuses économies de place. Cette technique d'isolation prend toute sa signification également dans les constructions nouvelles (par exemple dans les immeubles à plusieurs appartements) quand il s'agit d'utiliser au mieux la surface de sol à disposition. Les

Des matériaux prodigieux

Jusqu'ici, le matériau du cœur des panneaux a toujours été constitué d'acide silicique pyrogène à haute dispersion et d'aérogels, car ceux-ci possèdent de par leur structure microporeuse une conductivité thermique très réduite. Les aérogels – comme leur nom l'indique – sont des matériaux extrêmement poreux, et donc très légers, qui ne sont composés que de peu de matière solide, de 90%

La technique d'isolation en tant que projet AIE

Les chances de la technique d'isolation de haute performance sont bonnes; elle promet des économies d'énergie considérables. C'est pourquoi le programme "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) a décidé de lancer un programme de recherche et de développement sur le thème "High Performance Thermal Insulation Materials" (HiPTI) ("Annexe 39"). Les activités prévues comprennent les domaines suivants:

- mise en réseau des experts issus de la recherche et du développement et des concepteurs-projeteurs
- études de base dans le domaine des matériaux utilisés
- soutien des entreprises dans le développement de systèmes HiPTI
- analyses en rapport avec la rentabilité, la durée de vie et le recyclage des éléments PIV
- développement de matériel isolant et d'éléments de construction isolants de conductivité thermique inférieure à 0,015 W/mK

Lien Internet donnant accès aux renseignements sur les projets au LFEM/EMPA:

www.empa.ch/zen

d'air entouré par exemple d'une structure poreuse de dioxyde de silicium. Ils sont fabriqués à partir d'oxyde métallique, de polymères, de carbone et d'autres matériaux. Un aérogel est formé de particules d'une taille de 1 à 10 nm, qui s'accrochent les unes aux autres en formant une chaîne; l'indice caractéristique de la surface atteint jusqu'à 800 m²/g, tandis que la densité des particules est de l'ordre de 120 kg/m³.

Les PIV à l'épreuve de la pratique

Grâce au soutien du projet PIV par l'OFEN, soutien axé sur les tests pratiques, les premières expériences ont pu être faites dans le domaine de l'enveloppe et des installations techniques du bâtiment. Les propriétés étonnantes de ce matériel isolant de haute performance soulèvent de nouvelles questions techniques et de physique du bâtiment auxquelles une collaboration internationale cherche désormais à répondre.

Nouveaux réacteurs avec systèmes passifs de sûreté

Les tests effectués à l'aide de l'installation expérimentale PANDA du PSI contribuent au renforcement des standards de sûreté

Jörg Dreier

Institut Paul Scherrer
Laboratoire de
Thermohydraulique
CH-5232 Villigen

Wolfgang Kröger

Chef du programme
Sûreté nucléaire
et élimination des
déchets
c/o Institut
Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

Christophe de Reyff

Responsable du
domaine Énergie
nucléaire de l'OFEN

L'un des points forts de la recherche nucléaire à l'Institut Paul Scherrer (PSI) à Villigen est la sûreté des réacteurs. De nouveaux concepts avancés de réacteurs à eau légère font désormais plus largement appel à des systèmes passifs de sûreté, dans le but de renforcer les standards de sûreté et de réduire les coûts grâce à une simplification de l'installation. De tels concepts ont été, entre autres, développés par General Electric (ESBWR), Westinghouse (EPP) et Siemens (SWR1000) pour le marché européen. Depuis plusieurs années, dans le programme ALPHA s'y référant, on analyse l'évacuation de la chaleur dite résiduelle, c'est-à-dire celle dégagée après l'arrêt de la réaction en chaîne dans le réacteur; plusieurs types de systèmes passifs pour les réacteurs à eau légère sont à l'étude. L'élément central de ces essais est l'installa-

