

ENET NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique



Photovoltaïque
De la puissance sur le toit plat

Procédés
Considérer les choses de manière globale

Combustion
Réduction catalytique des oxydes d'azote

www.energieforschung.ch



OFEN

Exporter : une obligation !4
Liste des projets 2000/20014
La recherche énergétique à la Swissbau.....5

CORE

Sur une base durable6

ENET

La promotion porte ses fruits.....8
Le service de documentation ENET est
depuis deux ans sur Internet8

Fondements de l'économie énergétique

À la conquête du marché.....10
L'encouragement de la construction de
logements et l'efficacité énergétique.....11

Nouvelles internationales

Le 6^e Programme-cadre de recherche11

Photovoltaïque

De la puissance sur le toit plat.....12
De l'électricité solaire pour la recherche
sur les avalanches12
Le Prix solaire attribué à une toiture
de Genève13

Énergie éolienne

COM-EOLE, une charte pour un déve-
loppement en douceur.....13

Chimie solaire

Récupération de précieux matériaux.....14
Hydropôle : un centre de compétences14

Biomasse

L'écobilan met les choses au point.....15

Bois

De la chaleur pour l'habitat16

Géothermie

Un tunnel de base fournit de l'énergie17

Petits aménagement hydroélectriques

Revitaliser et exploiter18
Projet de roue hydraulique18

Chaleur ambiante

Pour une étude plus rationnelle.....20
Mesures sur des pompes à chaleur Retrofit..20
Pompes à chaleur – encore plus efficaces
et plus silencieuses.....21

Procédés

Considérer les choses de manière globale...22
Plan directeur de la recherche de la CORE ..22
Un nouveau chef de programme.....23



Incinérer ou séparer ?.....24
Le LENI développe des méthodes
d'optimisation des procédés.....25
Des installations sous la loupe26
L'AEnEC, l'Agence de l'énergie.....26
EPF-ALSTOM : une collaboration27
Chaleur à distance – Chaleur de proximité...27
Chaleur et électricité à partir de
combustibles.....28

Bâtiment

Leonardo et Minergie.....31
Simulations de bâtiments31

Transports

Le Domaine des EPF profile l'avenir32

Combustion

Réduction catalytique des oxydes d'azote...34

Énergie nucléaire

Retenir à tout prix36

Piles à combustible

Réseau suisse en construction37

Publications : parutions nouvelles.....38

Impressum

ENET-NEWS
Nouvelles de la recherche énergétique

Avril 2003 / N° 54

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

Éditeur
Office fédéral de l'énergie OFEN
Worblentalstrasse 32
CH-3063 Ittigen

Adresse postale
OFEN
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

Traduction française
Jean-Marc Suter
Suter Consulting
Postfach 130
CH-3000 Bern 16

Reproduction autorisée seulement avec
l'indication de la source.

Papier sans chlore
Imprimé en Suisse.

Photo de couverture

Dans la production de colorants, le point
de départ est le développement de la
teinte exacte pour différents matériaux.
Les solvants interviennent dans de nom-
breux procédés industriels de fabrication.
Les aspects énergétiques de leur recyclage
font l'objet d'une analyse présentée à la
page 24.

(Photo : Ciba Spezialitätenchemie SA)

L'énergie dans l'industrie

L'industrie des machines, des équipements électriques et des métaux doit simultanément répondre à plusieurs exigences : d'une part, en matière de consommation d'énergie de ses propres produits, et, d'autre part, en ce qui concerne la politique d'investissement, qui accorde une grande importance à la durabilité, tant pour les constructions nouvelles et les rénovations que pour les installations de production et le parc automobile. Représentée par Swissmem – la communauté formée par l'Association patronale de l'industrie des machines (ASM) et par la Société suisse des constructeurs de machines (VSM) – la branche est active sur ces deux fronts, depuis de nombreuses années déjà.

En tant que membre fondateur de l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC), Swissmem s'engage pour l'application de la loi sur l'énergie et de la loi sur le CO₂. Nous n'apprécions pas particulièrement les taxes sur l'énergie, surtout d'un point de vue purement fiscal, et c'est pourquoi nous misons tout sur l'engagement volontaire : grâce à des mesures spontanées, notre secteur est en passe d'atteindre le but fixé par la loi sur le CO₂ pour l'année 2010. Nous avons déjà accompli un grand pas dans ce sens, comme le prouve clairement l'évolution de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ de nos sociétés affiliées. Mais il reste encore beaucoup à faire.

À une époque marquée par une utilisation plus consciente des ressources et par des normes, des étiquettes et des certifications relatives à l'énergie et à l'environnement, comme aussi par un nombre croissant de réglementations, les fabricants de machines et d'installations dépendant de l'énergie pour leur fonctionnement sont particulièrement mis à l'épreuve. Nombreux sont ceux qui y voient l'occasion de devancer leur concurrence, soit par le redimensionnement, voire la miniaturisation de leurs produits, systèmes de propulsion et parties mobiles, soit par un meilleur réglage des procédés, par la réduction des pertes thermiques ou encore par le développement de procédés totalement nouveaux.

Les appareils ayant une grande longévité – qu'ils soient conçus pour la production ou pour la transformation

d'énergie avec un rendement élevé – sont particulièrement durables. Parmi ces derniers, citons entre autres la pile à combustible de SULZER – qui produit de la chaleur et de l'électricité –, ou l'optimisation des turbines à vapeur d'ALSTOM – pour lesquelles les moindres améliorations du rendement ont un énorme effet énergétique et font apparaître sous un jour nouveau les émissions de CO₂ du banc d'essai pour turbines –, ou la construction d'éoliennes – que l'on adapte à leurs lieux de fonctionnement –, ou encore des projets pilotes tels que "Seaflow" (en collaboration avec la société ABB) – dans lequel, à l'exemple de l'énergie éolienne, les courants marins sont utilisés pour produire de l'électricité.

Par l'exportation de ses produits, l'industrie suisse des machines, des équipements électriques et des métaux est en mesure d'influencer dans le monde entier les comportements vis-à-vis de l'énergie.

Johann N. Schneider-Ammann

Président de Swissmem, Conseiller national,
Président et administrateur-délégué du groupe
AMMANN

Merci !

Vous avez reçu en annexe au dernier numéro d'ENET-NEWS un questionnaire qui vous a permis d'évaluer les diverses prestations de la plate-forme d'information ENET dans le domaine de l'énergie. Quelque 600 personnes nous ont renvoyé le questionnaire ou nous ont répondu par e-mail, ce qui correspond à peu près à 10% du nombre total des lecteurs. Nous vous remercions chaleureusement de ce soutien qui nous aide à améliorer de façon ciblée l'offre de prestations d'ENET et à l'adapter aux besoins futurs. Vous serez informés prochainement du résultat de cette enquête.

La Rédaction d'ENET-NEWS



Exporter : une obligation !

La promotion de l'exportation accroît les chances des technologies énergétiques durables sur les marchés internationaux

La rentabilité des technologies énergétiques durables, utilisées en vue de la production d'énergie par des sources renouvelables ou d'une exploitation plus rationnelle de l'énergie, peut être améliorée grâce au développement des marchés internationaux concernés. Cela augmente également les chances de ces techniques et leur permet de s'imposer de plus en plus, aussi bien en Suisse que dans le reste du monde, et en particulier dans les pays en voie d'industrialisation ou de développement. Le *Plan directeur pour la promotion de l'exportation des technologies énergétiques durables*, élaboré par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) (à télécharger à partir du site Internet de l'OFEN : www.suisse-energie.ch ; rubrique "Recherche"), constitue donc une mesure conséquente pour la réalisation des objectifs de la politique énergétique. Alors que, pour l'année 2000, l'exportation de ce type de produits représentait une valeur

d'environ 790 millions de CHF, on estime que d'ici à 2010, le volume annuel d'exportation pourra augmenter jusqu'à atteindre 1,5 milliard de CHF (source : étude EWG "*Förderung des Exports im Bereich der Energietechnologien*" ; à télécharger à partir du site : www.ewg-bfe.ch). Que faut-il faire pour atteindre cet objectif ?

Trois mesures pour améliorer les chances d'exportation

Compte tenu de la situation actuelle des exportations dans le domaine des technolo-

- Des données statistiques à jour sont nécessaires pour pouvoir assurer une promotion ciblée des exportations.

La coordination de la promotion des exportations par la Confédération a été confiée au Secrétariat d'État à l'économie (seco), et c'est l'Office suisse d'expansion commerciale (OSEC) qui est chargé de l'engagement de tous les moyens fédéraux correspondants. Du côté des pouvoirs publics, les acteurs principaux de la promotion de l'exportation des technologies énergétiques durables sont donc l'OSEC et l'OFEN.

Liste des projets

La *Liste des projets 2000/2001* nouvellement publiée recense un millier de projets de RD&D énergétique des années 2000 et 2001. Elle est le résultat d'une enquête effectuée tous les deux ans. On peut partir du principe que, sauf exception, tous les projets réalisés par les instituts du Domaine des EPF, par les Universités et par les HES figurent sur cette liste.

N° ENET 220244 (d); 220245 (f)

L'actuelle Liste des projets et la liste précédente (1998/1999) se trouvent sur la page Internet de l'OFEN, "Recherche".

www.suisse-energie.ch

La Liste des projets 2000/2001 ainsi que quatre des listes précédentes dès 1992, et davantage d'informations sur les projets (rapports annuels et finaux, publications) se trouvent toutes dans la banque de données des publications d'ENET et peuvent être commandées directement sur le site : www.energieforschung.ch



OSEC : participer à des foires à l'étranger dans le cadre de stands collectifs, à des conférences, des séminaires et des cours de formation permanentes.

gies énergétiques durables, il convient pour les promouvoir d'agir dans les domaines suivants :

- Lors du transfert de nouvelles technologies innovatrices, il faut davantage tenir compte de l'aspect de l'exportation.
- Les obstacles qui empêchent l'introduction de technologies sur les marchés étrangers en croissance doivent être surmontés. Il faut mettre en évidence les nouveaux marchés et les nouvelles opportunités commerciales afin d'améliorer la compétitivité des entreprises suisses.



Liens Internet

L'OSEC, un partenaire pour la promotion de l'exportation de technologies énergétiques durables
www.osec.ch

Base des activités opérationnelles de promotion

À l'échelon national, l'OSEC s'occupe des contacts avec les chambres de commerce, les associations de branches et les services cantonaux de la promotion économique. Au niveau international, il existe des agences locales baptisées "Swiss Business Hubs" dans 13 pays différents, tandis qu'au niveau européen, ce sont l'"Euro Info Centre Suisse" (EICS) et l'"Innovation Relay

Center" qui peuvent créer des contacts pour le transfert de technologie.

À travers ses différents programmes de recherche énergétique, l'OFEN propose des contacts directs avec les Hautes Écoles universitaires et les Hautes Écoles spécialisées, ainsi qu'avec le secteur privé. Des liaisons avec les associations professionnelles et les agences qui s'occupent de l'introduction des technologies énergétiques durables sur le marché sont en outre disponibles dans le cadre de SuisseEnergie. À cela s'ajoutent encore les dimensions européennes, voire mondiales grâce à la collaboration avec l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) et les programmes de recherche de l'UE (par exemple, le 6^e Programme-cadre).

Points de départ : l'information et la coopération

Dans le domaine de l'énergie, les mesures de promotion tendent principalement à faciliter l'accès des produits concurrentiels aux marchés étrangers existants. En plus des activités qui s'appliquent à toutes les technologies et sont axées sur la simple demande, d'autres, plus spécifiques aux technologies concernées et plus orientées vers l'offre, sont mises sur pied sous certaines conditions.

L'OSEC offre la possibilité de participer à des foires à l'étranger dans le cadre de stands collectifs. Par le biais de conférences, de séminaires et de cours de formation permanente, il transmet aussi des informations sur divers thèmes relatifs aux exportations. Pour unir les forces, il faut encourager les coopérations judicieuses dans la recherche et le développement. Il peut également s'avérer utile, pour augmenter les chances d'exportation, de tenir compte des besoins des marchés étrangers dès la mise en œuvre des résultats sous la forme d'installations pilotes et de démonstration.

L'exportation de technique énergétiques est une tradition en Suisse. Il faut en tenir compte dans le développement de techniques novatrices.

(Photo: turbine à gaz GT 13 E2/165 MW d'ALSTOM Suisse AG)



La recherche énergétique à la Swissbau

À la Swissbau de Bâle, SuisseEnergie a présenté au Centre d'information "energy-net.ch" les réseaux des différentes sources d'énergie renouvelables. Les nouveaux produits de la recherche et du développement étaient, quant à eux, exposés au centre du stand collectif. ENET-NEWS y a également proposé ses actualités de la recherche énergétique.



SuisseEnergie a en outre cofinancé l'exposition spéciale "City Lifting" et la douche installée sur la place de la foire, qui attirait l'attention du public sur le label "Energy" et les économies d'énergie en rapport avec l'eau chaude sanitaire.



energie extra

La revue d'information de l'OFEN et de SuisseEnergie paraît six fois l'an. Abonnement gratuit:

fax: 031 323 25 10

ou

E-mail: office@bfe.admin.ch

Sur une base durable

Le *Plan directeur de la recherche énergétique* pour la période 2004 – 2007 fixe des priorités sur la base de visions à long terme

Le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* – élaboré par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) – constitue pour les instances de décision de la Confédération la ligne directrice à suivre et offre aux organismes cantonaux et communaux des points de repère. L'ébauche pour les années 2004 à 2007 définit les priorités et points essentiels à court terme sur la base des perspectives et des visions à long terme, lesquelles ont pour objectif un approvisionnement durable en énergie. Les besoins en énergie devraient, par exemple, être réduits au tiers de leur valeur actuelle, ce qui correspond à un besoin moyen en puissance de 2'000 watts par personne, et les émissions de CO₂ à un sixième, c'est-à-dire à 1 t par personne et par an. Pour pouvoir atteindre ces valeurs dans 50 ans, c'est aujourd'hui qu'il faut prendre des décisions en matière de recherche.

Les pronostics de consommation sont plus effrayants que les scénarios d'extraction du pétrole

L'objectif principal est de réduire la dépendance vis-à-vis du pétrole au bénéfice des énergies renouvelables et d'utiliser plus efficacement l'énergie. Dans ce contexte, il est important de savoir quand les courbes représentant le rythme d'extraction du

pétrole et celui de sa consommation se croiseront, ce qui génèrera des goulets d'étranglement et des conflits concomitants, ou quand les répercussions climatiques de la consommation de pétrole menaceront la société.

La teneur en CO₂ de l'atmosphère, ou plus précisément la production de CO₂ résultant de la consommation d'énergie, et le réchauffement global qui en découle ne sont pratiquement plus contestés. C'est pourquoi la CORE mise sur la recherche et le

Utilisation rationnelle de l'énergie

En matière d'utilisation rationnelle de l'énergie, les bâtiments se trouvent au premier plan, car ils représentent une partie considérable de la consommation d'énergie. Dans les constructions nouvelles, on utilise aujourd'hui les moyens et les standards les plus modernes pour économiser de l'énergie. Il s'agit maintenant de s'occuper du potentiel considérable que constituent les rénovations et de fixer des priorités en conséquence. Pour atteindre une

Utilisation rationnelle de l'énergie : la CORE voit des potentialités très prometteuses de réduction de la consommation d'énergie dans la rénovation des bâtiments.



développement (R+D) visant à l'application des possibilités techniques, ainsi que sur les projets pilotes et de démonstration (P+D), pour une évaluation fonctionnelle et économique d'idées novatrices ménageant au mieux l'environnement. En conséquence, les moyens mis à la disposition de la recherche énergétique par les pouvoirs publics devraient augmenter de 20 % d'ici à 2007.

Le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2004–2007*, qui doit être mis en œuvre en étroite collaboration avec le programme de politique énergétique SuisseEnergie, est articulé en quatre secteurs.

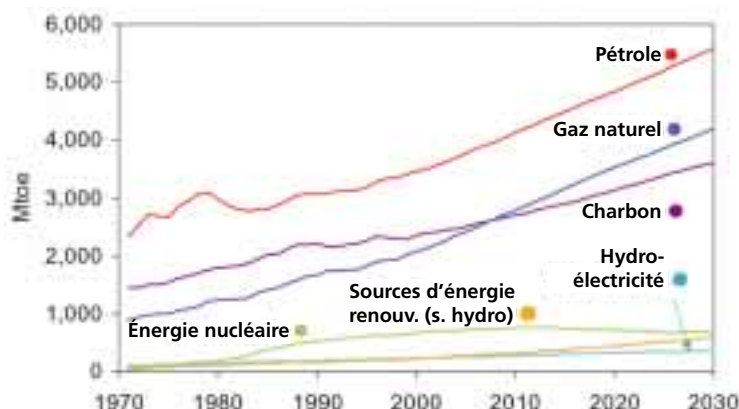
efficacité suffisante dans ce domaine, il faudrait réduire la consommation d'énergie actuelle d'un facteur de 5 à 10. Les moyens à la disposition de la recherche et de la mise en œuvre doivent par conséquent être considérablement augmentés.

Un autre aspect, pratiquement tout aussi important, est le soutien au développement des piles à combustible dans le cadre du programme Couplage chaleur-force (CCF) qui doit être accru. Dans les applications stationnaires, on produit simultanément de la chaleur et du courant électrique de manière décentralisée, ce qui permet une meilleure utilisation des combustibles employés. Dans les utilisations mobiles, le

Liens Internet

Pour toute information sur la CORE, voir le site de SuisseEnergie à la rubrique CORE
www.suisse-energie.ch

La plate-forme fédérale de coordination pour la politique du développement durable en Suisse, auprès de l'Office fédéral du développement territorial (ODT/ARE)
www.ore.ch



L'augmentation mondiale de la consommation de pétrole aggrave les problèmes liés au CO₂, ainsi que les modifications climatiques qui en résultent. Des techniques efficaces peuvent aboutir à des alternatives qui offriraient aussi des chances d'exportation pour la Suisse.

(Graphique: AIE)

rendement supérieur obtenu lors de la transformation du carburant en énergie mécanique, par comparaison avec un moteur à combustion interne, est déterminant. En tant que technique combinée, le CCF réunit des développements différents.

Les transports pourraient offrir un énorme potentiel en matière de consommation d'énergie, mais les possibilités d'action dans ce domaine sont plutôt limitées. Les techniques nécessaires existent bel et bien, mais elles ne sont guère utilisées par les consommateurs. Une recherche portant sur les chances de chaque technologie d'être acceptée par les consommateurs devrait indiquer la voie à des améliorations durables dans le domaine des transports.

Sources d'énergie renouvelables

Les sources d'énergie renouvelables les plus importantes en Suisse sont actuellement la force hydraulique et le bois. En outre, l'énergie solaire (chaleur solaire et électricité photovoltaïque) joue un rôle de plus en plus important, tant en ce qui concerne la diversité de ses applications que les activités de recherche. La chimie solaire, y compris la recherche sur l'hydrogène, devrait être encouragée de manière priori-

taire, tout en tenant compte également des possibilités éventuelles d'exportation.

L'énergie éolienne, la biomasse, la géothermie, la chaleur ambiante et les petits aménagements hydroélectriques sont autant d'autres aspects de ce vaste domaine. Des actions ciblées devraient encourager des installations pilotes et de démonstration dans le but de se rapprocher d'une production encore plus décentralisée d'énergie à caractère durable.

Énergie nucléaire

D'après la CORE, les pouvoirs publics devraient réduire leur soutien de la recherche dans le domaine de l'énergie nucléaire. En ce qui concerne la fission nucléaire traditionnelle, il faudrait se concentrer sur les aspects relevant de la sécurité et de la gestion des déchets radioactifs. Pour ce qui est de la fusion nucléaire – à propos de laquelle un débat est en cours au sujet d'une participation à la construction d'un réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER) –, on prévoit de restreindre les moyens à disposition. Ces réductions concernent surtout les équipes de recherche de l'Institut Paul Scherrer et de l'EPF de Lausanne.

Fondements de l'économie énergétique

Les thèmes de l'énergie sont de prime abord considérés dans un contexte technologique ; mais en fin de compte, les conditions cadres économiques, écologiques et sociales, de même que les comportements qui en découlent sont déterminants. C'est le programme de recherche Fondements de l'économie énergétique qui est chargé

La CORE compte trois nouveaux membres

En décembre 2002, trois nouveaux membres ont été accueillis au sein de la Commission fédérale pour la recherche énergétique :

- Tony Kaiser, directeur d'ALSTOM Power Technology Centre, à Baden-Dättwil
- Hansjakob Leutenegger, directeur du Service des eaux de Zoug SA, président de l'Association suisse de l'industrie gazière (ASIG), Conseiller national et membre de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie (CEATE)
- Nicolas Wavre, fondateur et directeur de la société ETEL SA à Môtiers, professeur titulaire au Laboratoire de machines électriques de l'EPF de Lausanne.

d'étudier ces conditions. Les données et les statistiques offrent la possibilité d'analyser et de comprendre les répercussions des mesures en matière de politique énergétique, et ce grâce à des modèles de simulation faisant intervenir mesures prises et instruments de politique énergétique. Étant donné la fonction de liaison assurée par ce programme au sein du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* – car il doit recenser et évaluer les possibilités d'application et les obstacles à la réalisation d'un approvisionnement durable en énergie –, on prévoit une nette augmentation des moyens mis à sa disposition.

Ce sont les techniques durables qui comptent le plus pour la CORE

Un abaissement prononcé de toutes les émissions dues à la conversion d'énergie, la réduction de la dépendance vis-à-vis du pétrole et du gaz naturel, ainsi que le ménagement et la conservation de la biosphère sont les "moteurs" de la réalisation d'un approvisionnement durable en énergie et de la prise de mesures appropriées dans le domaine de la recherche énergétique. C'est pourquoi la CORE est d'avis qu'il faut rechercher pour les sources d'énergie renouvelables et pour l'efficacité en matière d'énergie des options qui soient économiquement défendables.

