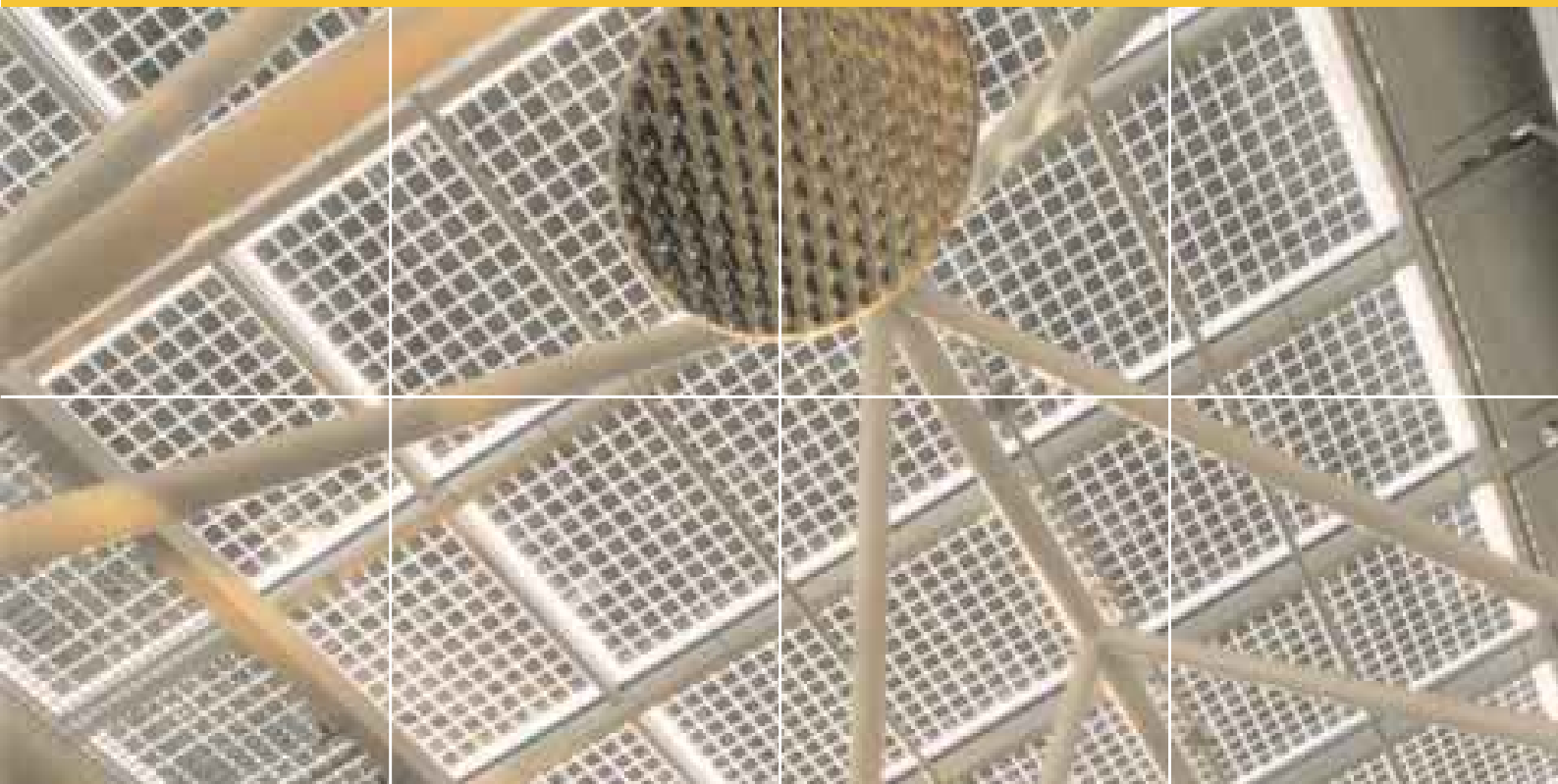


Avril 2002

ENET NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique



Biomasse
L'étincelle met le feu

Photovoltaïque
Des résultats de recherche bien tangibles

Transports
Beaucoup d'intelligence sur deux roues

www.energieforschung.ch

 **suisse énergie**



OFEN

Expo.02 et ses projets énergétiques durables.....4
PENTA PROJECT – Connaissances actuelles en installations du bâtiment.....5