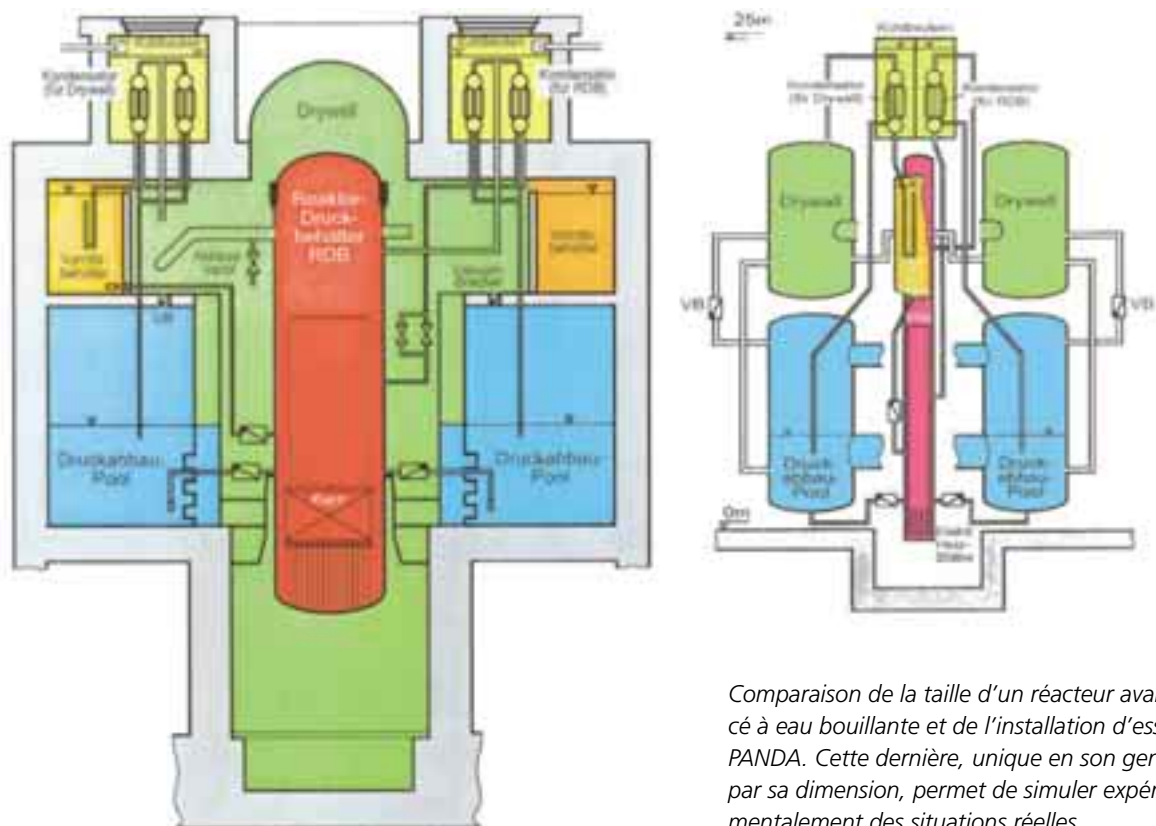
tion expérimentale PANDA, unique en son genre, construite dans l'enceinte du PSI à partir de 1993.

Les systèmes passifs sont indépendants des sources extérieures d'énergie

Si une fuite de caloporteur se produit dans le réacteur d'une centrale nucléaire, des systèmes de refroidissement de secours entrent en action. L'évacuation de la chaleur résiduelle a une fonction clé dans l'ensemble du dispositif de sûreté. À côté des systèmes redondants dits actifs, commandés et alimentés en énergie de l'extérieur, les systèmes de sûreté passifs, donc indépendants de toute source extérieure d'énergie, jouent un rôle décisif. Leur fonctionnement est, par exemple, basé sur la gravité et la convec-



Vue d'ensemble de la cuve PANDA pendant sa construction.



Comparaison de la taille d'un réacteur avancé à eau bouillante et de l'installation d'essai PANDA. Cette dernière, unique en son genre par sa dimension, permet de simuler expérimentalement des situations réelles.