La promotion porte ses fruits

Le transfert de technologie ENET réunit chercheurs et entrepreneurs

Karl Höhener

Lars Nieba

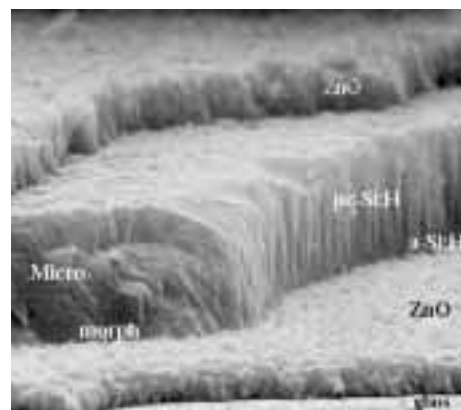
Transfert de technologie ENET
CH-9320 Arbon

Durant ces dernières années, le groupe du Professeur Arvind Shah, de l'Institut de Microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel, a développé, avec le soutien de l'OFEN, des techniques de fabrication de cellules photovoltaïques au silicium amorphe et micromorphe ; cela lui a valu une grande renommée au niveau international.

Un modèle commercial pour chercheurs et investisseurs

Une analyse approfondie de la situation ainsi que l'évaluation des potentialités commerciales des techniques amorphes et micromorphes, effectuées par ENET en étroite collaboration avec les trois chercheurs Arvind Shah, Ulrich Kroll et Johannes Meier de l'IMT, ont permis de mettre au point un modèle commercial économiquement réalisable.

Ce modèle devait satisfaire aussi bien les exigences des chercheurs (en tant que futurs entrepreneurs) que celles des investisseurs de capital-risque (ce dernier représentant un investissement à fort potentiel et à risque contrôlé). Il s'agissait là d'un des principaux défis que le transfert de technologie ENET se devait de surmonter. Le modèle développé a ouvert aux investisseurs la perspective de pouvoir réussir même sur des marchés difficiles.



La technique micromorphe vue au microscope électronique à balayage (REM).

(Photo : Ulrich Kroll, IMT)

Le service de documentation ENET est depuis deux ans sur Internet

Annemarie Gemperli

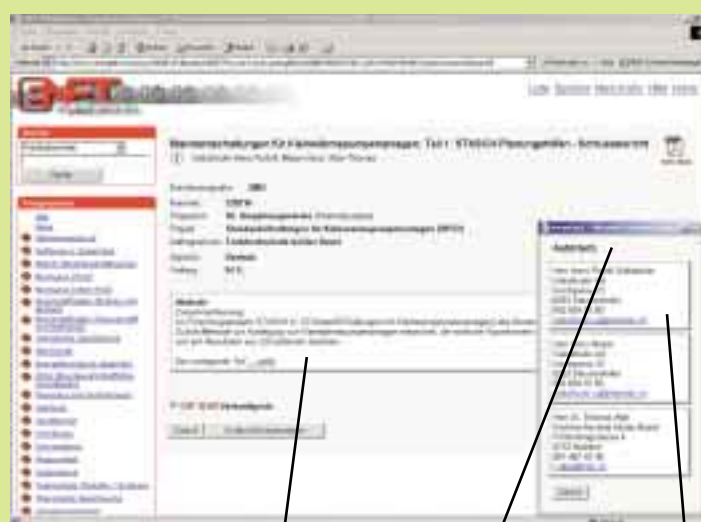
ENET
CH-9320 Arbon

Les publications R&D et P&D sont sur le site www.energieforschung.ch

Le nombre sans cesse croissant de visiteurs du site Internet et l'augmentation des commandes en ligne de publications relatives à la recherche et au développement (R&D) ainsi qu'aux projets pilotes et de démonstration (P&D) ont incité ENET à innover en la matière.

Le contenu informatif et la facilité d'utilisation du service "Publications" ont encore été améliorés grâce aux capacités du web, en proposant maintenant aussi les coordonnées complètes de l'auteur et en permettant des résumés de toute longueur. Si la publication est reprise au niveau international par ETDE, le titre et l'abstract, tous deux en anglais, figurent à côté du titre et du résumé en langue originale. Le lien avec l'adresse e-mail de l'auteur permet une communication rapide.

Il suffit de cliquer sur "Liste" pour réunir les publications disponibles auxquelles on s'intéresse et pour les imprimer. Les publications



Des résumés
de toute longueur

Coordonnées de l'auteur

Adresse e-mail
de l'auteur

	Kristallines Silizium	Amorphes Silizium	Mikromorphes Silizium
Modul-Herstellkosten pro Wp	CHF 5,- /Wp	CHF 2,5 /Wp	CHF 3,- /Wp
Modul-Wirkungsgrad in %	12 - 14 %	6,5 %	9 %
Energie-Ausbeute (relativ)	900 kWh/Wp/Jahr	1'000 kWh/Wp/Jahr	950 kWh/Wp/Jahr
Potenzial der Wirkungsgradsteigerung	50 %	20 -25 %	50 %
Potenzial der Herstellkostenreduktion	-10 %	-50 %	-55 %
Energy Payback	6 Jahre	2 Jahre	2 Jahre
Potenzial der Wirkungsgradsteigerung (absolut) mit neuer IMT-TCO Technologie		+ 0,75 %	+ 1 %
Ästhetik (Farbe des Moduls)	bläulich	rotlich-braun	schwarz
Produktionsbeute		90 %	95 %

Évaluation comparative des cellules solaires cristallines, amorphes et micro-morphes.

Plusieurs étapes d'évaluation et de discussion avec différents fabricants de machines et d'installations ont permis d'élaborer un programme qui tienne compte à la fois des intérêts des chercheurs et de ceux des investisseurs. Au cours de cette phase, le soutien du transfert de technologie ENET s'est limité à un accompagnement en arrière-plan. Les partenaires ont dû se mettre d'accord entre eux quant à leurs intérêts, ce qui constitue une condition essentielle pour une collaboration à long terme.

Partenaires pour la mise en œuvre

Fin 2002, ENET a appris que le conseil d'administration de Unaxis avait décidé d'investir dans le solaire. Avec Unaxis, nous avons trouvé un partenaire idéal pour une mise en œuvre prometteuse des technologies développées à l'Université de Neuchâtel et encouragées de longue date par l'OFEN.

L'IMT de l'Université de Neuchâtel:
www.unine.ch/imt

Concentration sur le procédé

L'élément central du modèle commercial est la concentration sur le procédé et sur les équipements nécessaires à sa mise en œuvre. C'est là une alternative aux projets précédents qui plaçaient au premier plan la production de cellules et de modules. Cela a permis de s'assurer la collaboration d'un autre groupe-cible d'investisseurs, à savoir les fabricants de machines. Ces derniers peuvent offrir le nouveau procédé en même temps que leurs installations et donner ainsi

une impulsion nouvelle à la commercialisation de la technique, ce qui générera un volume de marché qui devrait aider la technologie des cellules photovoltaïques en couches minces de l'Université de Neuchâtel à percer sur le marché. Notre action a de plus été soutenue par la tendance mondiale qui fait que les fabricants de machines offrent toujours davantage de chaînes de procédés industriels, et plus seulement des machines.

sont classées d'après les programmes de recherche et selon les années de parution (choix combiné possible).

Évolution de l'envoi de publications

En 2002, 370 publications en moyenne ont été expédiées chaque mois, contre 375 pour l'année précédente. Cette légère diminution est due au fait que de plus en plus de petites publications sont téléchargées en format pdf. L'accès à ce type de données a plus que quadruplé et il est actuellement de l'ordre de 2'500 accès par mois. Suite à cette tendance, les futures publications seront si possible publiées en format pdf.

ENET-News-Ticker

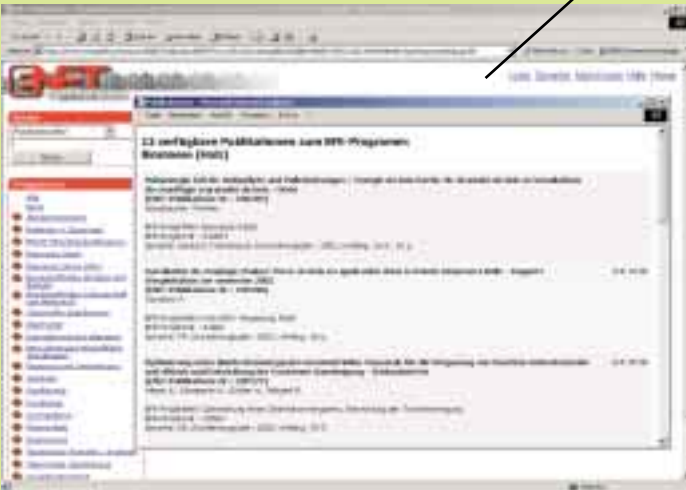
Le service ENET-News-Ticker est disponible depuis le début du mois d'octobre 2000. En 2002, les abonnements ont augmenté de 500 unités, ce qui démontre le vif intérêt porté à ce service. Fin 2002, il comptait 1'900 abonnés.

Manifestations

Les annonces de manifestations ont considérablement augmenté en nombre durant 2002. Depuis peu, les manifestations passées sont regroupées dans des archives et restent donc disponibles.

Un enregistrement en ligne vient d'être créé afin de faciliter l'inscription.

Liste selon les programmes et les années de publication



À la conquête du marché

Le suivi technologique s'appuie sur l'évolution observée et jette les bases des stratégies futures

Hanspeter Eicher
Reto Rigassi

Dr Eicher + Pauli SA
CH-4410 Liestal

Walter Ott

Econcept SA
CH-8002 Zurich

Ruedi Meier

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

Pascal Previdoli

Responsable du do-
maine Fondements
de l'économie éner-
gétique de l'OFEN

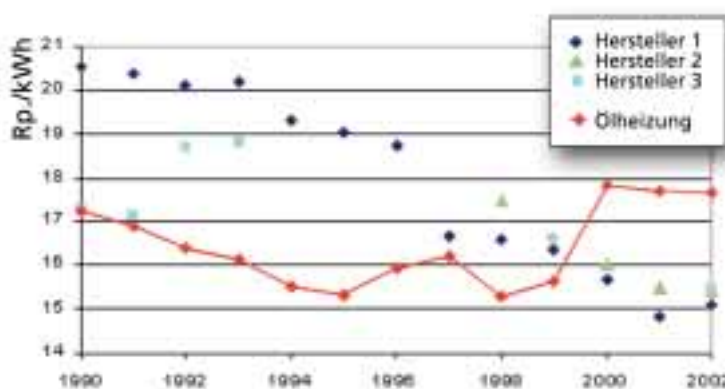
Le suivi technologique permet de créer des bases pour évaluer les chances actuelles et futures de nouvelles techniques énergétiques sur le marché. La compétitivité de ces innovations est d'une importance capitale pour leur réussite. Le suivi montre, par exemple, l'évolution des coûts d'une technique donnée (coût de production de l'énergie utile). La base de données qui en résulte permet une meilleure évaluation des opportunités et de l'évolution future de ces technologies. Mais elle peut aussi être utilisée pour orienter efficacement l'encouragement des travaux vers les plus prometteurs d'entre eux, dans les domaines de l'efficacité énergétique et des sources d'énergie renouvelables.

Dans le cadre d'un projet soutenu par l'OFEN, quatre technologies ont été sélectionnées, qui se distinguent nettement par leur aptitude à innover et par la rentabilité atteinte jusqu'à présent.

Couplage chaleur-force (CCF) mécanique

Au cours des années 90, les prix des modules pour des installations de 100 et

400 kW_{el} ont nettement diminué ; cette baisse a été en grande partie due à la pression du marché et à des perfectionnements techniques (construction compacte, moteur fonctionnant en mélange pauvre, etc.). Le coût de production du courant électrique a par conséquent nettement fléchi. L'évolution du marché CCF restera toutefois largement tributaire des prix de l'énergie.



Appareils de chauffage basé sur des piles à combustible

Il s'agit ici d'un produit tout récemment développé et d'un marché nouveau, bien que caractérisé par un effet de substitution. En admettant une réduction des coûts de l'ordre de 25% entre la première série et la production en série, suite à l'expérience acquise, il devrait être possible d'atteindre l'objectif fixé, soit un coût de 3'000 CHF/kW_{el} ce qui offrirait des perspectives économiques favorables.

Pompes à chaleur (PAC) pour maisons individuelles

Au cours des années 90, les coûts des PAC air-eau examinées ont diminué de 35% environ. Le coefficient de performance (COP) annuel a simultanément été amélioré d'environ 20%. C'est pour ces raisons que ce genre d'installation, placée dans une construction nouvelle, est aujourd'hui compétitif par rapport à la technique tradition-

Évolution des coûts de production de la chaleur produite par des pompes à chaleur air-eau pour maisons individuelles.

Apéros Énergie

Plate-forme de communication pour des thèmes axés sur la pratique. Les manifestations suivantes sont prévues :

Renouvellement d'air contrôlé – une technologie qui s'affine
9 avril 2003, Fribourg

Biomasse – l'énergie qui vient de la poubelle
24 avril 2003, Olten

Des bâtiments révolutionnaires à la conquête du quotidien : la maison Minergie-P (passive) indique le chemin à suivre
5 mai 2003, Bienne

Renseignements et inscriptions :
www.okapublic.ch/energie

nelle. Pour les années à venir, on prévoit que ces paramètres continueront à évoluer dans le même sens et que le coût de production de la chaleur s'abaissera encore de 10 à 20 %.

Isolation thermique à haut rendement

Les panneaux isolants sous vide (PIV) représentent la forme la plus intéressante d'isolation thermique à haut rendement. Actuellement, ils se trouvent toutefois encore en phase de développement et d'optimisation. Leurs coûts (produit proprement dit et système complet) sont plus élevés que ceux de matériaux traditionnels. Dans le cas de l'application choisie pour l'analyse – une isolation intérieure posée dans le cadre d'une réhabilitation –, les coûts peuvent cependant déjà soutenir la comparaison, à condition de prendre en considération la perte de surface utile. Aujourd'hui, la réussite sur le marché semble dépendre autant des perfectionnements techniques ciblés sur les applications que du prix du mazout. L'analyse de l'évolution observée jusqu'ici pour les techniques choisies fournit, d'une part, des renseignements précieux sur les principaux facteurs qui influencent la réussite sur le marché et fait prendre conscience, d'autre part, des opportunités offertes par ces innovations. Il faudrait aussi par conséquent effectuer ce même type de suivi pour d'autres technologies.

L'encouragement de la construction de logements et l'efficacité énergétique

Le projet met en lumière des mesures simples à réaliser, pour d'encourager l'application du standard Minergie à la construction de logements subventionnés. Selon ce projet, un soutien devrait être accordé à quelque 1'700 logements par année. Sachant qu'un tiers d'entre eux sont constitués de constructions nouvelles, plus de 500 unités seraient ainsi construites selon le standard Minergie. Cela représente une économie considérable, puisque la consommation d'énergie de ces logements est à peu près la moitié de celle des constructions traditionnelles.

Rapport final : voir www.ewg-bfe.ch



Le 6^e Programme-cadre de recherche de l'Union européenne

Le 6^e Programme-cadre de recherche, de développement technologique et de démonstration (6^e PCRDT) de l'Union européenne (UE) est un moyen fondamental pour créer l'Espace européen de la recherche (EER) souhaité par l'UE. Un budget total de 17,5 milliards d'Euro devrait permettre à ce programme d'atteindre divers objectifs dans la recherche, le développement technologique et la démonstration d'ici 2006. En Suisse, le réseau d'information Euresearch, avec ses nombreuses filiales, est à disposition des chercheurs, de l'industrie et des PME. La nouvelle brochure d'Euresearch fournit un tour d'horizon complet du 6^e PCRDT et de toutes les possibilités de contact.

Du point de vue de l'organisation, le 6^e PCRDT est subdivisé en trois domaines d'intervention :

- Concentration et intégration de la recherche communautaire
- Structuration de l'Espace européen de la recherche (EER)
- Renforcement des bases de l'Espace européen de la recherche

En outre, le 6^e PCRDT prévoit un programme spécifique pour la recherche dans le domaine nucléaire (Euratom).

Le premier bloc est de loin le plus vaste (12'585 M€) et comprend sept thèmes de recherche prioritaires, dont notamment la "Priorité 6", intitulée "Développement durable, changement planétaire et écosystèmes" (2'120 M€), qui concerne l'environnement, les systèmes énergétiques durables et les transports terrestres et maritimes. Dans le domaine spécifique de l'énergie (810 M€), une subdivision est prévue, entre les activités à court et moyen terme – principalement des projets de démonstration – et les recherches en rapport avec le moyen et le long terme.

Les petites et moyennes entreprises (PME) sont des partenaires fort recherchés du 6^e PCRDT, car elles contribuent éminem-

ment à l'innovation et forment la base de toute économie compétitive. C'est pourquoi on leur offre un soutien (jusqu'à 50% des coûts supportés par les PME sont financés par l'UE) et des possibilités de participation adéquates. La recherche "coopérative" (*Cooperative Research CRAFT*) permet à un petit groupe de PME de confier à des chercheurs qualifiés une recherche particulière, tandis que la recherche "collective" (*Collective Research*) permet à plusieurs associations nationales de PME de lancer des projets de recherche.



La nouvelle brochure Euresearch sur le 6^e PCRDT offre une vue d'ensemble structurée et contient des informations sur les possibilités de contact.

Pour toute information sur le 6^e PCRDT de l'UE, sur les appels d'offres, les projets, les manifestations nationales et les possibilités de soutien :

www.euresearch.ch

Informations complémentaires :
www.cordis.lu/fp6/sustdev.htm

Actualités en rapport avec les accords Suisse/UE sur la recherche et sur les modalités de son financement :

www.bbw.admin.ch/abkommen-f.html



De la puissance sur le toit plat

Technologie des couches minces : test comparatif de six types de modules et production d'électricité solaire

Roland Frei

Chef de projet
energiebüro® –
Votre concepteur
solaire
CH-8005 Zurich

Stefan Nowak

Chef du programme
Photovoltaïque de
l'OFEN
c/o NET Nowak
Energie & Techno-
logie SA
CH-1717 St-Ursen

Urs Wolfer

Responsable du do-
maine Technologies
solaires à l'OFEN

Une installation photovoltaïque comprenant différents types de modules à couches minces est en service depuis peu sur le toit du bâtiment de la Migros à Zurich-Altstetten. Cette installation-pilote a été financée par la Coopérative Migros Zurich et bénéficie du soutien de l'OFEN et du Service de l'électricité de la Ville de Zurich (EWZ). Elle produit environ 17'500 kWh d'électricité solaire par an et permet d'effectuer un test comparatif à long terme de modules de la génération actuelle.

Des modules à couches minces montés de diverses façons

L'installation, d'une puissance installée de 24,4 kW_c, est constituée de modules solaires à couches minces en silicium amorphe (cellules simples, tandems et triples) et de modules à couche mince en "di-séléniure de cuivre et d'indium" (CIS). Les six différents types de modules à couches minces du marché y sont comparés, dans des conditions réelles d'exploitation, à des modules de référence composés de cellules solaires monocristallines. Chaque type a été monté de trois manières différentes : horizontalement (inclinaison de 3°) avec ventilation par l'arrière, horizontalement avec isolation thermique, et obliquement (inclinaison de 20°) avec ventilation par l'arrière. Cela devrait permettre de comparer différentes possibilités d'intégration en toiture.

Une puissance d'au moins 1 à 1,4 kW_c est à disposition pour chaque type de module et de montage, ce qui devrait permettre d'obtenir des résultats significatifs. La différence entre l'énergie produite en montage horizontal, avec et sans isolation thermique, devrait être particulièrement intéressante pour l'intégration architecturale des modules photovoltaïques.

De l'électricité solaire pour la recherche sur les avalanches

Au cours de l'été 2002, 55 modules photovoltaïques du type Kyocera KC167G-2 ont été installés sur la façade sud rénovée de l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (ENA) à Davos. Les 70 m² de cellules ayant une puissance de 9,18 kW_c, cette installation devrait permettre une production annuelle d'énergie de quelque 10'500 kWh. Le bâtiment de l'Institut se trouvant à 2'600 m d'altitude, il est exposé à des conditions météorologiques extrêmes qui ont empêché l'intégration totale des modules à la façade lors la rénovation. Ceux-ci ont donc été suspendus devant la façade. La planification conjointe des travaux de rénovation et du type de montage des cellules

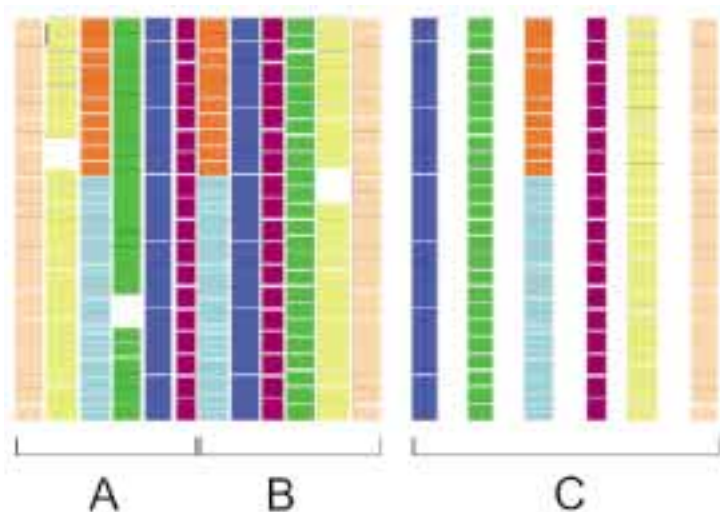
Étude comparative de modules photovoltaïques à l'aide de l'installation du bâtiment de la Migros à Zurich-Altstetten, dont la production d'électricité solaire est injectée dans le réseau.



L'ENA exploite à 2'600 m d'altitude une installation photovoltaïque aux panneaux verticaux.

Liens Internet

Tout sur le photo-
voltaïque :
www.photo-voltaic.ch



Trois dispositions différentes pour chacun des six types de modules comparés (indiqués par les couleurs) :

- A) horizontale avec ventilation par l'arrière
- B) horizontale avec isolation
- C) inclinée avec ventilation par l'arrière.