CORE

Participer à la croissance6

ENET

Évolution réjouissante8

Transfert de technologie

Simplifier la collaboration.....9

Fondements de l'économie énergétique

L'énergie du gaz en voie de libéralisation 10



Biomasse

L'étincelle met le feu11

Énergie éolienne

Les régions alpines en point de mire.....12

Chimie solaire

Hydropôle, le centre de compétence13

Bois

Directement en courant et en chaleur14

Photovoltaïque

Des résultats de recherche bien tangibles16
Minces et souples18
TISO: à la recherche des caractéristiques des modules20
Symposium photovoltaïque 2002.....21
Une meilleure intégration.....22
Des hauts et des bas24



Petits aménagements hydrauliques

Informier et promouvoir.....25

Chaleur ambiante

Exploiter les rejets thermiques industriels 26
L'utilisation des pompes à chaleur de grande puissance26

Bâtiments

Mise en discussion de Minergie-P.....27
Le standard de la "maison passive", un saut significatif.....28

Électricité

étiquetteEnergie : vers des appareils électriques moins gourmands.....29

Énergie nucléaire

Se prémunir contre l'improbable30

Transports

Beaucoup d'intelligence sur deux roues....32
Moins de carburant et d'émissions34

Piles à combustible

HXS 1000 Première a obtenu son certificat33

Manifestations9

Nouvelles publications35

Impressum

ENET-NEWS
Nouvelles de la recherche énergétique

Avril 2002 / N° 51

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

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

Adresse postale
Case postale
CH-3003 Berne

Rédaction
ENET Communication
Jürg Wellstein
Parkstrasse 15
CH-4106 Therwil

Tél. +41 61 726 92 18
Téléfax +41 61 726 92 11
enet.kommunikation@bro.ch

Annonces:
ENET Communication
Administration
Tél. +41 61 726 92 20
téléfax +41 61 726 92 41

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

Des cellules solaires intégrées à un vitrage isolant, une solution architectonique intéressante pour la verrière du toit. Un bel exemple: le centre commercial de la Migros à la Limmatplatz à Zurich.
(Photo: energiebüro, CH-8005 Zurich)

Pour des initiatives privées afin de réduire les émissions de CO₂

La recrudescence de la terreur est incontestablement liée à la boulimie énergétique du monde occidental et à son comportement pour assurer l'approvisionnement en pétrole. Nous devrions prendre conscience que notre culture occidentale n'est pas l'unique au monde ni la seule valable. Indépendamment de tout changement climatique éventuel, il est certain que nous devons réduire considérablement notre consommation d'énergie primaire en raison de la disponibilité des réserves fossiles accessibles à un prix abordable et en raison de l'instabilité politique des pays disposant de gisements pétrolifères importants.

Le 1^{er} mai 2000, le Conseil fédéral a mis en vigueur la loi sur le CO₂ dans le dessein de contribuer à la réduction des émissions de ce gaz par le biais d'une utilisation plus rationnelle de l'énergie. Sur une base volontaire, les quantités de CO₂ émises devront, par rapport à leur niveau de 1990, être réduites de 10% d'ici 2010. Si cet objectif n'est pas atteint, le Conseil fédéral peut, à titre subsidiaire, introduire une taxe sur les combustibles et carburants d'origine fossile (pour l'essence, par exemple, au plus 50 centimes par litre) ou édicter des normes sur les émissions de CO₂. Des prescriptions demandant un comportement plus raisonnable ne devraient pas être nécessaires dans une civilisation bien développée. C'est bien au contraire par des mesures volontaires que ces objectifs sensés devraient être atteints.

Le secteur des transports joue ici un rôle important. Il est donc réjouissant qu'*auto-suisse*, l'association des importateurs suisses d'automobiles, se soit engagée avec ses membres à réduire la consommation normalisée moyenne de carburant de la flotte des voitures neuves de 8,4 litres aux 100 km en 2000 à 6,4 litres à la fin de 2008. Cet objectif peut être atteint sans changement des habitudes de consommation, par des améliorations techniques et les investissements correspondants. Malgré tout, ce serait magnifique si, modifiant ses habitudes, le consommateur choisissait plus souvent des voitures à faible consommation.