Liens Internet

Institut
Paul Scherrer:
Département
de recherche en
énergie nucléaire
et sûreté
www.psi.ch

tion naturelle. Le concept d'évacuation passive de la chaleur résiduelle est l'un de ces systèmes passifs; il s'agit ici de refroidir aussi bien la cuve pressurisée du réacteur que l'enceinte qui l'entoure, dite enceinte de confinement. À l'inverse des réacteurs actuels, de tels systèmes sont conçus de façon que le temps qui s'écoule entre l'apparition d'une situation critique et la nécessité d'une intervention humaine, c.-à-d. la période de grâce, soit de 1 à 3 jours.

Le but des études du PSI était la simulation du comportement dynamique de tels systèmes passifs et l'analyse détaillée des principaux phénomènes en jeu. Les expériences de thermohydraulique à grande échelle effectuées à l'aide de l'installation expérimentale PANDA fournissent, d'une part, la preuve expérimentale de l'efficacité fonctionnelle de tels concepts et, d'autre part, la base de données nécessaire à la validation des logiciels de calcul pour l'analyse de la sûreté du réacteur.

Des expériences qui conduisent à des développements importants

À l'origine, les tests effectués depuis 1995 à l'aide de l'installation PANDA ne devaient que confirmer des informations en vue de la certification des réacteurs avancés à eau bouillante. Pourtant, en fin de compte, ces expériences ont fait progresser les développements de manière décisive. Et ces essais servent aujourd'hui bel et bien à la certification de concepts avancés. L'installation PANDA a été conçue de manière à reproduire la partie thermohydraulique d'un concept avancé de réacteur à eau bouillante; la puissance, le volume et les débits etc. ont été choisis à l'échelle 1 :25 sur la base du premier concept passif étudié, tandis que la hauteur de l'installation, le déroulement des séquences d'essai ainsi que les valeurs de la pression et de la perte de charge sont reproduits à l'échelle 1 :1. Avec cette installation, ce sont surtout les effets pluridimensionnels, si importants, qui peuvent être analysés, car les volumes principaux de l'enceinte de confinement sont simulés chacun par deux cuves reliées entre elles. Les phénomènes complexes de mélange, de stratification et de circulation à l'intérieur du confinement sont ainsi fidèlement reproduits et analysés.

Visualisation des processus en cours et interface utilisateur de l'installation PANDA.



Une construction modulaire, une vaste tuyauterie ainsi qu'une implantation standard des instruments avec quelque 640 emplacements de mesure, soit 440 pour la température et 200 pour les mesures de pression, de flux de matière, de concentration de gaz, etc. permettent une saisie optimale de la simulation des conditions prévalant lors de différents incidents. Des situations de base et le comportement répétitif sont ainsi testés; on procède aussi à des essais asymétriques avec alimentation unilatérale en vapeur d'eau; enfin, le comportement au démarrage en conditions extrêmes ainsi que le fonctionnement en parallèle de plusieurs composants du système passif d'évacuation de la chaleur résiduelle sont, eux aussi, étudiés.

Dans les analyses de systèmes effectuées à ce jour, le comportement avantageux de divers concepts de sûreté passive a pu être prouvé à grande échelle par l'expérience. Les systèmes étudiés se sont révélés très robustes et performants dans les conditions les plus diverses.

L'évacuation thermique dépend surtout des échangeurs de chaleur

Un rôle important lors du refroidissement passif de l'enceinte de confinement est dévolu aux échangeurs de chaleur propres au

concept et à leur comportement pendant la situation d'urgence étudiée. Leurs performances ont une influence décisive sur l'efficacité du système passif de refroidissement et pèsent ainsi considérablement sur l'évolution de la pression dans le confinement. C'est pourquoi des analyses sont effectuées dans des conditions particulièrement défavorables aux échangeurs de chaleur, comme par ex. quand le niveau d'eau est spécialement bas pour ces échangeurs qui sont plongés dans un réservoir d'eau à l'extérieur de l'enceinte de confinement.

Un autre concept passif fait intervenir ce qu'on appelle un condenseur de bâtiment, placé dans l'enceinte de confinement. Ce dispositif évacue la chaleur résiduelle vers un réservoir d'eau placé à l'extérieur du confinement. Les performances de ce dispositif échangeur de chaleur pendant un incident dépendent de l'atmosphère de l'enceinte de confinement et des phénomènes transitoires de convection naturelle dans le circuit d'évacuation de la chaleur.