Les avantages de cette technique ouvrent des potentialités très prometteuses

La technologie des couches minces jouit de plusieurs avantages, aussi bien du point de vue de la technique de production qu'au plan de l'utilisation. Malgré cela, son application reste très limitée pour l'instant. Sa part de marché devrait augmenter, grâce à une utilisation moindre de matériau et à des

procédés industriels de dépôt simplifiés, ce qui créera des conditions-cadres plus rentables. Les couches minces offrent un vaste choix d'applications possibles. Les caractéristiques thermiques plus favorables de cette technique la rendent intéressante pour l'intégration du photovoltaïque au bâtiment. Mais comme le rendement est actuellement encore inférieur à celui des cellules cristallines, une superficie plus importante est nécessaire, à puissance égale. Les toits plats offrent donc des potentialités d'application très prometteuses.



a permis à la société energiebüro® Zurich de profiter de certaines synergies. L'exposition verticale des panneaux, qui restent donc libres de neige, l'ensoleillement local élevé et la réflexion du rayonnement par la neige (albédo) devraient permettre une production importante d'électricité en hiver.

Le Prix solaire attribué à une toiture de Genève

L'année dernière, le Prix solaire suisse (soutenu par l'OFEN) a été décerné par deux fois à Genève. D'une part, la société Sunwatt Bio Énergie SA, CH-1225 Chêne-Bourg, a reçu ce prix pour ses différents projets dans le domaine de l'électricité solaire ; d'autre part, a été récompensée l'installation dont la même société avait fait l'étude sur le parking couvert "P+R de l'Étoile". Le cinquième étage de ce parking, sans couverture au départ, a été couvert par la suite avec cette installation photovoltaïque d'une puissance de 143 kW_c. Un affichage renseigne les visiteurs sur les valeurs actuelles de la production d'électricité, tandis qu'un point de vue leur permet d'observer l'installation.

www.solaragency.org

Énergie éolienne

COM-EOLE, une charte pour un développement en douceur

Suisse Eole – l'association pour la promotion de l'énergie éolienne en Suisse – poursuit l'objectif d'implanter, d'ici à 2010, des installations éoliennes appropriées sur 5 à 10 sites et de pousser ainsi de manière rationnelle à la diversification des sources d'énergie. En étroite collaboration avec les offices cantonaux compétents et les milieux de la protection de la nature et du paysage, cette association encourage le développement de projets.



La nouvelle charte COM-EOLE de Suisse Eole est une initiative en faveur d'un développement modéré et réglementé. Une liste de personnalités suisses issues des milieux de la science, de la culture, de la politique, de l'économie etc., atteste du large soutien dont jouit l'énergie éolienne, une énergie durable. Ainsi l'urgence de faire émerger des solutions efficaces est confirmée. Les éoliennes valorisent une source d'énergie renouvelable, le vent, sur des sites idoines. Elles favorisent parallèlement l'acquisition d'un précieux savoir-faire dans le domaine, qui pourra être mis ultérieurement à contribution lors de l'extension de marchés d'exportation.

La nouvelle éolienne du Gütsch (UR) en hiver.
(Photo: Suisse Eole)

COM-EOLE lance un appel à signer la charte :

www.suisse-eole.ch

Récupération de précieux matériaux

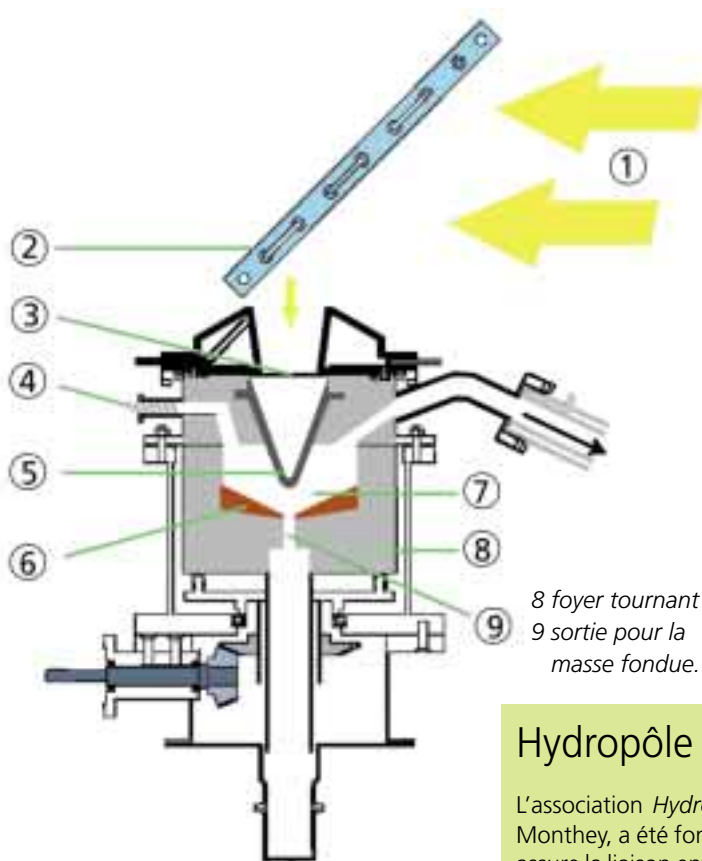
Un recyclage de métaux exempt de CO₂ grâce à des procédés de chimie solaire

Les chercheurs de l'Institut Paul Scherrer (PSI) travaillent depuis un certain temps à la fabrication héliothermique de métaux. Les procédés utilisés sont exempts de CO₂ et ouvrent de nouvelles perspectives pour

Par matériaux résiduels, on entend notamment les piles, les cendres récoltées dans les filtres et les scories en provenance de l'incinération des ordures ménagères, ainsi que la ferraille issue du recyclage de vieux

métaux et de vieilles voitures. Les procédés de recyclage de déchets contenant des métaux lourds comptent parmi les procédés métallurgiques les plus avides d'énergie, occasionnant généralement des émissions de CO₂. Les matériaux résiduels contiennent cependant souvent des métaux dont l'extraction offre des perspectives économiques intéressantes.

Afin d'établir une prévision relative aux produits de réaction attendus, aux besoins en énergie et à la température, le PSI a procédé, dans un premier temps, à des calculs d'équilibre thermodynamique et établi des bilans énergétiques. En collaboration avec des partenaires industriels, un prototype de réacteur de 10 kW a été construit; il comporte un foyer tournant lentement autour de son axe, contenant la chambre de réaction. Cette enceinte, étanche aux gaz et légèrement dépressurisée, est chauffée par du graphite fonctionnant comme un corps noir émissif qui reçoit le rayonnement solaire concentré. Des essais en modes *batch* et continu ont été effectués afin de tester le concept du réacteur.



Prototype d'un réacteur pour la pyrolyse solaire de matériaux résiduels.

- 1 rayonnement solaire focalisé par miroir parabolique
- 2 miroir refroidi à l'eau
- 3 fenêtre
- 4 installation de transport des particules
- 5 graphite jouant le rôle de corps noir émissif de chaleur
- 6 réactifs
- 7 chambre de réaction
- 8 foyer tournant
- 9 sortie pour la masse fondue.

divers procédés industriels. Après avoir choisi deux procédés significatifs pour l'environnement (pyrolyse de matériaux résiduels et traitement des poussières de filtres), le projet "Matériaux résiduels" s'est penché sur cette application du rayonnement solaire concentré et des réacteurs qu'il nécessite.

Rapport final :
Solarthermische Prozesse in der Kreislaufwirtschaft ; B. Schaffner, W. Hoffelner, A. Steinfeld ; OFEN 2002
 N° ENET 220177

Hydropôle : un centre de compétences pour l'hydrogène

L'association *Hydropôle*, qui a son siège à Monthey, a été fondée en 2001. *Hydropôle* assure la liaison entre les milieux de la science, de l'économie et de la politique. Afin de promouvoir l'application intégrale de la technologie de l'hydrogène, *Hydropôle* propose un réseau de savoir-faire ouvert à l'industrie, à la recherche, aux assurances et aux investisseurs. Les offres d'*Hydropôle* sont :

- des informations sur des projets actuels de recherche, par exemple, dans le cadre de l'UE
- des analyses de tendances et de publications scientifiques en provenance du monde entier
- une assistance dans le cadre de recherches relatives aux brevets
- des informations actualisées sur des congrès et des manifestations

- le recours à des spécialistes pour les évaluations du risque et les avis d'expert
- la coordination des projets et une assistance par *Hydropôle*
- le contact avec des spécialistes dans différents secteurs
- la représentation d'intérêts auprès des politiciens.

La politique d'information appliquée par *Hydropôle* crée clarté et confiance tout en réunissant des compétences cruciales. Voilà des raisons convaincantes de devenir membre d'*Hydropôle* !

Renseignements et prise de contact :
www.hydropole.ch

L'écobilan met les choses au point

La transformation en électricité du gaz d'épuration des STEP se justifie tant sur le plan énergétique qu'écologique

Ernst A. Müller

Chef du projet
"L'énergie dans les
installations
d'infrastructure"
Lindenhofstrasse 15
CH-8001 Zurich

Bruno Guggisberg

Responsable du
domaine Biomasse
à l'OFEN

Les stations d'épuration des eaux usées (STEP) fournissent un agent énergétique de haute valeur, le gaz d'épuration. Il est généré par stabilisation anaérobie (putréfaction) des boues sapropéliques provenant essentiellement de matières organiques d'origine humaine. Le gaz d'épuration – une source d'énergie renouvelable – se prête bien à une utilisation dans une centrale combinée modulaire, basée sur le couplage chaleur-force (CCF), dont la production de chaleur et d'électricité peut généralement

meilleures installations, 50 à 70 % des besoins en électricité de la STEP. Les rejets thermiques des moteurs fonctionnant en mélange pauvre habituellement installés suffisent à l'entretien du processus de putréfaction pendant toute l'année.

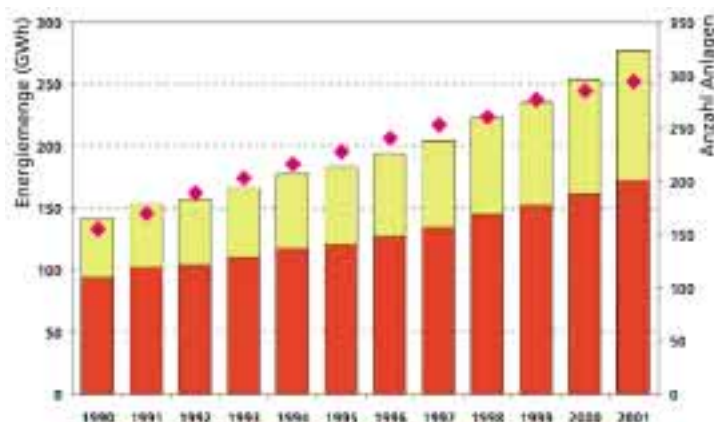
La crème de la crème

Les études scientifiques démontrent que la production d'électricité à partir de gaz d'épuration présente un excellent écobilan

Développement des
centrales CCF au
gaz d'épuration :

- ◆ nombre d'installations
- production d'électricité
- chaleur utilisée pour le chauffage

(Graphique : énergie de la biomasse)



être directement utilisée dans la STEP elle-même.

L'écobilan, base de la certification

Un écobilan a été établi avec le soutien de l'OFEN aux fins d'évaluer cette conversion du gaz d'épuration en électricité écologique. Il jette également les bases de la certification "naturemade star". Son objectif réside dans la promotion de la vente d'électricité écologique issue du gaz d'épuration, de façon à procurer aux exploitants des STEP de nouveaux revenus. Les investissements pour la construction de nouvelles centrales CCF modulaires ou leur remplacement, qui se sont faits de plus en plus rares ces dernières années, doivent ainsi devenir à nouveau rentables.

La production d'électricité à partir de gaz d'épuration de STEP couvre, pour les

parmi les sources d'énergie renouvelables, et qu'elle contribue même à la protection de l'environnement. D'autres modes d'utilisation possibles du gaz d'épuration, comme, par exemple, l'injection dans le réseau de gaz naturel, ou un emploi comme carburant, conduisent à un écobilan moins satisfaisant que la production directe d'électricité à partir du gaz d'épuration.

La prochaine étape consistera à procéder concrètement à la certification des premières STEP et à sonder le marché potentiel. Dans ce contexte, cette "nouvelle" production d'électricité écologique pourra présenter trois avantages décisifs :

- le gaz d'épuration est une production locale ou régionale
- sa provenance peut être déclarée et donc prouvée
- l'écobilan est encore meilleur que celui des produits connus jusqu'ici.



Hydropôle
c/o iwa SA
Schlachthofstrasse 1
CH-8406 Winterthur
Tél. +41 52 209 09 99
Fax: +41 52 209 09 91
werder@iwa.ch

De la chaleur pour l'habitat

L'OFEN prend position et fixe objectifs et priorités en matière d'utilisation du bois d'énergie

Christoph Rutschmann

Chef du programme
Bois de l'OFEN
c/o Holzenergie
Schweiz
CH-8008 Zurich

Daniel Binggeli

Responsable du
domaine Bois à
l'OFEN

L'énergie du bois représente après la force hydraulique le deuxième agent énergétique indigène et renouvelable en importance sur le plan suisse. Pour l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), la primauté revient à la production directe de chaleur. La valeur ajoutée de l'énergie provenant du bois est bien plus élevée que celle provenant des agents énergétiques non renouvelables. De plus, le capital investi déploie ses effets sur le plan régional et national. L'énergie que représente le bois est une contribution importante à l'approvisionnement durable et fiable en énergie.

Une ressource bien décentralisée

Dans les forêts suisses, 8 à 10 millions de m³ de bois se régénèrent chaque année. Actuellement, une moyenne annuelle de 4 à 5 millions de m³ sont exploités, soit près de la moitié du bois régénéré. Cinquante pour cent environ des réserves de bois poussent sur des sites fortement décentralisés à plus de 800 m d'altitude, d'où la complexité de la récolte. En Suisse, la consommation annuelle de bois, y compris le solde du bilan des importations et des exportations, s'élève à environ 7 millions de m³.

Le bois d'énergie apparaît sous différentes formes : comme bois de forêt conservé à l'état naturel, comme résidus de bois en provenance de l'industrie du bois, puis comme bois usagé, en fin de cycle de vie. Actuellement, la consommation annuelle de bois d'énergie est d'environ 2,5 millions de m³. À court et moyen terme, on pourrait doubler cette consommation et utiliser annuellement 5 millions de m³ de bois comme source d'énergie, sans pour autant solliciter outre mesure nos forêts ni concurrencer des affectations plus nobles du bois.

Un écobilan optimum permettant de répondre aux objectifs de SuisseEnergie

Comparé aux huiles minérales et au gaz, l'écobilan du bois d'énergie est positif. Cer-

tains inconvénients du chauffage au bois, telles les émissions d'oxydes d'azote et de particules, sont compensés par les moindres émissions de dioxyde de soufre et de métaux lourds, ainsi que par la neutralité du bilan du CO₂. Notons qu'actuellement, les émissions de NO_x en provenance des chauffages au bois ne représentent que 3% environ de l'ensemble des émissions d'oxydes d'azote produits en Suisse et que les émissions de particules, quant à elles, correspondent à une quote-part d'environ 2,2% seulement.

L'objectif déclaré de SuisseEnergie est de doubler à plus ou moins long terme l'utilisation énergétique du bois. Ainsi, à rendements de transformation identiques, la part du bois dans l'ensemble de la consommation d'énergie, qui est actuellement de 2,5% environ, pourrait passer à 5%, ce qui serait l'équivalent d'une augmentation de sa part du marché de la chaleur, aujourd'hui de 5%, à 10% environ. Les émissions de polluants pourront de surcroît être encore réduites. Il faudra recourir au bois d'énergie en utilisant des technologies appropriées permettant d'atteindre les objectifs.

Priorité à une utilisation à bon escient !

La destination du bois d'énergie en Suisse, tout-venant ou à apprêter, est régie par les priorités suivantes :

1. La production directe de chaleur dans l'habitat, les bâtiments publics et l'industrie. Grâce à son rendement annuel élevé, ce mode d'utilisation réduit le plus efficacement les émissions de ce gaz à effet de serre qu'est le CO₂, avec, à la clé, des économies de combustibles fossiles considérables.
2. La production combinée de chaleur et d'électricité sur des sites appropriés, avec un rendement global et une efficacité annuelle élevés.
3. La fabrication de carburants et de combustibles, une option qui n'est cependant recommandée que dans des cas particuliers.



Un tunnel de base fournit de l'énergie

Les deux projets AlpTransit du Saint-Gothard et du Lötschberg prévoient la valorisation des eaux souterraines *in situ*

Ladislaus Rybach

Institut de
Géophysique
EPFZ, Hönggerberg
CH-8093 Zurich

Harald L. Gorhan

Chef du programme
Géothermie de
l'OFEN
c/o EWE
CH-8037 Zurich

Markus Geissmann

Responsable du do-
maine Géothermie
à l'OFEN

Le potentiel énergétique de l'eau souterraine *in situ* des deux galeries AlpTransit du Saint-Gothard et du Lötschberg a été évalué par des estimations qui donnent des indications sur la température de la roche et sur d'éventuelles infiltrations d'eau lors des travaux. Ce dernier point joue un rôle important pour la planification du projet de construction. Dans le cas du Saint-Gothard où le recouvrement de la montagne est considérable, on s'attend à trouver une température de la roche et de l'eau d'environ 42 °C ; aux portails du tunnel, la température de cette eau récupérée sera supérieure à 30 °C. Au Lötschberg, où le percement du tunnel est le plus avancé, une température de 34 °C a déjà été mesurée ; au portail nord à Frutigen, on estime qu'elle devrait se situer autour de 20 °C. Pour l'instant, les quantités d'eau disponibles ne peuvent qu'être estimées.

Une puissance thermique d'environ 30 MW_{th} sera disponible aux quatre portails. Les travaux d'étude portant sur les

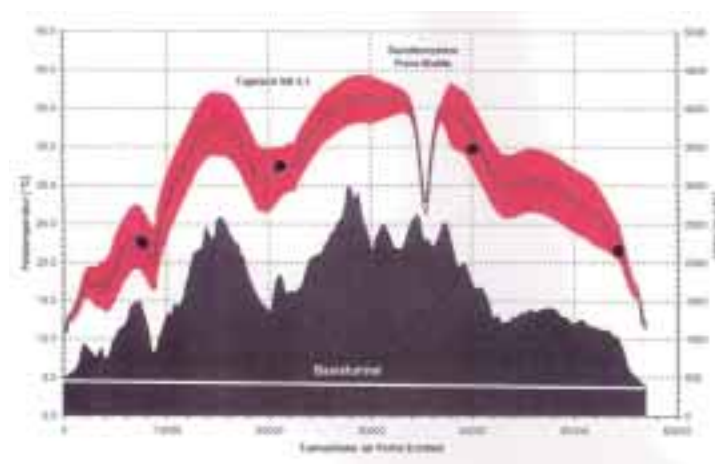
deux tunnels AlpTransit se basent sur la précieuse expérience acquise lors de la réalisation de précédents projets concernant l'utilisation de l'eau de galerie ailleurs en Suisse. La planification optimale de l'utilisation de l'eau souterraine *in situ*, à Frutigen, constitue l'objectif principal de ce projet. Avec le soutien de l'OFEN, des études détaillées ont analysé diverses variantes. Une utilisation directe a tout particulièrement retenu l'attention, comme, par exemple, dans un parc de loisirs aquatiques ou dans une serre, suivant l'exemple de la Serre tropicale de Ruswil.

Liens Internet

Société suisse
pour la géo-
thermie (SSG)
www.geothermal-energy.ch

Informations sur
les deux tunnels
du projet
AlpTransit
www.alptransit.ch
www.blsalptransit.ch

La Serre tropicale
de Ruswil, un
modèle pour l'uti-
lisation de l'eau
de la montagne
www.tropenhaus.ch



Température de la roche dans le tunnel AlpTransit du Saint-Gothard : les valeurs mesurées se situent dans les limites prévues. (Graphique : Keller 2002)



Rejets thermiques : une serre tropicale

Le gaz naturel qui traverse la Suisse dans un gazoduc est comprimé à Ruswil (LU). Les rejets thermiques de la station de compression servent à alimenter en énergie une serre tropicale construite à cet endroit. Ils permettent d'y maintenir un climat tropical et sub-tropical, dans lequel on cultive avec succès des fruits, des plantes d'ornement et même des fruits indigènes en dehors de leur saison habituelle de production. On y pratique l'élevage de poissons en aquaculture et l'eau riche en substances nutritives est utilisée pour l'arrosage et la fertilisation du sol de la serre.

L'énergie du sous-sol

Symposium LFEM/EMPA sur la
géothermie dans le bâtiment :
6 mai 2003

Renseignements :

mark.zimmermann@empa.ch

www.empa.ch

(cliquer ensuite "Veranstaltungen")

Revitaliser et exploiter

D'anciennes chutes d'eau et des sources offrent de nouvelles possibilités de production décentralisée d'électricité

Hanspeter Leutwiler

Chef du programme Petits aménagements hydroélectriques de l'OFEN
Case postale
CH-8910 Affoltern
am Albis

Bruno Guggisberg

Responsable du domaine Petits aménagements hydroélectriques à l'OFEN

On trouve encore des canaux d'amenée d'eau un peu partout, mais les moulins d'origine et les installations utilisant la force hydraulique qui les accompagnaient ont été arrêtés. Des premières analyses, des études préalables et des avant-projets réalisés avec le soutien de l'OFEN donnent une vue d'ensemble des possibilités actuelles de revitalisation de ces petits aménagements utilisant la force hydraulique, ainsi que de l'exploitation énergétique des systèmes d'eau potable et d'eaux usées. L'évaluation des critères techniques et économiques a permis l'élaboration des bases nécessaires aux demandes de concession.

Le moulin Högler : sauvé pour la production d'énergie

La compagnie électrique Elektra Baselland Liestal (EBL) a chargé la *Fondation Revita* de la rénovation du moulin Högler situé sur la rivière Ergolz à Lausen (BL). Ce projet de revitalisation se base sur une étude préalable effectuée avec le soutien de l'OFEN, dont le but était d'analyser une re-

mise à neuf de la turbine Francis de 1948, d'une puissance nominale de 62 kW.