La durabilité sous-entend une consommation modérée d'énergie. Cette condition préalable satisfaite, il sera possible de couvrir une grande partie des besoins en énergie par la biomasse. L'hydrogène, tiré des déchets de bois et exempté de l'impôt, serait aujourd'hui déjà compétitif par rapport aux carburants fossiles qui, eux, sont soumis à l'impôt. Nous sommes cependant conscients qu'un certain nombre d'aspects techniques restent à élucider.

La recherche énergétique est primordiale, dans le cadre d'un approvisionnement énergétique qui réponde aux critères d'un développement durable de notre planète, pour la mise au point de solutions intéressantes à moyen et long terme. Des projets pilotes et de démonstration doivent être réalisés pour les technologies suffisamment développées et dont la rentabilité s'avère prévisible.

Dans le contexte des mesures volontaires prévues par la législation sur le CO₂, on peut se demander s'il ne serait pas judicieux de créer une sorte de "Fonds national de la recherche éner-

gétique", un "NEFF" sous une nouvelle forme. Ce serait le moyen de disposer de ressources supplémentaires, utilisables uniquement dans le dessein fixé. Le premier NEFF qui fut d'une grande efficacité employa ses ressources de manière appropriée sans intervention excessive des politiques ; il fit bouger les choses. Ce serait vraiment magnifique si les décisionnaires de la Suisse pouvaient une nouvelle fois s'enthousiasmer pour cette idée, comme contribution volontaire à la mise en œuvre de la loi sur le CO₂. Le but serait d'encourager des projets relevant de l'utilisation rationnelle de l'énergie et de la production durable d'énergie finale. À titre indicatif : 2 centimes par litre d'essence rapporteraient 100 millions de francs ; cela correspond à moins de 30 francs par automobiliste et par année pour un parcours moyen de 15'000 km !

Meinrad K. Eberle

Directeur de l'Institut Paul Scherrer, Villigen

„For American business values to continue to thrive, they will have to change, at least outside the US, and take into account goals other than simply boosting quarterly profits. Employee welfare, local cultures, environmental concerns, and nongovernmental activities will have to be dealt with.“

*Citation tirée de l'article
"The American Way",
Fortune N° 24, 2001.*

Expo.02 et ses projets énergétiques durables

L'Expo.02 offre l'occasion de communiquer de façon optimale la stratégie prévue pour une utilisation de l'énergie soucieuse de l'avenir

Nous n'en avons encore jamais été si proches ! Dans quelques semaines débute Expo.02. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) subventionne plusieurs projets en rapport avec l'énergie et avec la stratégie du programme SuisseEnergie ; ainsi, la pro-

motion des sources d'énergie renouvelables et celle de l'amélioration de l'efficacité énergétique devraient être influencées durablement.

ExpoEnergy récompense la production écologique d'énergie

Cette action a pour but de compenser les besoins en énergie engendrés par Expo.02 grâce à de nouvelles installations décentralisées de production d'énergie par voie renouvelable et à des mesures d'économie dans les bâtiments. De cette manière, le bilan énergétique de l'exposition nationale sera équilibré. Plus des deux tiers de ces besoins en énergie, estimés à 30 GWh, sont déjà couverts. À l'échelle du Pays, l'effet à long terme est réalisable. Les heureux bénéficiaires des billets gratuits pour Expo.02, offerts par ExpoEnergy, ont exprimé clairement qu'ils sont conscients de la problématique énergétique.

Naturemade Star, fournisseur d'énergie

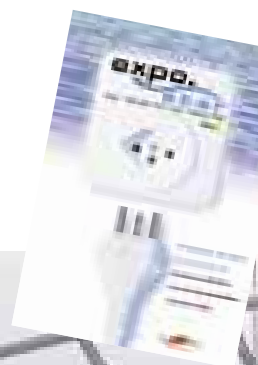
Le concept énergétique d'Expo.02 prévoit un approvisionnement en énergie efficace et durable, pour l'électricité également. L'exploitation des arteploges se fera exclusivement avec du courant répondant aux conditions du label *Naturemade Star*. Celui-ci garantit des critères de production ménageant l'environnement. Sur place, les visiteurs pourront s'informer de l'offre d'électricité écologique en Suisse.