L'étude des systèmes passifs stimule les développements

Les expériences PANDA ont stimulé de manière significative le développement et l'amélioration des systèmes passifs de sûreté, dans le sens d'un dimensionnement

plus précis, assurant ainsi le refroidissement à long terme du confinement des réacteurs à eau légère. La première phase comprenant une série de dix tests du système a pu être achevée en 1995; la deuxième phase a été effectuée dans le cadre de projets du 4^{ème} programme de recherche de l'UE. Elle était consacrée à deux concepts avancés de réacteurs destinés aux centrales européennes et a duré jusqu'en 1998. L'installation d'essai y a occupé une place de premier plan et a confirmé le rôle de leader de l'Institut Paul Scherrer. La phase 3 du programme ALPHA, qui, entre autres, s'occupe en détail des effets pluridimensionnels à l'intérieur de l'enceinte de confinement des réacteurs avancés ainsi que des outils de calcul pour l'analyse de la sûreté, va maintenant se poursuivre jusqu'en 2003 dans le cadre du 5^{ème} programme de recherche de l'UE. Au début de 2001, PANDA a été reconnu par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE comme installation d'essai à maintenir opérationnelle et à financer pour la moitié par les pays de l'OCDE dans le cadre des projets internationaux des États membres de cette organisation.

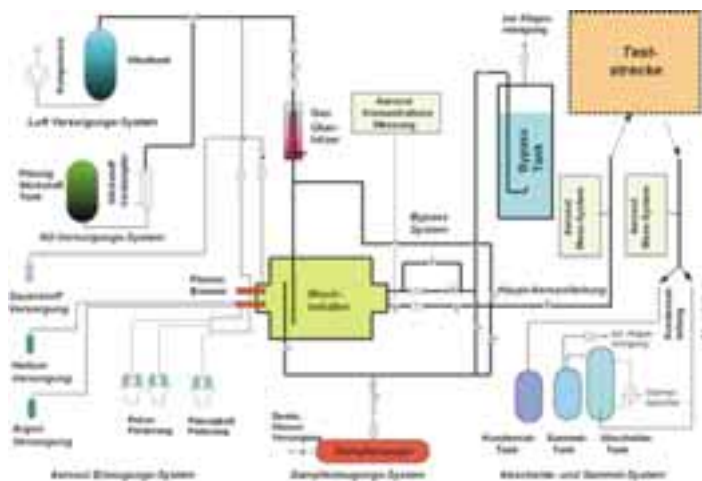
D'importants dépôts d'aérosols réduisent le transfert de chaleur

En complément du projet ALPHA, des problèmes spécifiques comme par ex. l'analyse du comportement de dispositifs passifs de refroidissement de l'enceinte de confi-

nement lors d'une fusion accidentelle du cœur provoquant des émissions importantes de gaz et d'aérosols, ont fait l'objet du projet CONGA réalisé entre 1997 et 1999 par 5 partenaires dans le cadre du 4^{ème} programme de recherche de l'UE. L'intérêt se concentrait alors sur le test d'échangeurs de chaleur à fines ailettes, situés à l'intérieur de l'enceinte de confinement et utilisés comme éléments passifs d'évacuation de la chaleur.

Les analyses théoriques et expérimentales ont été structurées en cinq groupes sur la base des types de réacteurs à eau bouillante et à eau pressurisée. Le projet CONGA a contribué notablement à la compréhension du rapport existant entre les dépôts d'aérosols sur l'échangeur de chaleur et l'aptitude de celui-ci à évacuer efficacement la chaleur résiduelle. On a pu en outre voir où des améliorations étaient possibles, notamment en raison des différences marquantes observées, d'une construction d'échangeur à l'autre, dans la réduction du transfert de chaleur due aux dépôts.

Dépôts d'aérosols sur l'échangeur de chaleur testé.



L'installation DRAGON qui n'a pas sa pareille dans le monde entier est capable de produire des aérosols dans les conditions typiques des accidents majeurs.