À partir d'un barrage de 6,5 m de hauteur sur l'Ergolz, un débit d'eau de 915 L/s au maximum est dérivé vers un canal d'amenée de 1,3 km de longueur. Sur la base de la statistique hydrologique, on peut prévoir une production annuelle d'électricité de l'ordre de 250'000 kWh. Ce résultat est basé sur un débit turbiné de 700 L/s pendant environ 220 jours par an, avec une hauteur de chute de 7,6 m et un rendement global de l'ordre de 70 %. Le débit résiduel obliga-

toire dans le lit parallèle de l'Ergolz a été fixé à 210 L/s. Il faut encore noter que le barrage se situe à l'emplacement d'un seuil naturel de la rivière qui a empêché depuis toujours le passage des poissons.

Les buts de la *Fondation Revita* et de l'EBL seront atteints grâce à une restauration tenant compte de la grande valeur écologique du canal d'amenée du moulin Högler et de l'importance historique de la salle des machines (classée monument historique). Adrian Bretscher, secrétaire général de la *Fondation Revita*, dit à ce sujet : "Nous misons sur l'intervention de personnes faisant du service civil afin d'obtenir une meilleure performance écologique." Le coût de production de l'énergie sera d'environ 22 ct/kWh, un ordre de grandeur



L'eau est acheminée vers la salle des machines (classée monument historique) par le canal d'amenée.



La turbine Francis à palier horizontal du moulin Högler avant sa rénovation.
(Photos : Fondation Revita/EBL)

Projet de roue hydraulique pour la chute de la Surb à Tegerfelden

Autrefois, beaucoup de moulins étaient équipés de roues hydrauliques. La déclivité et le débit d'eau ne permettant pas l'exploitation d'une turbine de manière rentable, nombre de ces installations ont été abandonnées. Depuis lors, de nouvelles roues hydrauliques ont été développées : leur géométrie a été optimisée, les matériaux employés sont dorénavant inoxydables, les engrenages sont intégrés au moyeu et les génératrices sont de type standard asynchrone. Enfin, des méthodes de fabrication modernes (CIM) permettent de réaliser à des prix avantageux une exécution sur mesure de produits optimisés pour une hauteur de chute et un débit donnés. Ces roues hydrauliques s'adaptent à des chutes d'eau comprises entre 1,5 et 7 m de hauteur et à des débits soumis à de fortes fluctuations, de 10 à 2'500 L/s. Grâce à l'auto-adaptation à la quantité d'eau affluente, aucun réglage n'est nécessaire. Les roues



Les nouvelles roues hydrauliques permettent une production rentable d'énergie, même lorsque les hauteurs de chute et les débits sont modestes.

habituel lorsqu'il s'agit de rénover complètement une micro-installation à basse pression. La mise en service est prévue pour l'automne 2003.

Val Morobbia : une installation pour l'eau potable et l'électricité

En Suisse, la valorisation énergétique des installations d'approvisionnement en eau potable n'est que partiellement réalisée. Une étude préalable a examiné celle de la localité tessinoise de Giubiasco et des habitations du Val Morobbia en tant que système global intégré. Elle a également défini l'emplacement futur de trois nouvelles chambres d'équilibre à équiper de turbines.

D'après cette proposition, les captages d'eau existants et de nouveaux captages réalisés au fond de la vallée fourniraient ensemble un débit d'eau moyen de 75 L/s, dont 70 L/s sont déjà disponibles pour la turbine Pelton située dans le haut de cette

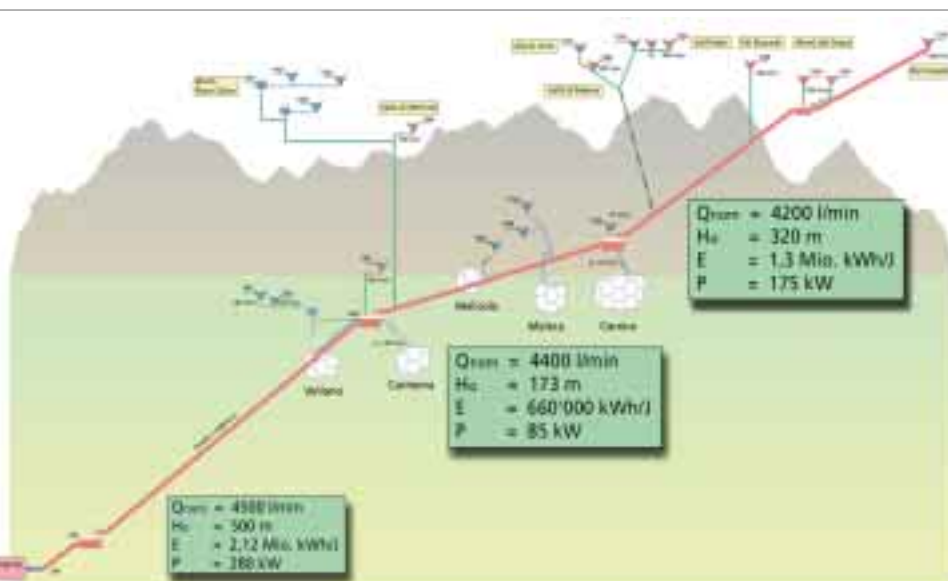


Schéma des installations d'approvisionnement en eau et de production d'énergie du Val Morobbia.

(Source : Bureau d'ingénieurs G. Sciarini)

vallée. Cette eau parcourt un dénivellement de 990 m et pourrait être utilisée trois fois successivement pour produire de l'énergie. Au total, l'étude prévoit une production annuelle de 4'080'000 kWh, en tant que "produit dérivé" d'un approvisionnement en eau potable optimisé. L'exploitation serait économiquement rentable à partir d'un prix de 7 ct/kWh.

Documentation :

- Étude préalable : *Kleinwasserkraftwerk Hägler-Mühle, Lausen* ; M. Wohlfender, A. Bretscher, St. Gutzwiller ; *Fondation Revita* ; 2002

www.revita.ch

N° ENET 220155

- Étude préalable : *Studio di fattibilità di ricupero energetico captazione sorgenti in valle Morobbia* ; Bureau d'ingénieurs G. Sciarini, CH-6574 Vira-Gambarogno ; 2001

N° ENET 210320

Renseignements complémentaires :

www.smallhydro.ch



hydrauliques sont insensibles aux matériaux alluvionnaires, au feuillage, au gravier et au sable ; seule une grille est nécessaire pour retenir les plus gros déchets. L'installation de ces roues est simple : il suffit de monter le cadre porteur avec les engrenages du moyeu sur un socle en béton et d'y fixer la roue hydraulique par une flasque.

L'installation d'une telle roue hydraulique moderne a été proposée dans le cadre d'un avant-projet soutenu par l'OFEN concernant

la chute de la Surb à Tegerfelden. L'observation approfondie a montré que cette chute d'eau était due à un barrage-voûte proto-industriel, unique en son genre, qui remonte au milieu du dix-neuvième siècle et dont le couronnement a une longueur d'environ 13 m. L'importance de cette construction dépasse le cadre régional et elle va être classée site protégé par le Service des monuments historiques. À l'origine, l'eau du barrage était utilisée pour actionner les moulins du village. Par la suite, le canal a été remblayé et le mur cintré a formé une chute d'eau. Aujourd'hui, il serait intéressant de réutiliser cette chute pour produire de l'énergie. Le débit de la Surb est variable et dépend beaucoup des précipitations. Un débit utile d'environ 320 L/s en moyenne annuelle devrait permettre une production d'électricité d'environ 70'000 kWh. La roue hydraulique devrait être placée sur le côté du barrage-voûte existant. L'interconnexion biologique sera assurée par un lit rugueux d'environ 60 m de longueur qui servira de passe à poissons. Les faibles charges d'investissement et des dépenses modestes pour l'exploitation et l'entretien devraient garantir un succès économique rapide.

Eco Power
Systems SA
Roland Schmid
CH-6305 Zoug

Une roue hydraulique pourrait faire revivre la production d'énergie d'antan à la chute de la Surb, à Tegerfelden.



Pour une étude plus rationnelle

Un nouvel outil d'aide à la conception pour les schémas hydrauliques standard des installations de pompe à chaleur de faible puissance

Thomas Kopp

Chef du programme
Chaleur ambiante
(R&D) de l'OFEN
c/o HES de
Rapperswil
CH-8640 Rapperswil

Max Ehrbar

Chef du programme
Chaleur ambiante
(P&D) de l'OFEN
c/o HES inter-États
de Buchs (SG)
CH-9470 Buchs

Fabrice Rognon

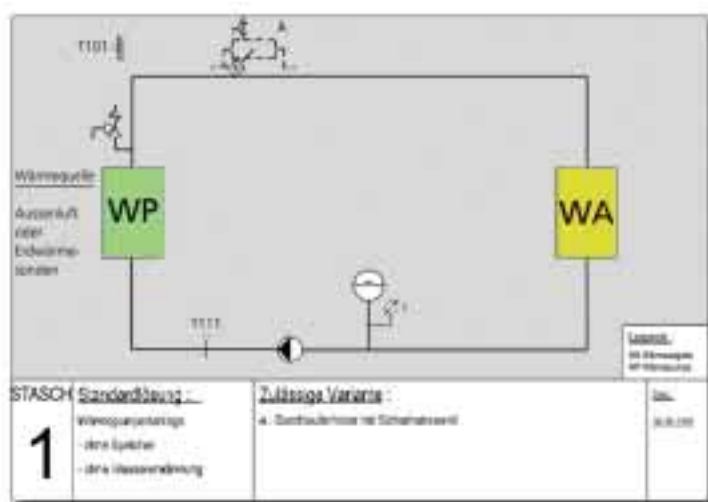
Responsable du do-
maine Chaleur am-
biente de l'OFEN

Après avoir évalué les schémas hydrauliques les plus courants des installations de pompe à chaleur d'une puissance de chauffage inférieure à 25 kW, on a défini sept schémas standard. En collaboration avec des fournisseurs de pompes à chaleur, on a veillé à la fiabilité, à une grande efficacité énergétique et aux aspects pratiques. Puis, ces schémas ont été examinés et optimisés dans tous les détails par simulation numérique. Le résultat a constitué la base pour l'élaboration d'un outil d'aide à la conception, d'application simple, et présenté sous forme de tableaux facilitant le choix de la variante la plus appropriée et le dimensionnement complet. Cette aide à la conception représente une étape importante vers la réduction du nombre déconcertant des schémas commercialisés aujourd'hui.

Documentation sur toutes les variantes d'installations

Les schémas standard ont été étudiés, d'une part, pour les deux sources de chaleur air et sol, d'autre part, pour différentes températures de départ du circuit de chauffage des locaux (35 à 45 °C pour les immeubles

neufs, 55 à 65 °C pour les rénovations), ainsi que pour des installations avec et sans préparation intégrée d'eau chaude sanitaire. Les critères étaient : le confort, le rendement global annuel, les frais d'exploitation



Le premier et le plus simple des schémas standard pour les installations de pompe à chaleur sans accumulateur.

et l'insensibilité aux perturbations. Les simulations numériques du système global (source de chaleur / pompe à chaleur / accumulateur / distribution de chaleur / bâtiment) ont démontré les possibilités et les limites de l'exploitation d'installations de pompes à chaleur sans accumulateur thermique.

Mesures sur des pompes à chaleur *Retrofit*

La "Swiss Retrofit Heat Pump (SRHP)" a été développée tout spécialement pour le marché de la rénovation. Cette pompe à chaleur air/eau, lancée par l'OFEN, basée sur une unité eau saline/eau avec ventilateur supplémentaire, est destinée aux installations de chauffage avec une température de départ jusqu'à 60 °C et une préparation intégrée de l'eau chaude sanitaire. Pendant la saison de chauffage 2001–2002, on a procédé à des mesures sur deux installations pilotes en exploitation. Différents critères ont pu être étudiés, et ainsi l'effet souhaité de l'injection en cours de compression s'est confirmé. La distinction SRHP a été confé-

rée à la pompe à chaleur de la KWT Kälte-Wärme-Technik SA. Grâce à cette étude, on a d'ailleurs pu déceler de nouvelles possibilités d'optimisation (par exemple, au niveau du ventilateur), dont on tiendra compte dans le cadre de l'introduction prochaine d'un produit sur le marché.

Rapport final :
Messungen an Retrofit-Wärmepumpen – Phase 2 ; H. R. Gabathuler, Hans Mayer, Gabathuler SA ; J. Cizmar, E. Zahnd, HES de Berthoud ; 2002 OFEN
ENET N° 220143

Mais on a également étudié le dimensionnement optimum des installations du point de vue de leur demande en électricité et du confort. L'attention s'est portée notamment sur l'accumulateur de chaleur, le nombre

maximum de vannes thermostatiques admissible sans vanne de régulation différentielle, ainsi que sur l'optimisation de la préparation de l'eau chaude sanitaire avec la pompe à chaleur. Les simulations ont conduit à des points de repères simples permettant de déterminer les volumes adéquats des accumulateurs en série ou en parallèle. En outre, elles ont révélé que la norme SIA 384/2 donnait, dans le cas d'une maison familiale Minergie, une puissance thermique à installer d'environ 20 % trop élevée et que

la courbe de chauffe correspondante était déplacée vers le haut.

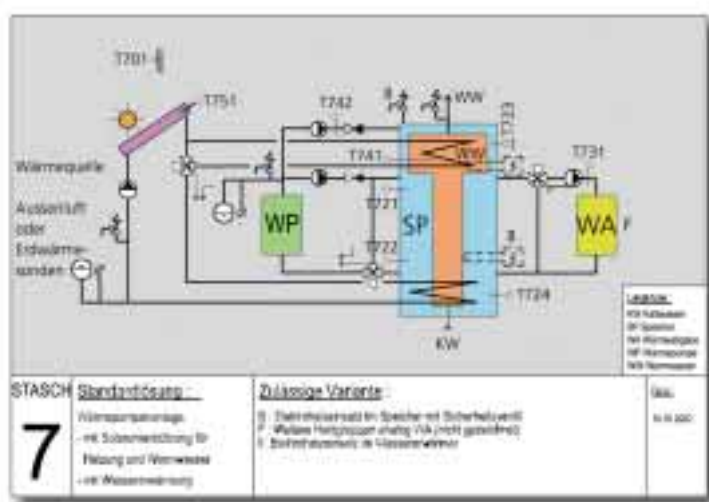
Mode d'emploi, étape par étape, pour un dimensionnement optimum

L'aide à la conception, en tiré à part et présentée sous forme de tableaux, donne les instructions pour le dimensionnement complet d'installations de chauffage à pompe à chaleur fiables, efficaces et avantageuses. On part des besoins thermiques du

bâtiment et du système choisi pour la distribution de chaleur (chauffage par le sol pour les immeubles neufs, radiateurs dans le cas de rénovations). Ensuite le concepteur est guidé, sur la base de critères simples, dans le choix du schéma le plus approprié parmi l'ensemble des sept schémas standard disponibles. Finalement, on procède étape par étape au dimensionnement de l'ensemble de l'installation de pompe à chaleur. Pour conclure, on trouve des instructions concernant le positionnement des sondes de température, le réglage de la commande, le réglage des vannes de régulation différentielle, ainsi que sur la mise en service et l'optimisation des paramètres d'exploitation. Tout au long des opérations, on trouve des références à d'importantes informations de fond exposées en annexe.

Le nouvel outil d'étude des projets permet en outre de comparer plus facilement les offres proposées par différents fournisseurs. Il est à espérer que cet instrument facile à appliquer entrera rapidement dans les mœurs et que, d'ici peu, on ne rencontrera plus que ces schémas standard recommandés par l'OFEN.

Auteur : Martin Zogg



Le septième schéma standard est le plus complexe, prévoyant l'intégration de capteurs solaires. (Figures tirées du rapport final)

Rapports finaux :
Schémas standard pour petites installations de PAC
1^{re} partie : fiches techniques
P. Renaud, H. R. Gabathuler, H. Mayer,
Th. Afjei ; 2002 ; OFEN
ENET N° 220217

Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen

- Teil 1 : Planungshilfe H. R. Gabathuler, H. Mayer, Th. Afjei ; 2002 ; OFEN
ENET N° 220216
- Teil 2 : Grundlagen und Computersimulationen Th. Afjei, U. Schonhardt, C. Wemhöner, G. Zweifel, M. Achermann, R. von Euw, U. Stöckli, P. Renaud ; 2002 ; OFEN
ENET N° 220218

L'ensemble des rapports peut être téléchargé sous :
www.waermepumpe.ch/fe

PAC – encore plus efficaces et plus silencieuses

Le 10^e Symposium sur les pompes à chaleur, organisé par le programme de recherche UAW, donnera un aperçu d'actualité sur les travaux consacrés aux technologies de pompes à chaleur de demain, plus efficaces et plus silencieuses.

Mercredi 25 juin 2003, HES de Berthoud

Renseignements
www.waermepumpe.ch/fe

Le programme avec formulaire d'inscription est encarté dans cette édition d'ENET-NEWS.



Considérer les choses de manière globale

Les analyses techniques des procédés comportent aussi l'étude des aspects énergétiques

Les procédés chimiques industriels sont au centre des activités de recherche du Groupe d'étude des technologies environnementales et de sécurité de l'EPF de Zurich. À la tête de ce groupe, le professeur Konrad Hungerbühler évoque les aspects énergétiques des processus de production et aborde des questions en rapport avec le cycle de vie des produits correspondants.



La sécurité, la qualité, l'efficacité et la gestion énergétique sont des critères de premier ordre dans la conception et l'exploitation des installations de production.

(Photo : Ciba Spezialitätenchemie SA)

Vos activités se focalisent avant tout sur les procédés de l'industrie chimique. Est-il possible de transposer directement à d'autres domaines les connaissances acquises ?

Konrad Hungerbühler : Dans les procédés chimiques, c'est l'aspect moléculaire qui est notre point de départ, alors qu'il est généralement d'une importance secondaire pour d'autres applications. Il s'agit cepen-

"En technique des procédés, les flux de matières jouent, dans la plupart des cas, le rôle principal."

dant toujours de flux de matières à transformer, traiter et manipuler. De ce point de vue, les lois de la technique des procédés s'appliquent tout aussi bien à la production d'agents solvants, de matériaux de construction, de produits agricoles et pharmaceutiques qu'aux substances de rectification (industrie du papier, des textiles, industrie alimentaire, etc.).

Pourquoi, dans le cadre de vos travaux de recherche, considérez-vous toujours le cycle de vie d'un produit dans son intégralité ?

Environnement et sécurité sont pour nous deux maîtres mots quand il s'agit d'analyser globalement un procédé industriel, la conception de l'installation correspondante et l'évaluation des produits. C'est pourquoi nous étudions les conditions de sécurité sur l'ensemble des phases, aussi bien au niveau de la fabrication et de l'utilisation des produits qu'à celui de leur réintroduction dans des cycles naturels. Nous estimons que notre tâche la plus importante est de trouver, par une évaluation approfondie,

sur quel plan des produits peuvent être améliorés, et de promouvoir une conception optimale des procédés par la recherche d'"espaces de solutions". Cela ne peut toutefois raisonnablement se concevoir qu'en considérant l'ensemble du cycle de vie.

Où se situent actuellement, du point de vue énergétique, les défis en matière de procédés chimiques ?

Alors que la fabrication de produits chimiques de base – pour laquelle la question

Le Plan de la CORE

La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) formule des stratégies pour les différents domaines de la recherche énergétique et donc aussi pour celui des procédés industriels. Au premier plan figure l'optimisation de procédés pour les techniques de transformation de l'énergie et des matériaux. Techniquement, il existe différentes possibilités d'économiser l'énergie dans les procédés thermiques de production. Il s'agit principalement de mesures relatives à la gestion optimale des procédés et à la récupération de la chaleur (intégration de procédés), donc du couplage optimisé de divers puits et sources de chaleur, ainsi que de toutes nouvelles techniques de réglage. La collaboration étroite avec l'industrie permet aussi l'évaluation de nouveaux procédés ou groupes de procédés susceptibles d'apporter, en plus des améliorations énergétiques, une réduction des émissions et de la charge sur l'environnement.

Dans ce contexte, la promotion aussi bien de l'exportation de savoir faire en matière d'énergie et de technique des procédés que de celle de produits et de services revêt aussi un aspect important. La CORE estime que le développement de l'exportation a un effet dynamisant sur la mise en œuvre des résultats obtenus à travers la recherche.

Liens Internet

Laboratoire de Chimie technique de l'EPF de Zurich

www.tech.chem.ethz.ch

Groupe d'étude des technologies environnementales et de sécurité

<http://ltcmail.ethz.ch/hungerb>

énergétique joue un rôle important depuis longtemps et a donc été déjà étudiée à fond – s'effectue plutôt à l'étranger, la Suisse est surtout le pays des spécialités. L'exigence pour les entreprises d'occuper une position de pionnier sur le marché et notamment d'accélérer la commercialisation, met les équipes responsables du développement sous une forte pression, à la fois temporelle et économique. Le problème réside dans le



Konrad Hungerbühler : Environnement et sécurité sont pour nous deux maîtres mots quand il s'agit d'analyser un procédé industriel.

raccourcissement de la durée de chacune des phases d'un projet. Il y a lieu d'éviter tout retard lors de l'introduction d'un nouveau produit sur le marché ; ce qui exige un passage plus rapide de la formule de laboratoire à un processus de synthèse techniquement viable. On passe alors souvent à côté de l'optimisation énergétique du ou des procédés et des installations, d'autant plus que les données énergétiques nécessaires font généralement défaut. Nous avons ici besoin d'outils qui puissent permettre l'optimisation des travaux de développement sans que cela n'entraîne de retard. La né-

cessité de garantir une meilleure flexibilité, ce qui entraîne des tonnages plus faibles, conduit à des procédés en *batch* typiques pour lesquels, par la force des choses, il est plus difficile d'atteindre une haute efficacité énergétique.

Comment évaluez-vous la situation actuelle en ce qui concerne une utilisation plus rationnelle de l'énergie dans les procédés industriels ?