Flying Fish – Notre force: les énergies nature

Flying Fish, le label écologique d'Expo.02, distingue les exposants et les exploitants d'installations qui appliquent des solutions énergétiques orientées vers le futur. Il tient compte également du recours à des agents énergétiques renouvelables. *Flying Fish* présuppose, par exemple, la définition d'objectifs énergétiques, le déclenchement systématique des systèmes et des appareils non utilisés, la construction au moyen de



Des bateaux solaires, dont la mise au point a été soutenue par l'OFEN, circulent sur le lac de Morat.



Liens Internet

Notre exposition nationale 2002
www.expo.02.ch

L'accès au programme de l'OFEN
www.suisse-energie.ch

Action pour des projets énergétiques durables
www.expoenergy.ch

Tout sur l'événement sportif d'Expo.02
www.gigathlon.ch

Le nouveau nom pour l'électricité, le gaz naturel, l'énergie thermique et l'eau
www.swisspower.ch

*Les portes d'Expo.02 s'ouvrent bientôt, également sur les galets de l'arteplog de Neuchâtel.
(Photo: Expo.02/Yves André)*



SuisseEnergie en voyage en Suisse

En juillet 2002 aura lieu le gigathlon de *Swisspower*, une contribution du sport suisse à Expo.02. Depuis septembre dernier, *Swisspower* désigne les services industriels de 20 villes et communes suisses qui offrent des produits et des services dans les domaines de l'électricité, du gaz naturel, de l'énergie thermique et des eaux.

Le gigathlon conduira d'Yverdon-les-Bains à Bienne, en faisant le tour de la Suisse ; en sept jours, il permettra de se mesurer dans quatre disciplines de difficulté moyenne, dans différentes catégories, sur terre comme sur l'eau, en traversant lacs et rivières.

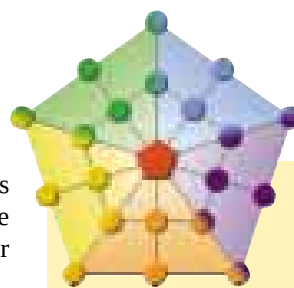
Une équipe de SuisseEnergie y prendra part également ; avec ses bonnes connaissances de base, elle relèvera le défi énergétique et, à côté de la contribution sportive à l'Expo, fera de la publicité pour SuisseEnergie.

matériaux réutilisables, etc. On obtient des points supplémentaires en faisant connaître au public les dispositions prises – l'acteur gagnant la sympathie de celui-ci.

Expo.02 innove dans ses déplacements

Pour la satisfaction de ses besoins propres, Expo.02 utilise trente véhicules à gaz. Ces voitures VW adaptées au gaz peuvent aussi rouler à l'essence ; toutefois, dans le cadre de l'Expo, elles fonctionnent au biogaz ou au gaz naturel. Des stations services adéquates ont été aménagées sur les quatre sites.

Ces véhicules ouvrent la voie à de futurs carburants durables extraits de la biomasse ou produits à l'aide d'une source d'énergie renouvelable (comme, par exemple, l'hydrogène). Mais le gaz naturel, en tant que carburant, conduit aussi à une diminution des émissions de polluants par rapport aux véhicules classiques à essence ou au diesel. Le projet est financé par quatre partenaires : Expo.02, AMAG, l'Association suisse de l'industrie gazière (ASIG) et SuisseEnergie.



PENTA PROJECT – Connaissances actuelles en installations du bâtiment

C'est en août 2002 que débutent les premiers cours de formation organisés dans le cadre de PENTA PROJECT. Plus de vingt organisations professionnelles des corps de métier actifs dans le domaine des sources d'énergie renouvelables ont décidé de développer ensemble un système de formation continue commun, adapté au marché. Une formation continue reconnue doit être offerte aux spécialistes en installations du bâtiment et, par la suite, aussi aux personnes ayant passé les examens professionnels supérieurs (maîtrise), de même qu'aux techniciens ET, afin que tous puissent répondre aux exigences toujours plus grandes du marché et de la technique.

Le PENTA PROJECT est structuré par modules, pour l'instant au nombre de cinq :

- Principes et connaissances de base en énergétique et technique du bâtiment
- Énergie du bois
- Énergie de l'environnement – Pompes à chaleur
- Énergie solaire (thermique et électrique)
- Communication et vente – Convaincre avec les arguments appropriés.