Ces tests, effectués dans l'installation DRAGON du PSI, ont fait intervenir différentes combinaisons de matériaux solubles et insolubles composant les aérosols transportés par un mélange de vapeur et d'azote. Dans la cuve d'essai CESANE, les échangeurs de chaleur étudiés comptaient cinq tubes à ailettes de cuivre.

Échangeurs de chaleur étudiés à l'aide de l'installation PANDA, avant leur montage dans le réservoir d'eau.

Pour commander
 ● Formulaire de commande (à faxer)
 ou
 ● Site Internet d'ENET – www.energieforschung.ch

Recherche énergétique en général

Recherche énergétique, Energie-Forschung 2000

Rapports de synthèse, Überblickeberichte; von chefs de programme und Programmleiter; BFE; 02-2001; DE/FR; F&E; SFr. – Nr. 210030

ENET-NEWS Nr. 47 deutsch

ENET; 03-2001; DE; 44 S.; SFr. – Nr. 210033

ENET-NEWS NEWS Nr. 47 französisch

ENET; 03-2001; FR; 44 S.; SFr. – Nr. 210034

Biomasse

Prozessverhalten von in der Schweiz eingesetzten MSW-Gärsystemen unter dem Einfluss steigender Anteile an Küchenabfällen – Teil II

Schlussbericht; Wellinger A.; Schober G.; Eidg. Forschungsanstalt (FAT); 12-2000; DE; 39 S.; F&E; SFr. 20.00 Nr. 200187

Co-Vergärungsanlagen Machbarkeitsstudien auf Kläranlagen Adelboden und Arbon

Schlussbericht; Engeli H.; Kobel B.; Engeli Engineering; 11-2000; DE; 99 S.; P&D; SFr. 40.00 Nr. 200188

Co-Vergärungsanlagen Machbarkeitsstudien auf Kläranlagen Adelboden und Arbon

Zusammenfassung Schlussbericht; Engeli H.; Kobel B.; Engeli Engineering; 11-2000; DE; 12 S.; P&D; SFr. 15.00 Nr. 200189

Energetische Nutzung von Biomasse, zweite Umsetzungsphase zur thermischen Nutzung von Hofdüngerbrennstoffen

Schlussbericht; Hersener J.-L.; Bühler R.; Umwelt und Energie; 12-2000; DE; 66 S.; F&E; SFr. 30.00 Nr. 200190

Rationelle Energieanwendung in der Landwirtschaft (REAL):

Berücksichtigung vermehrten Einsatzes erneuerbarer Energieträger Schlussbericht; Hersener J.-L.; Meier U.; 12-2000; DE; 30 S.; F&E; SFr. 15.00 Nr. 200191

Biogas-Kleinanlage für den dezentralen Einsatz

Bericht; SSES regi Züri; Projektteam Biogas; 11-2000; DE; 6 S.; P&D; SFr. 15.00 Nr. 200197

SA Compost Chablais-Riviera, Installation de Biométhanisation et de compostage, Descriptif de fonctionnement

Zusammenfassung; Alpha Technique de l'Environnement S.A.; Hôtel de Ville; 11-2000; FR; 13 S.; P&D; SFr. 15.00 Nr. 200198

Piles à combustible à l'hydrogène

Die Brennstoffzellen-Technologie in der Schweiz

Übersichtsbericht; Nieba, L.; Tauer, A.; TEMAS AG; 04-2001; DE; 8 S.; F&E; SFr. – Nr. 210037

Stockage chimique d'énergie

Materialien für nachhaltige Technologien in der Energieumwandlung und Energieeinsparung

A. Schichten und Schichtsysteme für solare Energiesysteme
 B. Thermische Verluste durch Wärmebrücken in Gebäuden

Électricité

Machbarkeitsstudie Datenerhebung im Programm „Elektrizität“

Verbrauchergruppen: Beleuchtung, Haustechnik, Mobilität, gewerbliche Anwendungen, diverse Spezialanwendungen
 Zusammenfassung; Nipkow J.; Brunner C.U.; Gasser St.; Glauser H.; Gloor R.; Lingenhel St.; Steinemann U.; BFE; 12-2000; DE; 53 S.; P&D; SFr. 30.00 Nr. 200208

Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen:

Stoffdaten, Gärtechnik und gesetzliche Grundlagen
 FAT-Berichte Nr. 546; Baserga U.; Eidg. Forschungsanstalt (FAT); 11-2000; DE; 12 S.; F&E; SFr. 15.00 Nr. 200199

Bericht über das Deponiegaskraftwerk Liesberg (BL) der Elektra Birseck Münchenstein nach einem Jahr

Bericht; Elektra Birseck (EBM); 07-1996; DE; 13 S.; F&E; SFr. 15.00 Nr. 200203

Kontinuierliche Biogaserzeugung aus Festmist

Pilotanlage von J. Oppliger in Le Cerneux-Veusil
 Semesterarbeit; Meister, A.; Oppliger Jean; 11-1993; DE; 64 S.; F&E; SFr. 30.00 Nr. 200204

Suivi technique pour le module Biogaz discontinu

Rapport; Membrez Y.; ADER Association pour le Développement des Énergies Renouvelables; 10-1996; FR; 23 S.; F&E; SFr. 15.00 Nr. 200205

Module biogaz discontinu installé chez Monsieur Chevalley

Rapport; ADER Association pour le Développement des Énergies Renouvelables; 09-1997; FR; 6 S.; F&E; SFr. – Nr. 200206

Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe

Studie; Edelmann W.; Schleiss K.; Arbi Bioenergie GmbH; 02-2001; DE; 118 S.; F&E; SFr. 50.00 Nr. 210031

Biogene Güter in der Schweiz: Massen- und Energieflüsse

Schlussbericht; Scheurer, K.; Baier, U.; Hochschule Wädenswil; 02-2001; DE; 52 S.; P&D; SFr. 30.00 Nr. 210036

Transports, véhicules légers

TIWKE Kompetenzzentrum Region Bern - eine Anleitung für Anbieter

Erfahrungs- und Schlussbericht; Schnyder M.; BFE; 02-2001; DE; 10 S.; P&D; SFr. – Nr. 210039

Peter Oelhafen P.; Geng J.; Cheng Ho S.; Reber G.; Schüler A.; Steiner R.; Institut für Physik der Universität Basel; 12-2000; DE; 28 S.; F&E; SFr. 15.00 Nr. 200196

Machbarkeitsstudie Datenerhebung im Elektrizitätsbereich

Bereich Haushaltgeräte, Bereich Unterhaltungselektronik, Bereich Büro- und Kommunikationsgeräte, Bereich Industrie
 Zusammenfassung; Huser A.; Schaltegger B.; Baumgartner W.; BFE; 01-2001; DE; 100 S.; P&D; SFr. 40.00 Nr. 210038

Fondements de l'économie énergétique

Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 1999

Schlussbericht; Kaufmann U.; BFE; 12-2000; DE; 77 S.; F&E; SFr. 30.00
Nr. 200210

Facility Management und Energieeffizienz: Analyse und Handlungsempfehlungen

Schlussbericht; Staub P.; Weibel K.; Zaugg T.; Lang R.; Frei Ch.; Pom + Consulting AG; 01-2001; DE; 95 S.; F&E; SFr. 40.00
Nr. 210032

Combustion

Numerische Untersuchung von laminaren Methan/Luft-Vormischflammen

Technische Mitteilung; Witt M.; Griebel P.; Paul Scherrer Institut (PSI); 12-2000; DE; 26 S.; F&E; SFr. 15.00
Nr. 200202

Chaleur solaire

Solaire actif, Chaleur, Solarwärme: Synthèse et rapport annuel des mandataires

Rapport annuel; Hadorn J.-Ch.; BFE; 12-2000; DE/FR; 79 S.; F&E; SFr. 40.00
Nr. 200209

Stockage de chaleur

RENOVA: Installation solaire active avec injection de chaleur en sous-sol

Rapport final; Lachal B.; Soutter C.; Pampaloni E.; Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie; 12-2000; FR; 55 S.; F&E; SFr. 30.00
Nr. 200192