Plus les molécules deviennent complexes en cours de procédé – et en général de nos jours, les molécules cibles le deviennent effectivement – plus les besoins en énergie deviennent élevés ; telle est la règle de base en génie chimique. En d'autres termes : plus le nombre des étapes d'un procédé est élevé, plus l'optimisation de la gestion énergé-

"Quand le délai de commercialisation est raccourci, les équipes responsables de l'étude des installations sont mises sous une forte pression."

tique devient compliquée. Nous observons cette évolution depuis quelque temps déjà ; raison pour laquelle le sujet de l'énergie est devenu une contrainte importante dans les entreprises industrielles. Nous profitons de ce fait d'un intérêt croissant pour la collaboration en matière de recherche. Pour les installations dédiées à une seule phase de production, qui travaillent en régime continu relativement stable, une intégration énergétique poussée est possible ; mais elles ont déjà été étudiées et optimisées dans tous les détails. Notre attention se concentrera donc sur les systèmes à plusieurs phases, avec des étapes de rectification où la part de l'énergie par rapport aux coûts de production est

Un nouveau chef de programme pour la recherche et le développement

Depuis le début de l'année, Thomas Kopp a succédé à Martin Zogg à la tête des programmes de recherche "Procédés" et "Chaleur ambiante, rejets thermiques et couplage chaleur-force" (UAW) de l'OFEN.



Thomas Kopp, le nouveau chef de programme (R&D).

Professeur de thermodynamique et de techniques énergétiques à la Haute École spécialisée de Rapperswil (HSR), il y dirige l'Institut des Techniques énergétiques depuis sept ans. L'Institut accueille aussi des stagiaires et

prend en charge des commandes de tiers. Ces mandats comprennent, entre autres, des analyses et des optimisations d'installations du domaine des techniques de l'énergie, ainsi que des études relevant de la thermodynamique et de la dynamique des fluides. Dans le cadre du développement et de l'optimisation d'appareils et de procédés des techniques énergétiques et du génie chimique, l'Institut a également participé – en collaboration avec des partenaires industriels – au projet de l'OFEN consacré à l'étude d'une petite pompe à chaleur fonctionnant au gaz ammoniac comme fluide de travail.

Pour plus d'informations sur l'Institut des Techniques énergétiques de la HSR : www.iet.hsr.ch

S'adresser à :

Thomas Kopp, professeur, Dr ès sciences techniques EPF
Haute École spécialisée de Rapperswil (HSR)
Oberseestrasse 10
CH-8640 Rapperswil
tkopp@hrs.ch

certes relativement faible, mais pour lesquelles une considération globale peut révéler une importante consommation d'énergie. Il s'agit de prendre en compte le fait que, pour la fabrication d'une certaine quantité d'un produit pharmaceutique, par exemple, la dépense en énergie sera nettement plus élevée que pour une quantité équivalente de produits chimiques de base.

De quelles possibilités de collaboration avec l'EPF de Zurich l'industrie chimique dispose-t-elle ?

C'est justement le problème du recyclage d'agents solvants usagés, avec lequel la plupart des entreprises sont confrontées, qui a conduit, par exemple, à une large collaboration sur des projets et à une étude cofinancée par l'OFEN. Les matériaux de

valeur doivent être récupérés de manière systématique ; l'incinération a pourtant pris de l'importance pour des raisons de sécurité et de flexibilité. Ici se situe le conflit entre les intérêts environnementaux et les impératifs de sécurité et de flexibilité, sur lequel notre équipe se penche. Apporter plus de transparence dans les rapports entre ces aspects est un dessein important de la collaboration avec l'industrie, ce qui, en défi-

Incinerer ou séparer ?

L'industrie chimique utilise de grandes quantités de solvants organiques, ce qui n'est pas sans conséquences sur l'énergie et l'environnement. En effet, une fois utilisés dans le cadre de procédés de fabrication, ces produits, alors souvent impurs et inutilisables, deviennent des solvants usés. Quel traitement faut-il réserver à ces déchets ?



Brûleur et flamme dans une installation d'incinération de solvants usés.
(Photo : Valorec Services SA)

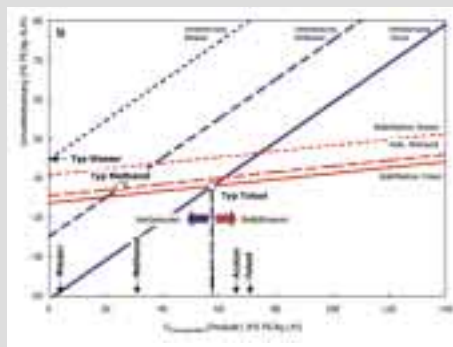
Deux procédés aux caractéristiques énergétiques distinctes

Les solvants usés provenant de l'industrie chimique et se présentant dans la plupart des cas en phase liquide, varient beaucoup quant à leur composition chimique et leurs caractéristiques physico-chimiques. En principe, il est possible de les traiter par voie thermique (incinération) ou par séparation chimique (élimination des corps dissous). Le premier de ces procédés permet de produire

de l'énergie, le second de récupérer le solvant pur. La séparation des mélanges existants, par rectification des solvants usés, implique dans un premier temps un investissement en énergie. La réutilisation de solvants purifiés, en lieu et place de la fabrication de solvants neufs, permet cependant d'économiser de façon indirecte bien plus d'énergie.

Collaboration avec l'industrie

Soutenu par l'OFEN et en étroite collaboration avec des entreprises industrielles, un projet de recherche du Laboratoire de Chimie technique de l'EPF de Zurich a abordé l'ana-



Impact sur l'environnement de l'incinération et de la rectification de différents types de mélanges de solvants usés, rapporté respectivement à l'énergie primaire et à la fabrication pétrochimique du mélange des produits récupérés.

lyse, à titre d'exemple, d'un certain nombre de cas d'espèce ; les chercheurs ont évalué, par différentes méthodes, l'impact des procédés utilisés sur l'environnement et ont vérifié leur pertinence énergétique et écologique.

Cinq mélanges représentatifs de solvants usés ont été examinés ; ils contenaient comme composant principal soit du toluène, de l'acétone, du méthanol ou de l'eau, soit un mélange de benzène et de toluène. Dans la mesure où la rectification permet de récupérer un solvant déterminé dont la fabrication pétrochimique implique un impact important sur l'environnement, la séparation des composants peut, suivant les caractéristiques de cette opération, être plus favorable que l'exploitation énergétique de l'incinération.

Des méthodes facilitant le choix du procédé

Les méthodes proposées, basées sur l'identification des caractéristiques importantes aussi bien des solvants que des paramètres des procédés, représentent un outil d'aide à la décision dans le choix entre incinération et rectification.

Rapport final :
Abfalllösungsmittelbewirtschaftung in der chemischen Industrie ;
Thomas B. Hofstetter, EPFZ, 2002
ENET N° 220141
Peut être téléchargé sous
www.waermepumpe.ch/fe

nitive, encourage également le transfert technologique correspondant.

Où voyez-vous les défis les plus grands pour l'industrie chimique et la technique des procédés ?

Dans la considération globale du cycle de vie de produits, l'équilibre entre les aspects économiques et énergétiques jouera à



Konrad Hungerbühler : Nous développons des modèles qui mettent en lumière les corrélations et offrent les bases nécessaires à une prise de décision dans le cadre de projets.

l'avenir aussi un rôle primordial. Outre la notion aujourd'hui déjà courante de GMP (*"good manufacturing practice"*) ou bonne pratique de fabrication, l'excellence des procédés sera à l'avenir déterminée aussi par une gestion optimale de l'énergie. L'intensité énergétique, par étape de procédé ou par élément d'installation, peut servir d'indicateur. À l'aide de nos analyses, nous voulons sensibiliser les ingénieurs à une considération énergétique plus détaillée des procédés. En effet, les réflexions par analogie – souvent fausses – ne doivent plus être le seul moyen d'évaluer la consommation d'énergie ; nous devons disposer de données et de modèles. La conception de l'installation avec ses dispositifs de brassage, ses conduites, ses cuves de réacteurs, etc., doit s'appuyer aussi sur les paramètres énergétiques adéquats. Nous observons d'ailleurs de nos jours une tendance à confier à un tiers l'approvisionnement en énergie. Faire disparaître ainsi des frais fixes est une incitation de plus à faire des

efforts d'économie et à chercher des solutions en réseau. Si la chaleur, le froid, la vapeur, la glace et l'électricité doivent être achetés, alors ce facteur de coût est plus nettement mis en exergue que par le passé, ce qui pousse à une consommation encore plus modérée.

Comment pouvez-vous promouvoir davantage encore la considération globale des systèmes sous l'angle de la sécurité, de la qualité, de l'efficacité et de la gestion énergétique ?

Parallèlement à nos publications scientifiques et à nos travaux de modélisation par ordinateur à l'EPF de Zurich, les exemples concrets provenant de l'industrie sont essentiels. Ils permettent de développer des modèles qui mettent en lumière les corréla-

"À l'avenir, les procédés de qualité supérieure se distingueront aussi par une gestion optimale de l'énergie."

tions existant entre sécurité, qualité, efficacité et gestion énergétique, et offrent des bases de décision fondées sur un standard aussi élevé que possible pour de tels problèmes à objectifs multiples. Ils fournissent aussi des repères pour l'exploitation au quotidien. Certaines parties d'installations seront, par exemple, mises en service uniquement suivant les besoins. Dans ce contexte, nous ne devons cependant pas oublier que la sécurité des procédés doit être garantie à tout moment. Ainsi, par exemple, un dispositif de brassage restera enclenché en permanence si la sécurité des processus thermiques selon le scénario le plus pessimiste l'exige. Dans le cadre de ces études globales, il s'agit finalement aussi de compléter la formation dans une direction d'avenir et de formuler des sujets de recherche ambitieux pour les jeunes ingénieurs et les scientifiques. Enfin, grâce aux interactions triangulaires entre l'enseignement, la recherche et les applications, nous pourrions ancrer toujours davantage les aspects énergétiques dans l'étude des cycles de vie de produits issus de procédés industriels.

Le LENI développe des méthodes d'optimisation des procédés

Des travaux de recherche dans le domaine des procédés industriels s'effectuent également au Laboratoire d'énergétique industrielle (LENI) de l'EPF de Lausanne. Sous la direction du Professeur Daniel Favrat, des méthodes d'intégration et d'optimisation de systèmes thermodynamiques énergétiques complexes y sont développées. Le LENI réalise des études théoriques et expérimentales de systèmes et installations de conversion énergétique, en se consacrant tout particulièrement aux systèmes hybrides décentralisés, aux concepts impliquant les énergies renouvelables et aux pompes à chaleur. Ainsi, par exemple, l'étude s'est portée sur le projet des pompes à chaleur à compresseurs *"scroll"* avec injection en cours de compression – une étude fondamentale dans le cadre du développement de la *"Swiss Retrofit Heat Pump"* – et sur des essais relatifs à la migration d'huile dans les pompes à chaleur. Ces travaux ont tous deux bénéficié du soutien de l'OFEN.

Dans le domaine de la recherche et du développement de modèles de perfectionnement énergétique de procédés industriels, le LENI a approfondi la méthode du *"pincement"*. Cette méthode d'analyse thermodynamique s'applique surtout à l'optimisation de processus de technique des procédés impliquant, à différents niveaux de température, l'apport et le soutirage correspondant de chaleur à des flux de masses en circulation. Les passages étroits des flux de chaleur chauffants et refroidissants indiqués déterminent la surface nécessaire à la transmission de chaleur dans l'installation à planifier. Le logiciel PINCHLENI, développé à Lausanne, offre ici une méthode standardisée, permettant une conception et une réalisation optimales de procédés industriels.

Informations supplémentaires sur le LENI et le logiciel PINCHLENI :
<http://leniwww.epfl.ch>

Des installations de production sous la loupe

Des mesures détaillées sont nécessaires à l'analyse des besoins en énergie des procédés en *batch*

Les procédés par lots, c'est-à-dire travaillant par intermittence (procédés en *batch*), sont à la base de beaucoup d'installations industrielles de production. Sur mandat de l'OFEN, l'EPF de Zurich a examiné les besoins en énergie de tels procédés en *batch*. Dans la première phase des mesures, les besoins mensuels en énergie (eau saline, électricité, vapeur) d'un bâtiment de production ont été analysés au moyen de points de mesure globaux. Des études plus détaillées ont porté sur une semaine de production typique. Dans cette



Consommation d'énergie et nombre de cuves à réaction en activité (premier bâtiment de l'étude). D'importantes économies sont possibles au niveau de l'infrastructure.

entreprise se trouvent des installations multifonctionnelles englobant plus de 20 réacteurs en *batch* utilisés pour la synthèse de plus de dix produits différents par année, qui met en jeu différents solvants organiques.

Dans une seconde phase, la consommation en énergie des appareils principaux a fait l'objet de mesures destinées finalement à l'élaboration de modèles de consommation d'énergie et à des essais d'optimisation.

Vapeur et électricité pour les procédés en *batch*

La consommation spécifique de vapeur par les installations de production est sujette au

cours de l'année à des fluctuations importantes, dues uniquement à la production en *batch*. Il s'agit en moyenne d'environ 860 MWh/mois. L'étude détaillée des procédés de production a permis d'identifier les différents consommateurs et les économies possibles.

Quant à la consommation d'électricité, il s'est avéré, comme pour les autres formes d'énergie, que les mesures globales ne permettaient pas de déterminer individuellement la consommation des appareils principaux. Il s'est en outre vérifié que la moitié de la demande d'électricité était due à l'infrastructure du bâtiment. La consommation globale pourrait donc être réduite sensiblement s'il était possible de réaliser des économies d'électricité au niveau de la ventilation, de la technique du vide, etc.

Étude individuelle des opérations de production

Comme l'a montré l'analyse au niveau de l'installation, il n'est pas possible d'utiliser des modèles globaux simples pour la prévision de la consommation d'énergie des procédés en *batch* dans des exploitations multifonctionnelles, fabriquant des produits variés. C'est la raison pour laquelle, l'étape suivante du travail va consister à mesurer directement la consommation d'énergie de chacune des opérations unitaires typiques. Ces données serviront à élaborer des modèles pour les opérations unitaires permettant la modélisation globale de l'ensemble de l'installation.

Études :

Analyse und Modellierung des Energiebedarfs in Batch-Prozessen ; Patric S. Bieler, EPFZ, 2002

Rapport intermédiaire : N° ENET 220185

Rapport annuel : N° ENET 210162

Peut être téléchargé sous :

www.waermepumpe.ch/fe
(cliquer ensuite "Berichte")



Cuve à réaction typique à usages multiples pour la fabrication en batch de produits variés.

L'AEnEC, l'Agence de l'énergie pour l'économie

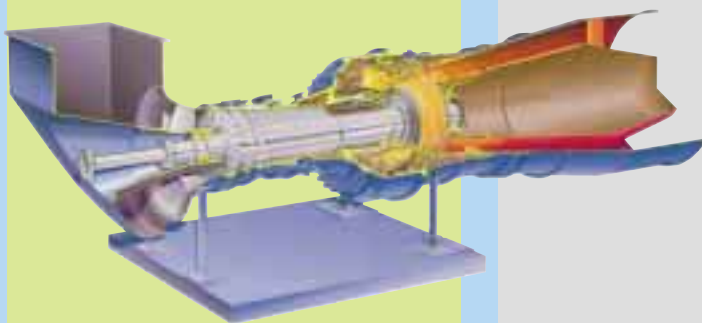
L'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC) a été fondée en 1999 par economiesuisse, c'est-à-dire par les associations professionnelles les plus importantes. Dans les limites de mesures économiquement rentables, elle s'engage en faveur de la réduction des émissions de CO₂ et de l'amélioration de l'efficacité énergétique. Dans ce but,

elle a développé des modèles pour la mise en œuvre des objectifs de la loi sur l'énergie et de celle sur le CO₂ au sein des entreprises industrielles, artisanales et de service. Jusqu'ici, environ 600 sociétés ont adhéré à ce mouvement. 300 grandes entreprises travaillent sur la base du modèle énergétique développé par l'AEnEC, dont une centaine ont déjà signé une convention d'objectifs. L'AEnEC a créé un modèle d'analyse particulier à l'intention des petites et moyennes entreprises.

www.enaw.ch

EPF-ALSTOM : une collaboration dans la recherche

Un contrat-cadre pour la collaboration dans la recherche a été signé il y a presque deux ans entre les deux EPF et ALSTOM, société de renommée mondiale du secteur des techniques énergétiques. Depuis lors, cinq projets communs sont en cours, auxquels participent 25 personnes de sept instituts des EPF de Zurich et de Lausanne. Cette collaboration à long terme entre les deux EPF et ALSTOM est coordonnée par le *Center for Energy Conversion* (CEC) de l'EPFZ, sous la direction de Reza S. Abhari.



Turbine à gaz de haute performance GTX100 (43 MW) pour centrales combinées et installations CCF.
(Source : ALSTOM AG)

En janvier 2003, les deux partenaires ont organisé un premier congrès, au cours duquel ils ont informé le public des objectifs et des projets de leur collaboration en matière de recherche. Walter Steinmann, directeur de l'OFEN, a donné des compléments d'information sur la politique de l'OFEN en matière de recherche énergétique, tandis qu'Olivier Küttel, directeur de Euresearch, a parlé des possibilités offertes aux chercheurs par le 6^e Programme-cadre de l'UE.

Pour de plus amples informations sur les partenaires de ces recherches :
Laboratoire des Turbomachines de l'EPFZ
www.lsm.ethz.ch
ALSTOM (Suisse) SA à Baden
www.ch.alstom.com

Chaleur à distance – Chaleur de proximité

Lors du dernier congrès de l'Association suisse des producteurs et distributeurs de chaleur à distance (ASCAD), la commercialisation a figuré au centre des débats, sous l'angle notamment de la problématique du CO₂. Qu'il s'agisse de chaleur à distance ou de proximité, ou encore de concepts de réseaux de distribution de chaleur, une conception optimale et une exploitation rentable sont toujours primordiales, ainsi que des exemples suisses et étrangers l'ont montré, mettant en lumière des possibilités intéressantes de réalisation. Au Danemark, par exemple, la moitié de l'approvisionnement des bâtiments en chaleur est assurée par des réseaux de chauffage à distance,

alors qu'en Suisse cette quote-part n'atteint que 1,5 %.

Walter Steinmann, directeur de l'OFEN, a expliqué les conditions-cadres fixées par la Confédération : le principe de durabilité inscrit dans la Constitution, la stratégie en ma-

tière de CO₂, les conventions signées entre les milieux économiques et le programme SuisseEnergie, tels sont les instruments à disposition. Il a fourni des informations sur la solution adoptée à la fin de l'année passée, indiquant de quelle manière le chauffage à distance est à intégrer dans le cadre des mesures volontaires du programme. Cette approche définit comme limite du système (pour le calcul des bilans) l'entreprise qui reçoit la chaleur à distance.

Dans son aperçu global, Sven Werner, de la Suède, a énuméré les sources d'énergie disponibles pour le chauffage à distance : récupération des pertes des procédés de transformation de l'énergie primaire, biomasse, déchets, géothermie et rejets thermiques industriels.

Lukas Gutzwiller, du PSI, a présenté sommairement les technologies applicables pour éviter l'introduction de la taxe sur le CO₂. Quant à la présentation de Markus Palic, elle traitait des possibilités d'extension décentralisée du chauffage à distance, à l'exemple de l'entreprise Westdeutsche Licht und Kraft SA.

Richard Grass, de Riehen (BS), a présenté le réseau de chauffage de cette ville, exploité depuis 1994, qui est raccordé à un forage géothermique. 20 litres d'eau par seconde sont extraits du sous-sol à la profondeur de 1'547 mètres, à la température de 64 °C, couvrant ainsi environ 50 % des besoins en énergie. Actuellement, on examine à Riehen la possibilité de raccorder ce réseau à deux autres plus anciens.

Dieter F. Wullschlegler a parlé des approches envisagées pour la commercialisation de la chaleur à distance en Suisse, qui devraient donner une image au produit "chaleur" et créer une marque.

Renseignements complémentaires :

- Association suisse des producteurs et distributeurs de chaleur à distance (ASCAD)
www.fernwaerme-schweiz.ch
- Informations de l'OFEN :
www.suisse-energie.ch
(rubrique : Thèmes/Marchés de l'énergie, agents et techniques énergétiques)
- Riehen, la Cité de l'énergie qui possède un réseau de chauffage à distance géothermique
www.riehen.ch/verwaltung
(rubrique : Tiefbau)

Optimisation de la production de chaleur à distance

Afin de limiter la consommation d'agents énergétiques fossiles dans le domaine du chauffage à distance, les Services industriels de Bâle (IWB) ont fait analyser la production d'énergie de leur réseau. À l'Institut d'énergétique (IfE) de la HES des Deux Bâle (FHBB), dans le cadre de leur travail de diplôme postgrade en énergie, Martin Schaad et Bruno Schletti ont identifié l'optimisation de l'exploitation des différentes chaudières du réseau comme l'une des améliorations possibles. Une adaptation continue de l'exploitation à la demande effective de chaleur permettrait, par exemple, de réduire sensiblement les pertes thermiques des chaudières maintenues en veilleuse.

www.fhbb.ch/energie

Chaleur et électricité à partir de combustibles

La combinaison de pompes à chaleur et d'installations CCF ou de centrales combinées conduit à la plus haute efficacité

Martin Zogg

Kirchstutz 3

CH-3414 Oberburg

Si l'on veut produire simultanément de la chaleur et de l'électricité à partir de combustibles liquides ou gazeux, quel est le concept le plus efficace et le plus respectueux de l'environnement ? Pour répondre à cette question, quatre variantes de systèmes comportant des chaudières, des pompes à chaleur, des installations à couplage chaleur-force (CCF) et des centrales électriques combinées ("cogénération") sont mises en comparaison.

Systèmes combinés chaleur-électricité

La chaleur, en Suisse, a de nos jours une quote-part d'environ 75 % de l'ensemble de l'énergie utile. Environ 90 % des besoins en chaleur à basse température (chauffage de locaux, préparation d'eau chaude sanitaire, etc.) sont couverts à partir de combustibles pour la plupart fossiles (gaz naturel et mazout). Dans le dessein de diminuer la production de dioxyde de carbone (CO₂) et autres émissions de substances nocives, il est primordial de veiller à une production de chaleur efficace et pauvre en émissions.

Par rapport à la production de chaleur avec des chaudières classiques, la combinaison de pompes à chaleur et d'installations CCF de rendement électrique élevé, comme

d'ailleurs celle de pompes à chaleur et de centrales électriques combinées, permet d'économiser 30 à 50 % du combustible et réduit d'autant la production de CO₂.

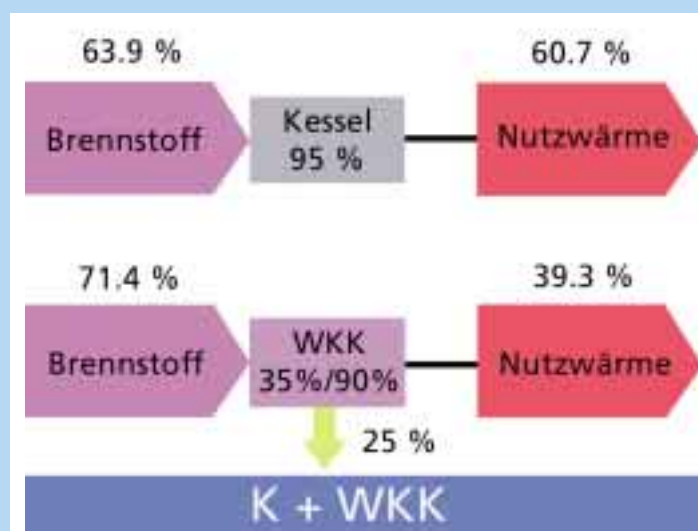
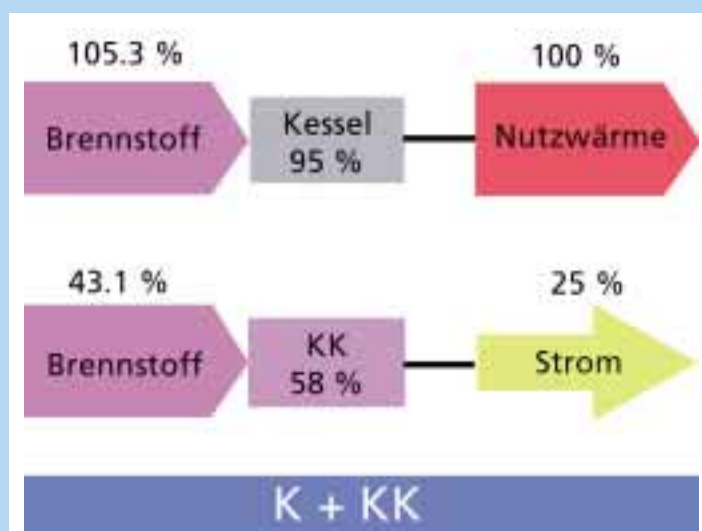
À quel rapport entre la production d'électricité et celle de chaleur peut-on s'attendre ?

C'est en remplaçant théoriquement sur le papier les centrales nucléaires par des centrales combinées et/ou par des installations CCF qu'on obtient le plus grand rapport calculé entre la production d'électricité et celle de chaleur (rapport électricité/chaleur). Ces nouvelles installations devraient alors se charger de la production de tout le courant électrique que les centrales nucléaires fournissent aujourd'hui, soit 76 PJ ou environ 40 % de l'énergie électrique consommée en Suisse. Sur ces 76 PJ, environ 46 PJ concernent la saison de chauffage. Les besoins en chaleur à basse température sont évalués à environ 200 PJ. Le rapport électricité/chaleur se monte donc à 0,23. Sur la base de cette estimation, on peut définir trois valeurs de ce rapport à considérer pour la suite des calculs :

- 0 = production de chaleur uniquement
- 0,125 = production moyenne d'électricité
- 0,25 = production d'électricité la plus élevée.

Quatre variantes pour la production de 100% de chaleur à basse température et de 25% d'électricité.

$K + KK = Ch + CC$
 $K + WKK = Ch + CCF$
 $WP + WKK = PAC + CCF$
 $WP + KK = PAC + CC$
 $JAZ = COP$
 (coefficient de performance annuel)
 (Graphique tiré de [1])



Variante	Combustible nécessaire en % de la production de chaleur	% de la consomm. dans la var. de réf.	Economie de combustible
K + KK	148,4 %	100 %	Variante de référence
K + WKK	135,3 %	91,2 %	8,78 %
WP + WKK	106,3 %	71,6 %	28,4 %
WP + KK	96,4 %	64,9 %	35,1 %

Économies de combustible des quatre variantes par rapport à la combinaison Ch+CC.

Les quatre variantes de systèmes considérées sont examinées successivement avec chacune de ces trois valeurs, quant à leur efficacité et à leurs émissions.

Quatre variantes en comparaison

Dans la variante Ch+CC, des chaudières (Ch) fournissent la chaleur nécessaire et des centrales à cycle combiné (CC) indépendantes, pourvoient à l’électricité. Dans la deuxième variante – Ch+CCF – tout le courant électrique nécessaire et, par la même occasion, une partie de la demande de chaleur sont produits par des installations CCF, le reste de la demande de chaleur étant couvert par des chaudières.

Dans la troisième variante, qui comporte des installations CCF associées à des pompes à chaleur – PAC+CCF –, les installations CCF produisent l’énergie électrique nécessaire et, par la même occasion, une partie de la demande de chaleur. Le reste de la demande de chaleur est fourni par les pompes à

chaleur à partir de la chaleur ambiante et du courant électrique en provenance des installations CCF qui les alimentent. Dans la quatrième variante – PAC+CC – la totalité du courant électrique est produite par les centrales électriques combinées et la totalité de la chaleur par les pompes à chaleur.

Le rendement électrique, clé du succès

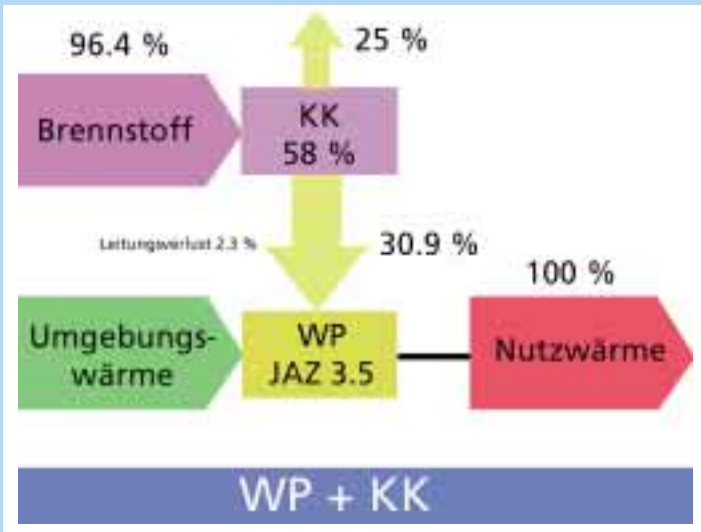
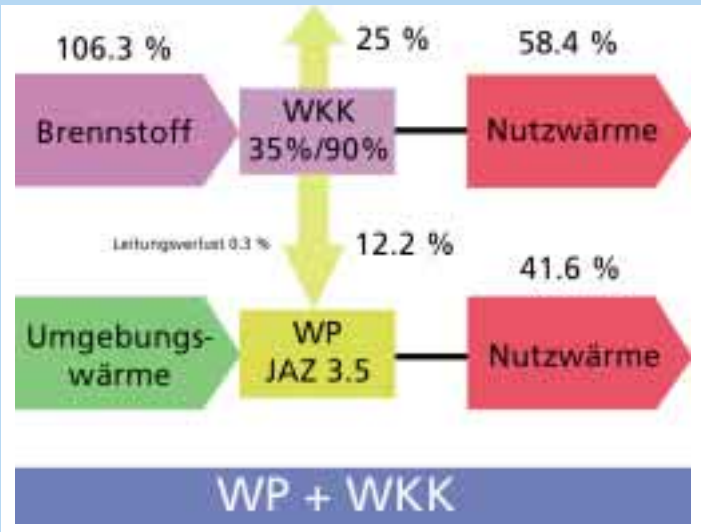
La comparaison des besoins en combustible de chaque variante met clairement en lumière les économies potentielles de combustible. Dans le cas de la production d’électricité par des installations CCF, ces économies sont d’environ 9% par rapport à la production par des centrales électriques combinées. Mais des économies de combustible nettement plus importantes peuvent être obtenues en substituant à grande échelle des pompes à chaleur aux chaudières. À ce moment-là, c’est aussi le rendement électrique plus élevé des centrales combinées qui devient déterminant, plaçant la quatrième variante en tête du hit parade des performances.

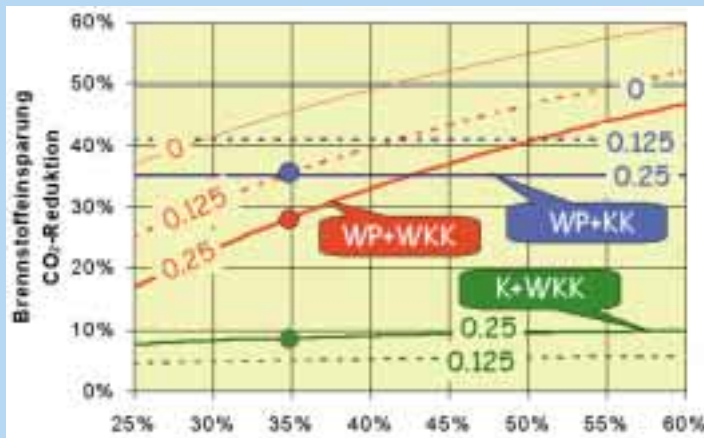
Ce résultat est en accord avec les lois de la thermodynamique, selon lesquelles une

Stratégies de production de chaleur et d’électricité

Des efforts soutenus de recherche et de développement dans le domaine des pompes à chaleur et du couplage chaleur-force permettent aujourd’hui à ces technologies de production d’électricité et de chaleur à basse température de percer. Les réflexions sur les alternatives à la production nucléaire d’électricité placent actuellement le couplage chaleur-force sous les feux de la rampe. Il s’avère cependant que l’efficacité et la protection de l’environnement ne peuvent être garanties qu’en tenant compte des développements les plus récents dans le domaine des moteurs et en incluant dans la planification les combinaisons comportant des pompes à chaleur, donc l’utilisation de chaleur ambiante.

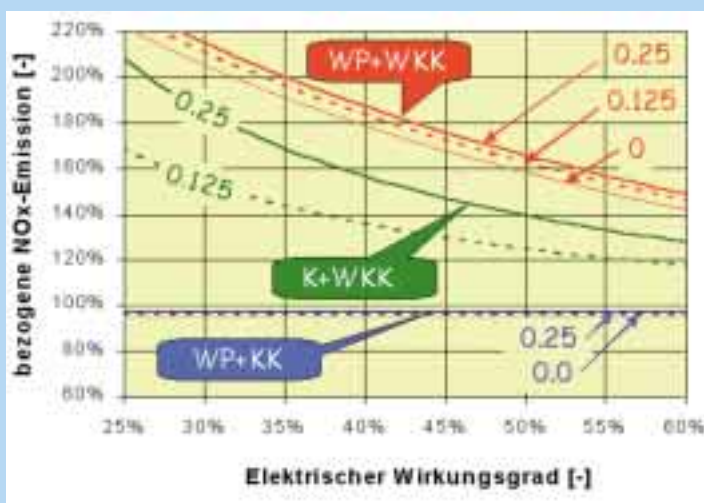
chaudière n’est pas en mesure d’utiliser de façon optimale la température de flamme élevée pour produire de la chaleur à basse température. Il est plus judicieux de recourir aux pompes à chaleur et aux installations CCF de rendement électrique élevé. Dans le cas de la production de chaleur uniquement (rapport électricité/chaleur nul), cette solution n’est cependant supérieure à la variante PAC+CC qu’à partir d’un rendement électrique de 41%. Et quand on produit en plus 25% d’énergie électrique (rapport





Économies d'énergie et réduction des émissions de CO_2 de trois variantes, par rapport au système de référence Ch+CC, en fonction du rendement électrique. Le paramètre de la courbe est le rapport électricité/chaaleur.

(Graphique tiré de [1])



Émissions d'oxydes d'azote (NO_x) par rapport à la combinaison de référence Ch+CC. Les valeurs limites selon l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair) 1998 sont respectées.

électricité/chaaleur = 0,25), ce n'est qu'à partir de 43 % que l'installation CCF est plus efficace au plan énergétique.

Aperçu des émissions de polluants

Les émissions de dioxyde de carbone (CO_2), qui sont proportionnelles à la consommation de combustible, ne sont pas le seul problème environnemental. Il ne faut pas

oublier notamment les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de monoxyde de carbone (CO). Là encore, les variantes examinées donnent des résultats très divergents. Pour les illustrer, on prend l'exemple du gaz naturel, qui est le combustible présentant les plus faibles émissions de polluants. Les installations techniques considérées sont les solutions actuellement les plus courantes (chaudière, installation CCF modulaire avec moteur à combustion interne, centrale électrique combinée à turbines à gaz et à vapeur).

On constate alors que les variantes avec installations CCF modulaires (Ch+CCF et PAC+CCF) donnent un résultat nettement moins bon que celles comportant des centrales électriques combinées, en sous-entendant bien entendu que les valeurs limites légales pour les émissions sont respectées. Ici, l'assouplissement des valeurs limites, intervenu en 1998 pour les émissions des moteurs stationnaires à combus-

tion interne, a des répercussions inquiétantes. Le développement, soutenu par l'OFEN, d'un moteur hautement efficace et particulièrement pauvre en émissions nocives (le "SwissMotor") a pourtant créé les conditions qui permettraient de prescrire des valeurs limites beaucoup plus basses pour les émissions. La technologie des piles à combustible apportera aussi, dans un avenir que nous espérons proche, un allègement notable en matière d'émissions.

Les combinaisons comportant des pompes à chaleur sont des solutions d'avenir

L'étude des quatre variantes de systèmes destinés à la production simultanée de chaleur à basse température et d'électricité a montré que, pour une production efficace, il n'est pas possible de se passer des pompes à chaleur. Leur introduction en association avec des installations CCF ou des centrales électriques combinées présente des avantages notoires.

Pour pouvoir être prises au sérieux en tant que solutions d'avenir, les installations de couplage chaleur-force (CCF) doivent cependant atteindre à la fois un rendement électrique élevé et des émissions de polluants nettement plus basses qu'aujourd'hui. Il n'y a aucune raison de déroger à ces exigences pour les petites installations CCF modulaires. Pour ne pas être confronté à d'importants problèmes environnementaux lors de l'introduction à grande échelle des installations CCF modulaires, il faut (à nouveau) abaisser sensiblement les valeurs limites pour les émissions des moteurs stationnaires. De cette façon, les tout récents développements de moteurs (par exemple, le "SwissMotor") auraient plus de facilité à se faire une place sur le marché.

La combinaison de pompes à chaleur avec des centrales électriques combinées a donné les meilleurs résultats, aussi bien en matière d'efficacité qu'en matière d'émissions polluantes. Aussi convient-il d'intégrer cette variante, avec le poids qui lui revient, dans les considérations relatives à l'approvisionnement en électricité et en chaleur du futur.

Auteur : Martin Zogg

Liens Internet

[1] Exposé détaillé avec notions de base dans Martin. Zogg : "Wärme und Strom aus Brennstoffen – effizient und umweltschonend", Gas-Wasser-Abwasser gwa 82 (2002) 12, 907/912 ; peut être téléchargé à partir de : www.waermepumpe.ch/fe (rubrique "Publikationen")

Leonardo et Minergie

Un immeuble commercial spacieux avec une consommation d'énergie réduite donne le ton

Le nouvel immeuble administratif "Leonardo" de la Thurgauerstrasse à Zurich a été certifié comme étant le "plus grand bâtiment Minergie de Suisse". Il se situe sur une parcelle d'une superficie de 11'000 m² et comprend une surface au sol totale de plus de 30'000 m². La façade est constituée d'une double enveloppe en verre, soit une excellente isolation thermique. Cette construction est pourvue de volets à commande, installés en bordure du toit ; ils garantissent, avec les stores en étoffe inté-

grés, une protection thermique en été et un apport de chaleur en hiver. De grands atriums font office de zones tampons (jardins d'hiver) ; ils réduisent aussi la surface de l'enveloppe extérieure de ce bâtiment abritant 1'100 places de travail et destiné aux services.

Dès le début, on a proposé la réalisation d'un immeuble commercial novateur ayant une consommation d'énergie basse. Deux chaudières à gaz, une pompe à chaleur pour le chauffe-eau ainsi que des systèmes de ventilation avec récupération de chaleur ont été installés de manière traditionnelle. Une commande centralisée contrôle et dirige les installations CVC du bâtiment (chauffage, ventilation et climatisation). Le système de refroidissement des éléments de construction suit les prévisions météorologiques de l'Institut suisse de météorologie (ISM). Un échange de chaleur peut être réalisé à l'intérieur du bâtiment.



Franz Beyeler (à gauche) remet le certificat Minergie à Peter Steiner, Président du Conseil d'administration de Karl Steiner SA.
(Photos : Karl Steiner SA)



Le grand atrium du nouveau bâtiment Minergie "Leonardo" avec son jardin de palmiers et ses ascenseurs.

Liens Internet

Un aperçu de Minergie, partenaire de SuisseEnergie

www.minergie.ch

Karl Steiner SA – "Total Services Contractor"

www.steiner.ch

Le programme de recherche "Utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment (REN)"

www.empa-ren.ch

Simulations de bâtiments à grande quote-part vitrée

La fiche technique SIA 2021 et la documentation SIA D 0176 sont le résultat d'une étude systématique de bâtiments à grande quote-part vitrée. Aujourd'hui, de plus en plus d'immeubles administratifs et commerciaux ont toutes leurs façades entièrement vitrées. Avec ce type de bâtiments, pour obtenir un confort et des performances énergétiques convenables, il faut disposer d'une grande maîtrise dans l'étude du projet. Les coûts en énergie sont dominés par la consommation d'électricité, qui inclut principalement les apports de chaleur interne (produite par les appareils électriques), l'éclairage, la ventilation et le refroidissement. Financièrement parlant, il vaut donc la peine de réduire cette consommation. Les simulations ont montré que seule une combinaison de protections solaires adéquates, de valeurs U du vitrage suffisamment basses et d'une technique de ventilation appropriée était en mesure de créer les conditions d'un confort acceptable.

www.sia.ch

Le Domaine des EPF profile l'avenir

Carburants renouvelables et véhicules performants pour la "société à 2000 watts"

Alexander Wokaun

Chef de la Division de la Recherche énergétique générale

Serge Biollaz

Chef du Groupe de la Technique des procédés thermiques

Philipp Dietrich

Responsable du Transfert technologique
Institut Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

Stephan Lienin

Projet "Mobilité durable"
Institut Paul Scherrer
et Directeur de la société
SustainServ Sàrl
CH-8004 Zurich

Konstantinos Boulouchos

Directeur du Laboratoire d'Aérothermochimie et des systèmes de combustion (LAV)

Lino Guzzella

Professeur à l'Institut des Techniques de mesure et de réglage (IMRT)
EPF de Zurich
CH-8092 Zurich

Christian Bach

Chef de la Section des Moteurs à combustion interne et des combustibles LFEM/EMPA
CH-8600 Dübendorf

Les objectifs de la protection du climat et du maintien de la qualité de l'air font nécessairement appel à de nouvelles approches en matière de trafic motorisé individuel. Parallèlement à des mesures d'aménagement du territoire et du trafic et au transfert vers des transports publics, il est aussi important de faire progresser le développement de moteurs hautement performants et de mettre au point des carburants renouvelables et pauvres en carbone. Dans ce cadre, le Domaine des EPF désire apporter une contribution importante par la mise en réseau de compétences technologiques dans le domaine des moteurs à combustion interne et dans celui des piles à combustible, ainsi que par le développement de carburants à partir de la biomasse et de l'énergie solaire thermique. La collaboration des institutions du Domaine des EPF au sein de l'Initiative pour un développement durable "novatlantis" assure la coordination et la complémentarité des projets, pour atteindre la plus grande efficacité possible.

Collaboration en technologie des moteurs pauvres en émissions polluantes

Ici, le Domaine des EPF travaille non seulement sur des concepts réalisables à long terme, tels que les voitures à piles à combustible utilisant l'hydrogène comme carburant, mais il mise aussi surtout sur le perfectionnement des moteurs à combustion pauvres en émissions polluantes. Le Laboratoire d'Aérothermochimie et des systèmes de combustion de l'EPF de Zurich, l'Institut des Techniques de mesure et de réglage de cette même EPF, la Section des Moteurs à combustion interne et des combustibles du LFEM/EMPA et la Division de la Recherche énergétique générale du PSI collaborent à différents projets.

L'extraction de carburants à partir de biomasse permettra d'augmenter déjà à moyen

terme la quote-part des sources d'énergie renouvelables dans le trafic routier. Le recours au gaz naturel et l'introduction toujours plus poussée du biogaz dans l'approvisionnement des véhicules à gaz représentent une étape de développement importante dans cette direction. Les véhicules à gaz – il en circule moins d'un millier actuellement en Suisse – ne pourront apporter une contribution significative à la protection du climat (dès 2010 environ) que s'ils sont commercialisés rapidement. Il est donc important que les acteurs des milieux économiques, politiques et industriels collaborent d'emblée. Des études de marché et des analyses socio-économiques appropriées soutiennent ce processus.



Nouveaux concepts pour un véhicule propulsé uniquement au gaz

Le gaz naturel présente, surtout grâce à son pouvoir antidétonant (indice d'octane) nettement plus élevé que celui de l'essence, d'excellents atouts pour la combustion dans un moteur ; mais il pose aussi des exigences élevées en matière de catalyseur et de commande du moteur. Dans le cadre du projet "Clean Engine Vehicle" (CEV), les instituts mentionnés du LFEM/EMPA et de l'EPF de Zurich ont développé un système de propulsion mono-énergie pour voitures de tourisme, qui présente des émissions minimales de polluants et des émissions de CO₂ de 30% inférieures à celles d'un véhi-

L'acceptation de la technologie par les différents acteurs est déterminante pour la mise en œuvre.