Energiepfähle: Anwendung am Beispiel Dock Midfield

Bericht; Hubbuch M.; ARGE ZAYETTA; 06-2000; DE; 3 S.; F&E; SFr. –
Nr. 200200

Énergie éolienne

Sites Eoliens dans le canton de Neuchâtel

Rapport final; Hopkins W.; Renewable Energy Systems Ltd.; 11-2000; FR; 80 S. + Pläne A3; F&E; SFr. 50.00
Nr. 200193

Sites Eoliens dans le canton de Neuchâtel

Rapport final; Hopkins W.; Ecole Technologie; 12-2000; FR; 80 S. + Pläne A3; F&E; SFr. 50.00
Nr. 200194

Kennzeichnung von Elektrizität

Dettli, R.; Markard, J.; Econcept AG; 01-2001; DE; 74 S.; F&E; SFr. 30.00
Nr. 210035

Photovoltaïque

Monitoring PV-Anlage UBS Suglio/Lugano

Schlussbericht DIS 23844/63884; Kröni R.; Burà E.; BFE; 12-2000; DE; 76 S.; P&D; SFr. 30.00
Nr. 200211

Transfert technologique

Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich der Energie in der Schweiz

Liste der Projekte 1998/1999; BFE; 11-2000; DE; 58 S.; F&E; SFr. –
Nr. 200186

Sommersonne für den Winter speichern – ein Traum?

Saisonale Speicherung im Erdboden zur Wärmeversorgung von Siedlungen
Bericht; Hartmann, P.; Jüzi H.; et al.; Zürcher Hochschule Winterthur; 04-2000; DE; 5 S.; F&E; SFr. –
Nr. 200201

Stockage de chaleur, Wärmespeicherung: Synthèse et rapport annuel des mandataires

Rapport annuel; Hadorn J.-Ch.; BFE; 12-2000; DE/FR; 85 S.; F&E; SFr. 40.00
Nr. 200207

Sites Eoliens dans le canton de Neuchâtel – Volume II

Rapport final + Rapport paysage; Ecole Technologie; 11-2000; FR; 80 S. + Pläne A3 / 25 S. + Pläne A3; F&E; SFr. 80.00
Nr. 200195

Manifestations

	Manifestation
Juin	
20	Seminar: Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser Fachhochschule beider Basel FHBB www.fhbb.ch/weiterbildung
28–29	Greenpower Marketing Europäische Konferenz in St. Moritz www.greenpowermarketing.org
Juillet	
2–6	European Fuel Cell Forum Au Palais de la culture et des congrès, Lucerne www.efcf.com
Septembre	
20	Cycle d'études postgrades en énergie EPFL http://postgrade-energie.epfl.ch

Octobre	
3–4	CISBAT 2001: Energie solaire et bâtiment Conférence internationale à l'EPF de Lausanne http://lesowwww.epfl.ch
5	Tagung der Schweiz. Vereinigung für Verbrennungsforschung (SVV) Fachhochschule Brugg-Windisch www.svv.ethz.ch
18–20	Exposition: Energies renouvelables Giubiasco Renseignements: claudiocaccia@bluewin.ch
25–27	EXPO: Bois et soleil, pompes à chaleur 1 ^{ère} Foire suisse des énergies renouvelables Messe Zürich
Novembre	
8–11	3^{ème} Foire suisse Maison et MINERGIE BEA bern expo www.hausbaumesse.ch

Formulaire de commande des publications et services d'ENET

N° des publications	Titre	Nombre

ENET offre des services spéciaux aux entreprises

- ☐ Assistance au développement de produits et à l'innovation de produit, par de nouvelles technologies
- ☐ Solution de problèmes d'actualité (assistance scientifique et technique)

Société, organisation: _____

Nom: _____ Prénom: _____

Adresse: _____

NPA: _____ Lieu: _____

Téléphone: _____ Téléfax: _____

E-mail: _____

Pour commander:
 ● Formulaire de commande (à faxer)
 ou
 ● Site Internet d'ENET: www.energieforschung.ch