Test du catalyseur du "Clean Engine Vehicle" (CEV) sur le banc d'essai à roulettes du LFEM/EMPA.

culé équipé d'un moteur équivalent fonctionnant à l'essence (respect des valeurs limites californiennes pour les "Super-Ultra-Low-Emission-Vehicles" (SULEV) et EURO 4). Afin de limiter autant que possible les obstacles susceptibles d'entraver la commercialisation, seules des technologies adaptées à la production en série ont été admises par les chercheurs.

Carburants à base de biomasse

Les carburants à base de biomasse se fabriquent de diverses manières. Le mode de fabrication dépend de la nature de la bio-



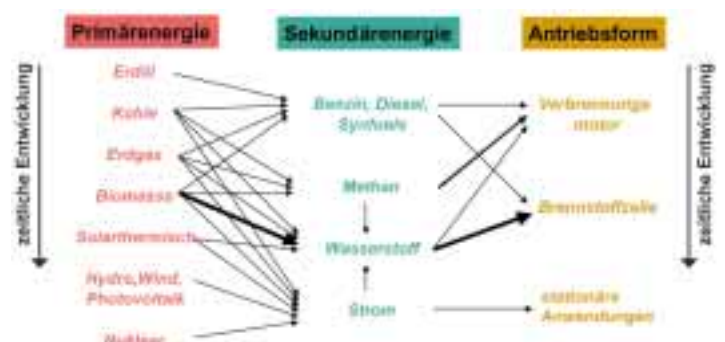
En route pour le col du Simplon avec des Supercaps, des piles à combustible et de l'hydrogène.

masse utilisée au départ et du carburant à produire. Jusqu'à maintenant, les carburants écologiques que sont l'éthanol, le diesel bio (ester méthylique de l'huile de colza) et le biogaz, occupaient le devant de la scène en Suisse et en Europe. Par contre, le bois ou la paille ne peuvent être transformés en carburant par les procédés classiques de fabrication. Ces matériaux nécessitent des traitements dits thermochimiques, tels qu'ils sont étudiés en détails au PSI.

Le passage du col du Simplon en véhicule à hydrogène

Dans un projet commun du PSI, de l'EPF de Zurich, de la FEV Motorentechnik Sàrl, de Volkswagen SA et de Montena Components SA, on a construit et testé un véhicu-

De nouvelles solutions pour assurer la mobilité dans la "société à 2000 watts".



le équipé d'un système de piles à combustible et d'un réservoir de grande capacité. L'objectif du projet était de réunir sur un même "porteur de technologie" les nouvelles connaissances acquises par la recherche et de montrer à quels rendements on pouvait s'attendre dans des conditions réelles de conduite sur route. Le Domaine des EPF a développé les composants clés tels que stacks et piles à combustible complètes, les électrodes pour les Supercaps,

avec de l'hydrogène. Parallèlement à la mise au point de projets de démonstration, le PSI étudie, en collaboration avec l'entreprise SustainServ Sàrl, à la création de laquelle il a contribué, quelles sont les options plébiscitées par la population et les groupements les plus divers. Depuis novembre 2002, sur mandat des Offices de l'environnement et de l'énergie des Cantons de Bâle-Ville et de Bâle-Campagne, des Services industriels de la Ville de Bâle, du Gasverbund Mittelland (l'exploitant des gazoducs du Plateau) ainsi que de l'OFEN, on organise de nombreuses discussions avec les citoyennes et citoyens et on compare les points de vues des acteurs régionaux et nationaux sur les véhicules et carburants novateurs.

Liens Internet

"novatlantis" et région pilote de Bâle
www.novatlantis.ch

Carburants à base de biomasse, véhicules à piles à combustible et analyse de systèmes par le PSI
www.ene.psi.ch

"Clean Engine Vehicle" (CEV), moteurs à combustion interne et systèmes de propulsion, au LFEM/EMPA et à l'EPF de Zurich
www.empa.ch
www.lav.ethz.ch
www.imrt.mavt.ethz.ch

Suivi de la mise en œuvre de la région pilote de Bâle par SustainServ, une entreprise spin-off du PSI
www.sustainerv.com

l'électronique de puissance et le système de commande de la chaîne de propulsion. Parallèlement à des études sur différents bancs d'essai, des tests de conduite sur route se sont déroulés, par exemple, en janvier 2002 en passant le col du Simplon.

Mise en œuvre dans la région pilote de Bâle

La région pilote "novatlantis" de Bâle offre au Domaine des EPF d'excellentes possibilités d'implanter une plate-forme pour la "société à 2000 watts" et de tester différentes technologies nouvelles. On mentionnera ici le lancement d'un parc de véhicules pauvres en émissions et énergétiquement performants, fonctionnant dans un premier temps avec du carburant à base de gaz naturel et de biogaz, puis, à plus long terme,

Réduction catalytique des oxydes d'azote

Un procédé très prometteur de traitement des gaz d'échappement de moteurs diesel est en cours d'application industrielle

Manfred Koebel

Groupe des Techniques de traitement des gaz d'échappement
Institut Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

Alphons

Hintermann

Responsable du domaine Combustion à l'OFEN

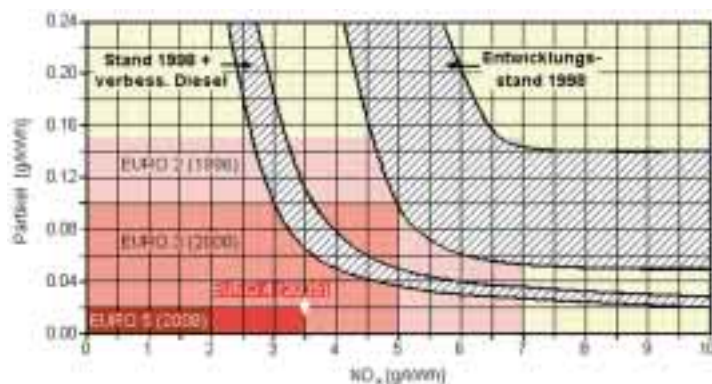
En développant un nouveau procédé catalytique, les constructeurs allemands de véhicules veulent accomplir un pas décisif pour satisfaire aux futures prescriptions européennes sur les gaz d'échappement des moteurs diesel. L'élément clé est un catalyseur d'un type nouveau, dont la conception et la construction sont élaborées par plusieurs constructeurs. Après avoir accumulé au cours des dernières années des connaissances techniques spécifiques sur le fonctionnement et l'optimisation de ce genre de catalyseur, un groupe de chercheurs du PSI a établi une coopération étroite avec deux constructeurs.

oxydes d'azote qui sont, en partie, responsables de la formation de l'ozone. La nouveauté de nos travaux a été de proposer, comme agent de réduction sélective, de l'urée au lieu de l'ammoniac dont l'emploi est problématique."

L'ammoniac, qui est fixé chimiquement dans l'urée solide, est libéré par thermolyse et hydrolyse aux températures élevées des gaz d'échappement des moteurs diesel ; il permet la réduction proprement dite des oxydes d'azote dans le catalyseur SCR.

Le renforcement à venir des prescriptions européennes sur les gaz d'échappement touchera particulièrement les moteurs diesel des véhicules utilitaires. Il existe un rapport d'interdépendance fonctionnelle entre les deux principales substances émises, les oxydes d'azote (NO_x) et les particules de suie : plus les émissions des unes sont élevées, plus celles des autres sont basses. Les prescriptions sur les gaz d'échappement EURO 4 et EURO 5, prévues respectivement pour 2005 et 2008, requièrent une réduction tellement importante des deux polluants que seule la combinaison d'une combustion optimisée et d'un traitement des gaz

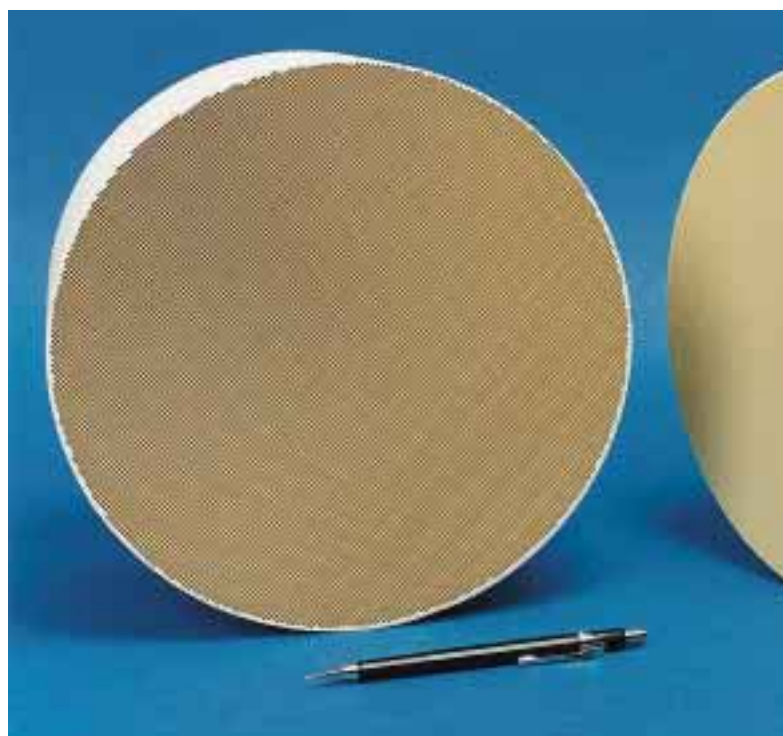
La recherche sur les catalyseurs comprend l'optimisation du nombre des cellules et du revêtement.



Les prescriptions européennes sur les gaz d'échappement et les exigences contradictoires concernant les deux polluants les plus importants émis par les moteurs diesel : les oxydes d'azote (NO_x) et les particules de suie.

La recherche sur les émissions mène au procédé SCR

Depuis une quinzaine d'années, l'OFEN soutient des projets réalisés au PSI, dénommés "De NO_x ", ayant pour objectif la diminution des émissions de NO_x . Manfred Koebel, chef du Groupe des Techniques de traitement des gaz d'échappement, dit à ce sujet : "Au départ, il s'agissait de déterminer avec plus de précision les émissions des moteurs diesel qui, à l'époque, étaient de plus en plus employés pour les installations de couplage chaleur-force, et de proposer des solutions pour diminuer les émissions élevées de suie et de NO_x . La réduction catalytique sélective (SCR) avec de l'ammoniac s'est révélée être un procédé prometteur pour diminuer les émissions des



La SCR intéresse aussi la SAE

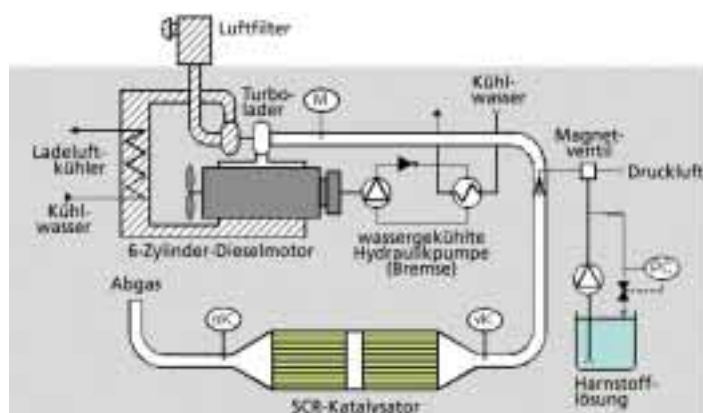
Vers le milieu de 2002, les travaux de Manfred Koebel dans le domaine des catalyseurs SCR à base d'urée ont trouvé place dans les Actes du congrès mondial (New Emissions Technology) de la célèbre Society of Automotive Engineers (SAE).

www.sae.org

d'échappement sera en mesure d'atteindre l'objectif voulu. Deux stratégies fondamentalement différentes sont possibles :

- La combustion dans le moteur est réalisée de façon à produire le moins de NO_x possible. Cela augmente le rejet de particules, qui peut toutefois être efficacement réduit à l'aide d'un filtre. Le défaut de cette stratégie réside dans une consommation accrue de carburant.
- La combustion à l'intérieur du moteur a lieu de manière optimisée afin de réduire au maximum le nombre de particules ; cela produit beaucoup d'oxydes d'azote, qui sont ensuite réduits par un procédé catalytique "De NO_x ". Dans ce cas, la consommation de carburant n'augmente pas. Cette stratégie est celle retenue pour les moteurs diesel de camions pour lesquels les coûts liés au carburant jouent un rôle décisif.

Un prototype de système "De NO_x " a été construit en collaboration étroite avec l'industrie (par exemple, pour une grue mobile de Liebherr).



Recherche intensive sur les catalyseurs SCR

Manfred Koebel précise : "En 1996, nous nous sommes mis à fabriquer nos propres catalyseurs SCR à revêtement actif, dont nous attendions des performances supérieures en cas d'utilisation mobile. Les critères les plus importants sont ici la densité des cellules (rapport entre la surface géométrique et le volume du catalyseur) ainsi que l'activité du revêtement catalytique. Il y a eu ensuite des essais avec des supports de catalyseur caractérisés par différentes dimensions de cellules et divers revêtements. Ainsi, pour nos essais, nous avons construit nous-mêmes des catalyseurs pour revêtements, achetant également des catalyseurs massifs "traditionnels" du commerce. Les meilleures conditions de réaction se situent à des températures qui varient entre 300 et 400 °C. Mais nous avons aussi étudié le comportement aux basses températures, telles qu'on les rencontre au démarrage du moteur et en charge partielle."

D'une part, des réacteurs de laboratoire ont été construits pour pouvoir effectuer des mesures comparatives. D'autre part, les meilleurs catalyseurs ont pu être testés sur le banc d'essai pour moteurs du PSI. Les connaissances acquises en technologie des procédés industriels ont finalement été appliquées dans un projet pilote et de démonstration, en collaboration avec Liebherr Machines SA (Bulle), Oberland Mangold Sàrl (Garmisch-Partenkirchen) et l'Institut des Techniques de mesure et de réglage (IMRT) de l'EPF de Zurich. Cette coopération comprenait la mise en place d'une grande installation complète sur un banc d'essai pour moteurs chez Liebherr à Bulle ; ce qui a permis de tester différentes

variantes de catalyseurs, ainsi que diverses stratégies de dosage pour la solution d'urée.

Application des résultats à des produits commercialisables

L'expérience acquise par les chercheurs du PSI avec le procédé SCR basé sur l'urée est déjà utilisée lors de collaborations entre le PSI et d'autres partenaires industriels. Le savoir-faire spécifique du PSI dans le domaine des catalyseurs est très demandé, en particulier les connaissances professionnelles relatives à la production de couches hyperactives résistant à la chaleur, ainsi que la possibilité de pouvoir évaluer de manière rapide et sûre les caractéristiques d'un catalyseur par des mesures. Les connaissances élaborées au PSI avec le soutien de l'OFEN passent ainsi dans le développement industriel et la production de futurs catalyseurs SCR. Il s'agit donc d'un exemple d'investissement judicieux des crédits de recherche de l'OFEN, qui aboutit à des produits répondant au mieux aux futures prescriptions renforcées sur les gaz d'échappement.

Liens Internet

Une vue d'ensemble du PSI
www.psi.ch

Laboratoire des Recherches en matière de combustion (CRL)
<http://ene.web.psi.ch/Combustion>

Groupe des Techniques de traitement des gaz d'échappement
<http://ega.web.psi.ch>



Retenir à tout prix

Le programme ARTIST confirme le rôle de *leader* du PSI dans la recherche en matière de sûreté des réacteurs à eau pressurisée

Salih Güntay

Chef du projet
ARTIST
Institut Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

J. Peter Hosemann

Chef du programme
Sûreté nucléaire et
gestion des déchets
de l'OFEN
Institut Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

Christophe de Reyff

Responsable du
domaine Énergie
nucléaire à l'OFEN

Le programme ARTIST, avec la participation de partenaires européens, américains et japonais, vient d'être lancé à l'Institut Paul Scherrer (PSI) à Villigen. Il a pour objet l'étude de la rétention et du dépôt des produits de fission en cas de rupture d'un tube de chauffage à l'intérieur d'un générateur de vapeur. Cette étude s'effectue à l'aide d'un modèle réduit de ce type de générateurs que l'on utilise dans les réacteurs à eau légère. La collaboration internationale dans la recherche a rencontré un écho considérable, car, d'une part, le sujet est spécifique au concept du réacteur à eau pressurisée et, d'autre part, ce dernier équipe 263 centrales nucléaires sur les 442 en exploitation dans le monde. Le consortium créé à cet effet rassemble plus de 11 organismes.

Étude expérimentale des générateurs de vapeur et de leurs problèmes

Pour les réacteurs à eau pressurisée, l'eau du circuit primaire s'échauffe dans ce dernier jusqu'à 345 °C, puis entre en ébullition sans toutefois s'évaporer, compte tenu de la pression de 160 bar à laquelle elle est soumise. L'énergie thermique est transmise au circuit secondaire lors de la traversée du faisceau de tubes de l'échangeur de chaleur – le générateur de vapeur – et produit ainsi de la vapeur qui entraîne les turbines. La construction, le choix des matériaux, la fabrication et le mode d'exploitation ont certes été considérablement perfectionnés ; pourtant, ces générateurs sont encore la source d'incidents à répétition. Des fuites et des fractures peuvent se produire par suite de corrosion, de vibrations, de différence de pression entre les circuits primaire et secondaire ou de manquements de la part du personnel assurant les révisions périodiques. S'il est possible d'obturer, et donc de mettre hors service, l'un ou l'autre des tubes du générateur, ce recours réduit par la même occasion l'efficacité du transfert de chaleur et la rentabilité économique. Au niveau de la sûreté des installations, l'intérêt se porte tout particulièrement sur la rup-

ture d'un tube de chauffage qui surviendrait en même temps qu'un incident causant la perte d'une partie du liquide de refroidissement. Ce scénario pourrait conduire, dans un cas extrême, à un accident avec fusion du cœur et même au relâchement de particules et de gaz radioactifs dans l'environnement. Jusqu'ici, les analyses mathématiques effectuées n'avaient pas pu être confrontées aux expériences en conditions réelles. Il fallait ainsi admettre que le pouvoir de rétention du générateur de vapeur était faible, voire inexistant. Le programme ARTIST (*AeRosol Trapping In a Steam generator*) va permettre de lever cette incertitude. Il compte 7 phases et s'achèvera en 2007. Différents essais seront réalisés au PSI, dans une installation expérimentale de 14 m de hauteur, et ils y produiront les données nécessaires. L'installation fait intervenir un faisceau de tubes dont le nombre et les dimensions ont été réduites à l'échelle (270 au lieu de 3'238 tubes), ainsi qu'un module séparateur d'eau et un module pare-gouttes, en grandeur nature.

Les possibilités de rétention et de dépôt sont d'une importance cruciale

La rétention de produits de fission se présentant sous forme d'aérosols et de gouttes est simulée dans ces composants du générateur de vapeur. L'un des paramètres les plus intéressants en est le niveau de l'eau

Membre à part entière du GIF

L'année dernière, la Suisse a été admise comme membre à part entière du "Generation IV International Forum" (GIF) et, depuis lors, le PSI peut participer aux recherches en cours. Le GIF a pour but, d'ici 20 à 30 ans, de développer jusqu'à leur commercialisation une nouvelle génération au moins de centrales nucléaires. Ces nouvelles centrales seront supérieures aux meilleures centrales d'aujourd'hui, tant sur le plan technique qu'économique.

Renseignements :
<http://gen-iv.ne.doe.gov>

Liens Internet

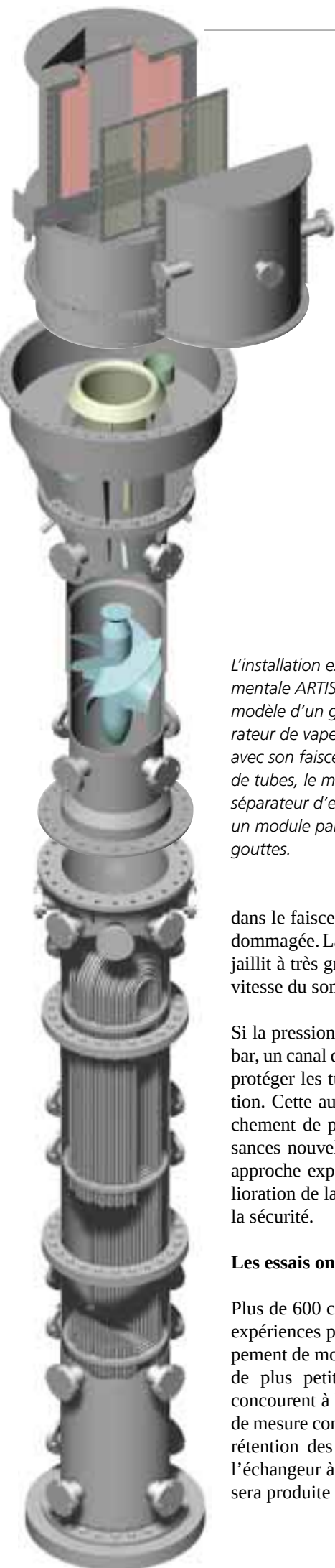
L'Institut Paul Scherrer dans son ensemble
www.psi.ch

Renseignements sur le domaine de la recherche en sûreté nucléaire
<http://nes.web.psi.ch>

Le programme ARTIST et tous ses détails
<http://artist.web.psi.ch>

Après le premier
essai : dépôts
blanchâtres
d'aérosols sur le
faisceau de tubes.





L'installation expérimentale ARTIST, modèle d'un générateur de vapeur avec son faisceau de tubes, le module séparateur d'eau et un module pare-gouttes.



dans le faisceau de tubes, notamment à proximité de la partie endommagée. La pression élevée dans le circuit primaire fait que l'eau jaillit à très grande vitesse, suivie de vapeur et de gaz éjectés à la vitesse du son, le tout pouvant engendrer d'autres dégâts.

Si la pression dans le circuit secondaire passe de 60 à environ 80 bar, un canal d'écoulement de la vapeur se crée, provoquant – pour protéger les turbines – la mise en service de conduites de déviation. Cette augmentation pourrait par la suite provoquer un relâchement de produits de fission dans l'atmosphère. Les connaissances nouvelles que le programme ARTIST livrera grâce à son approche expérimentale structurée, doivent conduire à une amélioration de la maîtrise de l'accident, donc à une augmentation de la sécurité.

Les essais ont débuté

Plus de 600 canaux de mesure sont à disposition pour réaliser les expériences prévues. Les données saisies permettront le développement de modèles de calcul à 3 dimensions. Des sections d'essai de plus petite taille complètent l'installation ARTIST ; elles concourent à l'étude d'effets particuliers au moyen de techniques de mesure complexes. La phase 1 du projet comprend l'étude de la rétention des aérosols dans les parties rectilignes des tubes de l'échangeur à l'état froid. La phase 2 simulera une fracture qui se sera produite dans le coude de l'un de ces tubes.

Piles à combustible

Réseau suisse en construction

Depuis 1988, l'OFEN encourage par des projets ciblés le développement de la technologie des piles à combustible, depuis les travaux de base jusqu'aux applications concrètes. Au cours des dernières années, de nombreux nouveaux acteurs (chercheurs des Hautes Écoles universitaires et des Hautes Écoles spécialisées, partenaires industriels, sponsors et investisseurs) sont apparus dans ce domaine, mais ils ne se connaissent pas tous entre eux. C'est pour créer un réseau entre ces acteurs, mais aussi dans le but d'employer au mieux les fonds octroyés par les pouvoirs publics – très limités – que l'OFEN a organisé un *meeting* à l'Institut Paul Scherrer (PSI) en février 2003 sur le thème "Mise en place d'un réseau pour les piles à combustible". Les représentants de 25 groupes actifs dans ce domaine ont profité de l'occasion pour présenter leurs dossiers (compétences de base, capacités de travail et infrastructures existantes, informations brèves relatives aux projets en cours sur les piles à combustible, etc.). Le thème de la discussion finale a été l'optimisation des synergies à l'intérieur de ces groupes. Les informations obtenues sont passées directement dans la publication "Who is Who" qui avait été prévue pour présenter les personnes et sociétés qui se consacrent aux techniques des piles à combustible en Suisse. À l'avenir, les projets en réseau seront de plus en plus encouragés par l'OFEN. C'est pourquoi, il est important que les chercheurs qui sont actifs aujourd'hui se connaissent mieux.

Réunion des chercheurs les 19 et 20 mai à Yverdon :

tous les projets actuels relatifs aux piles à combustible, qu'ils soient soutenus par l'OFEN ou par d'autres organismes, seront présentés à tous les acteurs et à toutes les personnes intéressées. Pour plus d'informations :

www.suisse-energie.ch

Fuel Cell 2003 : du 30 juin au 4 juillet aura lieu à Lucerne le "Forum international sur les piles à combustible", qui comprendra deux conférences parallèles et une présentation de produits.

www.efcf.com

Rejets de chaleur

Fernwärme Emmen; SB Ausbauphase 1998 - 2002; Schlussbericht; Krummenacher S.; Gemeinde Emmen; 10.2002; DE; 23 S.; F&E; Sfr. 18.00; Nr. 220183

Analyse und Modellierung des Energiebedarfes in Batch-Prozessen; Zwischenbericht; Bieler P. S.; ETH Labor für Technische Chemie; 11.2002; DE; 44 S.; F&E; Sfr. 25.00; Nr. 220185

Accumulateurs + Supercaps

Indikatoren zu ausgewählten kantonalen Energiemassnahmen; JB; Frauenfelder S.; 12.2001; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210338

Biomasse (sans le bois)

Vergleich von Energieumwandlungsverfahren für Gülle (ENKON); SB; Hersener J.-L.; Meier U.; 12.2002; DE; 106 S.; F&E; Sfr. 63.00; Nr. 220205

Biomasse (bois)

Optimierung eines Gleichstromvergasers im industriellen Massstab für die Vergasung von feuchten Holzschnitzeln und Altholz und Entwicklung der trockenen Gasreinigung; SB; Meyer B.; Gemperle H.; Gürber H.; Mörgeli R.; PYROFORCE Energietechnik AG; 07.2002; DE; 35 S.; F&E; Sfr. 25.00; Nr. 220172

Installation de couplage chaleur/force au bois en application dans la Scierie Despond à Bulle; Rapport d'exploitation 1^{er} semestre 2002; Giordano P.; Xylowatt SA; 10.2002; FR; 18 p.; P&D; Sfr. 18.00; Nr. 220190

Piles à combustible

Applications des PAC aux bateaux, réalisations en cours; Article; Affolter J.-F.; Mariotti P.; 12.2000; FR; 4 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 200332

Projet Pilote d'une petite embarcation mue par pile à combustible de 300 W; Article; Affolter J.-F.; 03.2000; FR; 15 p.; F&E; Sfr. 18.00; Nr. 200334

Powering light boats; Article; Affolter J.-F.; 06.1999; EN; 3 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 200333

Stockage chimique d'énergie

IEA Agreement on the production and utilization of hydrogen; Annual report 2001; Elam C.; 12.2001; EN; 94 p.; F&E; Sfr. 46.00; Nr. 210335

Solarthermische Prozesse in der Kreislaufwirtschaft; SB; Schaffner B.; Hoffelner W.; Steinfeld A.; Paul Scherrer Institut (PSI); 10.2002; DE; 82 S.; P&D; Sfr. 46.00; Nr. 220177

Électricité

Akzeptanz von Komfortlüftungen im Wohnungsbereich; JB; Keller L.; CEPE ETH Zentrum, WEC; 12.2000; FR; 7p.; F&E; Sfr. -; Nr. 200174

Druckluftoptimierung in einer Weberei; SB; Gloor R.; Gloor Engineering; 09.2002; DE; 14 S.; P&D; Sfr. 18.00; Nr. 220175

Druckluftoptimierung in einer Schreinerei; SB; Gloor R.; Gloor Engineering; 08.2002; DE; 17 S.; P&D; Sfr. 18.00; Nr. 220174

Energieaspekte in der IT-Ausbildung; Pilotprojekt im Rahmen eines neuen Ausbildungsprogramms für Informatik-Lehrlinge; SB; Huser A.; Rack Huser H.; Aebischer B.; Encontrol GmbH; 11.2002; DE; 51 S.; F&E; Sfr. 35.00; Nr. 220179

Recherche énergétique en général

Konzept der Förderung des Exports nachhaltiger Energietechnologien; Bericht; BFE; 10.2002; DE; 16 S.; F&E; Sfr. 18.00; Nr. 220204

Fondements de l'économie énergétique

Neu Bauen statt Sanieren; JB; Ott W.; Econcept AG; 12.2000; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200152

Technologie-Monitoring; JB; Eicher H.; Rigassi R.; Dr. Eicher + Pauli AG; 12.2001; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210343

Facility Management (FM) und Energieeffizienz; JB; Zaugg T.; Pom+ Consulting AG; 04.2000; DE; 5 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200201

Exportförderung im Energiebereich; JB; Iten R.; Oettli B.; Jochem E.; Mannsbart W.; Infrast AG; 12.2001; DE; 6 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210344

Erhebung der durchschnittlichen Energiekennzahl für Neubauten in 13 Kantonen; JB; Brühlmann K.; Wüest & Partner; 12.2000; DE; 1 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200336

Vollzug SIA Normen Gebäude; JB; Dettli R.; Renaud P.; Signer B.; Ott W.; Econcept AG; 12.2001; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210346

Koordination der Modellierungs- und Perspektivarbeiten; JB; Eckerle K.; Prognos AG; 12.2000; DE; 6 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200337

Marktpotenziale und Markthindernisse für die thermische Solarenergie; JB; Gerheuser F. W.; Büro für Politikberatung; 12.2001; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210347

Perspektiven des Energieverbrauchs in den Haushalten; JB; Hofer P.; Prognos AG; 12.2000; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200338

Umweltmanagement - ISO Norm 9000/14001 Einbezug Energieeffizienz; JB; Beltrani G.; Schelske O.; Peter D.; Oettli B.; Ernst Basler + Partner AG; 12.2001; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210348

Perspektiven des Energieverbrauchs in Dienstleistungsbetrieben und Landwirtschaft; JB; Aebischer B.; ETH; 12.2000; DE; 9 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200339

Nachhaltigkeit: Kriterien und Indikatoren für den Energiebereich; JB; Brodmann U.; Gubler F.; Walter F.; EcoPlan; 12.2001; DE; 7 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210349

Szenarien zu den Volksinitiativen „Strom ohne Atom“ und „Moratorium Plus“; JB; Eckerle K.; Prognos AG; 12.2000; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200340

Conception d'une procédure d'aide à la décision en matière de politique énergétique basée sur des critères et des indicateurs de développement durable; JB; Carlevaro F.; Genoud S.; Garbely M.; Centre universitaire d'étude; 12.2001; FR; 5 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 210350

Ausstieg aus der Kernenergie – wirtschaftliche Auswirkungen; Analyse der Volksinitiativen „Strom ohne Atom“ und „MoratoriumPlus“ mit einem Gleichgewichtsmodell; JB; Müller A.; EcoPlan; 12.2000; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200341

Kennzeichnung der Elektrizität gemäss Art. 12 EMG; JB; Dettli R.; Markard J.; Econcept AG; 12.2001; DE; 5 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210351

Effizienzmassnahmen im Strombereich; JB; Brunner C. U.; 12.2000; DE; 2 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200342

Ouverture du marché de l'électricité à la Concurrence : Evolutions à l'étranger; JB; Romero F.; ETHZ CEPE, WEC; 12.2001; FR; 3p.; F&E; Sfr. -; Nr. 210355

Marginale Zahlungsbereitschaft für eine erhöhte Internalisierung des Risikos von Kernkraftwerke; JB; Zweifel P.; Schneider Y.; Sozialökonomisches Institut; 12.2001; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210325

Liberalisierung und Service Public: Mit Spielregeln zum Doppelsieg; Referat anlässlich der Tagung „Öffnung des Strommarktes – Beiträge der Energiewirtschaftlichen Forschung“ vom 22. Nov. 2001; JB; Sommer H.; ETHZ CEPE, WEC; 12.2001; DE; 6 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210356

Wirtschaftliche Auswirkungen der Volksinitiativen „Strom ohne Atom“ und „MoratoriumPlus“; Analyse mit einem Gleichgewichtsmodell; Zusammenfassung; Müller A.; Wickart M.; Van Nieuwkoop R.; EcoPlan; 02.2001; DE; 19 S.; F&E; Sfr. 8.00; Nr. 210336

Stromeinfuhr oder Gasverstromung im Inland; JB; Sättler M.; Bohnenschäfer W.; Schlesinger M.; Econcept AG; 12.2001; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210357

Retombées économiques des initiatives „Sortir du nucléaire“ et „Moratoire-plus“; Résumé; Müller A.; Wickart M.; Van Nieuwkoop R.; EcoPlan; 02.2001; FR; 19 p.; F&E; Sfr. 18.00; Nr. 210337

Auswirkungen der Markttöffnung im Gasbereich; JB; Dettli R.; Signer B.; Kaufmann Y.; Econcept AG; 12.2001; DE; 5 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210358

Koordination der Modellierungs- und Perspektivarbeiten; JB; Eckerle K.; Prognos AG; 12.2001; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210339

Marketing- und PR-Strategie Minergie und Passivhaus; SB; Frauenfelder S.; 11.2002; DE; 61 S.; F&E; Sfr. 7.25; Nr. 220122

Energieperspektiven Ex-Post-Analyse des Energieverbrauchs der Haushalte 2000; JB; Hofer P.; Prognos AG; 12.2001; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210340

CO2-neutraler Ersatz der Atomenergie – Remplacement de l'énergie atomique sans détérioration du bilan de CO2; SB; Kessler S.; Iten R.; Hacker K.; 05.2002; DE, FR; 43 S., 43 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 220123

Ausstieg aus der Kernenergie – wirtschaftliche Auswirkungen; JB; Müller A.; Wickart M.; EcoPlan; 12.2001; DE; 6 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210341

Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden; SB; Jakob M.; Jochem E.; Christen K.; 09.2002; DE, FR; 440 S., 440 p.; F&E; Sfr. 36.60; Nr. 220160

Adhärence à l'aération douce dans les logements; JB; Keller L.; IPSO; 12.2001; FR; 3 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 210342

Évaluation comparée de méthodes de contrôle et de décision en matière de développement durable; Rapport final; Carlevaro F.; Garbely M.; Genoud S.; Centre universitaire d'étude; 07.2002; FR; 65 p.; F&E; Sfr. 8.50; Nr. 220206

Energieverbrauch im öffentlichen Verkehr; Vorstudie; Brunner C. U.; 01.2002; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220208

Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen; JB; Jakob M.; Jochem E.; Christen K.; Stocker P.; Paul Scherrer Institut (PSI); 01.2002; DE; 8 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220211

Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme im Rahmen Art. 15 EnG; JB; Iten R.; Nordmann Th.; Infrast AG; 12.2001; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210345

Géothermie

Tiefe Erdwärmesonde Weggis; Messkampagnen zur Dokumentierung der neuen Einflüsse beim Ausbau der Abnehmerleistung; Zwischenbericht; Eugster W. J.; Füglistner H.; 10.2002; DE; 14 S.; P&D; Sfr. 18.00; Nr. 220178

Angewandte Forschung; Workshop zur Qualitätssicherung von „geothermischen Response Tests“; SB; Eugster W. J.; Polydynamics Engineerings (ZH); 10.2002; DE; 13 S.; F&E; Sfr. 18.00; Nr. 220180

Photovoltaïque

AluTec (mod.dép) / AluStand; Slopingsroof - and façade - mounting - system; Schlussbericht; Bühler U.; 10.2002; DE; 28 S.; P&D; Sfr. 18.00; Nr. 220181

SOLIGHT – Untersuchung Leicht-Modulaufständerungen für Kiesflachdächer; SB; Meier Ch.; Frei R.; energie büro Zürich; 10.2002; DE; 61 S.; P&D; Sfr. 35.00; Nr. 220182

1-MW-Solarkette der NOK; SNormierte Daten 1992 - 2000; Messbericht; Roth S.; NOK; 11.2002; DE; 57 S.; P&D; Sfr. 35.00; Nr. 220184

Transfert de technologie / Systèmes

ENET-NEWS Nr. 53 deutsch; ENET; 12.2002; DE; 40 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220196

ENET-NEWS No 53 français; ENET; 12.2002; FR; 40 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 220197

Chaleur ambiante

Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge; SB; Signorelli S.; Kohl Th.; Institut für Geophysik ETH Zürich; 11.2002; DE; 64 S.; F&E; Sfr. 35.00; Nr. 220186

Verbesserung des Abtauens bei luftbeaufschlagten Verdampfern; Phase 2: Bewertung der Abtauprozesse; SB; Ehrbar M.; Bertsch S.; Hubacher P.; Fachhochschule beider Basel; 11.2002; DE; 95 S.; F&E; Sfr. 46.00; Nr. 220187

Lärmreduktion bei Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen; Grundlagen und Massnahmen; SB; Graf H.R.; Sulzer Innotec AG; 11.2002; DE; 65 S.; F&E; Sfr. 35.00; Nr. 220193

Compresseur Radial pour Pompe à chaleur biétagée; Phase 1: Etude de faisabilité; Rapport final; Schiffmann J.; Molyneux A.; Favrat D.; Marechal F.; Zehnder M.; Godat J.; OFFTECH; 11.2002; FR; 47 p.; F&E; Sfr. 25.00; Nr. 220195

BiogasMotor; Rapport final; Roubaud A.; Favrat D.; EPFL/DME/LENI; 09.2002; FR; 43 p.; F&E; Sfr. 25.00; Nr. 220203

Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen; Teil 1: STASCH-Planungshilfen; SB; Gabathuler H.R.; Mayer H.; Afjei Th.; Fachhochschule beider Basel; 12.2002; DE; 54 S.; F&E; Sfr. 35.00; Nr. 220216

Schémas standard pour petites installations de pompes à chaleur; 1^{ère} partie: fiches techniques; Rapport final; Gabathuler H.R.; Mayer H.; Renaud P.; Afjei Th.; Fachhochschule beider Basel; 12.2002; FR; 54 p.; F&E; Sfr. 35.00; Nr. 220217

Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen; Teil 2: Grundlagen und Computersimulationen; SB; Afjei Th.; Schonhardt U.; Wemhöner C.; Erb M.; Gabathuler H.R.; Mayer H.; Zweifel G.; Achermann M.; von Euw R.; Stöckli U.; Fachhochschule beider Basel; 12.2002; DE; 176 S.; F&E; Sfr. 81.00; Nr. 220218

Transports en général

Grundsätze für Netzbenutzungstarife; JB; Iten R.; Vettori A.; Ott W.; Wild J.; Infrast AG; 12.2001; DE; 5 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210352

Data-Room Pilotprojekt; JB; Bacher R.; Bacher Consulting; 12.2001; DE; 7 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210353

Force hydraulique

Vorstudie Kleinwasserkraftwerk Hägler-Mühle, Lausen; Revitalisierung des historischen Kraftwerkes; Bericht; Wohlfender M.; Bretscher A.; Gutzwiller St.; Stiftung Revita; 10.2002; DE; 17 S.; F&E; Sfr. 18.00; Nr. 220170

Énergie éolienne

Zusatzmessungen am Gütsch; Modell-Validierung/Monitoring der Windkraftanlage/Vereisung; SB; Cattin R.; Meteotest; 09.2002; DE; 37 S.; P&D; Sfr. 25.00; Nr. 220169

Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäuden; JB; Jakob M.; Jochem E.; CEPE ETH-Zentrum, WEC; 01.2002; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220212

Energieeffizienz bei Elektrogeräten: Wirkung der Instrumente und Massnahmen; JB; Brunner C.U.; Bush E.; Gasser S.; Lingenhel S.; Nipkow J.; 01.2002; DE; 3 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220214

Energiewirtschaftliche Grundlagen Aktivitäten und Projekte 2001; JB; Meier R.; 01.2002; DE; 14 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220228

Finalisation du module de l'EPFL pour les tests de réponse; Rapport final; Laloui L.; Steinmann G.; EPFL/DGC/LMS; 11.2002; FR; 38 p.; F&E; Sfr. 25.00; Nr. 220188

IEA PVPS Task 7, Education & training material for architects; CD-Rom; Enecolo AG; 11.2002; EN; CD-Rom; F&E; Sfr. 10.00; Nr. 220209

IEA PVPS Task 7, Project results and documents; CD-Rom; Enecolo AG; 11.2002; EN; CD-Rom; F&E; Sfr. 10.00; Nr. 220210

Miet-Solarboot auf dem Zürichsee; SB; Schmid R.; SSES Regionalgruppe Zürich; 11.2002; DE; 48 S.; P&D; Sfr. 25.00; Nr. 220215

Bâtiments

Grundlagen für freiwillige CO₂-Vereinbarungen und Verpflichtungen im Gebäudebereich; Markt-, Interessen- und Akzeptanzanalyse; Ott W.; Kaufmann Y.; Arend M.; 01.2002; DE; 100 S.; F&E; Sfr. 46.00; Nr. 220207

Pompe à Chaleur air-eau à Haute Température; Phase 2: Concept amélioré du cycle à injection, essais journaliers et avec booster et analyse thermo-économique; Rapport final; Zehnder M.; Marechal F.; Favrat D.; Schiffmann J.; Guex St.; EPFL/DME/LENI; 11.2002; FR; 109 p.; F&E; Sfr. 63.00; Nr. 220219

Kleinwärmepumpe mit Ammoniak; Phase 3; JB; Geisser E.; Kopp Th.; Hochschule Rapperswil; 12.2002; DE; 8 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220221

Méthodes de traitement de surface pour obtenir une diminution du givrage; JB; Hoffmann P.; EPFL/MER; 12.2002; DE; 5 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220222

Wärmepumpentest für kombinierte Raumheizung und Warmwasserbereitung; JB; Montani A.; Fachhochschule beider Basel; 12.2002; DE; 9 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220223

CEN TC 113, Vertretung der Schweiz WG7, WG8 und WG9; JB; Roth St.; Ehrbar M.; Montani A.; Eggenschwiler K.; NOK; 12.2002; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220225

Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen; JB; Wanner O.; Panagiotidis V.; Siegrist H.; EAWAG; 12.2002; DE; 8 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220226

Migration d'huile dans les pompes à chaleur; JB; Zehnder M.; Favrat D.; EPFL/DME/LENI; 12.2002; FR; 7 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 220227

Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen; JB; Shafai E.; Gabathuler AG; 12.2002; DE; 8 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 220231

Seasonal performance calculation for residential heat pumps with combined space heating and domestic hot water production; Annual report; Afjei Th.; Wemhöner C.; Fachhochschule beider Basel; 12.2002; EN; 11 p.; F&E; Sfr. -; Nr. 220232

Regulierung der Verteilnetzpreise zu Beginn der Marktöffnung; JB; Filippini M.; Wild J.; Luchsinger C.; ETHZ CEPE, WEC; 12.2001; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 210354

Verminderung des Treibstoffverbrauchs: Instrumentenevaluation; JB; Maibach M.; Amt für techn. Anlagen; 12.2000; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; Nr. 200343

Vorstudie Kleinwasserkraftwerk an der Thur im Roos der Chemie-Faser Ebnat AG; Sanierung und Ausbau des bestehenden Niederdruck-Kraftwerk; SB; Burri J.; Binder F.; Chemie-Faser Ebnat AG; 10.2002; DE; 63 S.; F&E; Sfr. 35.00; Nr. 220176

Potenzial- und Standortabklärungen für ein Windenergieprojekt auf dem Gotthardpass; SSB; Kapp Ch.; Schwer P.; Brenni R.; NEK Umwelttechnik AG; 10.2002; DE; 167 S.; P&D; Sfr. 81.00; Nr. 220173

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: _____

ENET

Réseau pour l'information et le transfert de technologie en matière d'énergie
 Egnacherstrasse 69 • CH-9320 Arbon
 Tél. 071 440 02 55 • Tél. 021 312 05 55
 Téléfax 071 440 02 56
 enet@temas.ch • www.energieforschung.ch

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