Le développement du projet PENTA PROJECT jouit de l'appui déterminant du programme SuisseEnergie de l'Office fédéral de l'énergie OFEN.

info @ pentaproject.ch
www.pentaproject.ch



Véhicules à gaz de l'Expo.02 :
Hajo Leutenegger et Hans-Luzius Schmid,
directeur du programme SuisseEnergie
(à droite), remettent les clés à Nelly Wenger.

Participer à la croissance

Les applications du photovoltaïque se répandent dans le monde entier. Pour la CORE, c'est depuis longtemps une technologie d'avenir

La CORE (Commission fédérale pour la recherche énergétique) supervise les stratégies fondamentales de la recherche énergétique et met au point des lignes directrices pour les instances décisionnelles de la Confédération. Membre de la CORE, Martha Lux-Steiner, professeur à l'Université libre de Berlin depuis 1995, directrice du Département de recherche en énergie solaire de l'Institut Hahn-Meitner de Berlin et porte-parole du Directoire du Groupement de la recherche en énergie solaire en Allemagne, nous fait part de ses considérations sur la situation internationale du photovoltaïque.

ENET-NEWS: Vous êtes membre de la CORE depuis un an. Quelle est votre impression de cette commission ?

Martha Lux-Steiner: Grâce à une coopération où règne la bonne entente, la recherche de solutions créatives est au centre de toutes nos discussions. Cette commission réunit les points de vue et les compétences les plus divers, ce qui donne du poids à ses prises de position dans le domaine de la recherche énergétique. J'ai l'impression que nous poursuivons peut-être un trop grand nombre d'activités particulières de recherche et de développement avec, pour conséquence, de fractionner parfois les contributions à la recherche et d'en perdre l'efficacité. C'est là un des plus grands défis auquel la CORE doit faire face dans sa fonction de conseil.

En tant que chercheuse dans le domaine photovoltaïque, quel est votre avis sur la situation internationale de cette technologie ?

Le développement intensif des cellules photovoltaïques au silicium cristallin, commencé il y a déjà vingt ans, constitue la pierre angulaire de l'énorme croissance actuelle du marché. L'augmentation considérable de la production (qui a dépassé 40% en l'an 2000) a été favorisée par les vastes pro-

grammes de promotion japonais et allemands. Le rendement effectif des modules photovoltaïques au silicium est passé à 13% environ, tandis que les coûts de fabrication ont diminué. La recherche est toutefois plus nécessaire que jamais: il faut créer les cellules photovoltaïques de l'avenir à partir de matériaux nouveaux et de leur combinaison.

Selon vous, sur quels points la recherche et le développement doivent-ils se concentrer ?

D'une part, nous sommes confrontés aujourd'hui à la question suivante: quels problèmes doivent-ils être résolus pour une plus grande efficacité de production des cellules photovoltaïques ? Je pense ici, par exemple, aux efforts en cours pour fabriquer des cellules photovoltaïques de grande surface, efforts à soutenir en vue d'améliorer la productivité. D'autre part, de nombreux instituts de recherche sont en train de tester de nouvelles technologies et des combinaisons de matériaux. Parmi ceux-ci, on compte également des chercheurs en Suisse qui, grâce à leurs visions à long terme, sont

Martha Lux-Steiner:
“Les programmes de promotion doivent avoir une influence durable également sur l'économie en général.”

à la pointe de la recherche internationale. À ce propos, relevons notamment la technologie du silicium amorphe et micro-cristallin en couche mince.

Quelle sera l'importance du photovoltaïque pour la production énergétique du futur ?

Nous pouvons faire des estimations très diverses et parvenir à des résultats étonnants. Quoi qu'il en soit, bien que le photovol-

taïque ne contribue actuellement que de façon marginale à la production d'énergie, il aura, d'un point de vue global, une place importante à l'avenir dans la production d'énergie. Le photovoltaïque pourrait de-



Martha Lux-Steiner: Nous avons besoin de cellules photovoltaïques de plus grande surface; la productivité de leur fabrication s'en trouvera améliorée.



La recherche actuelle sur les cellules photovoltaïques : une exploration des combinaisons de matériaux du futur. (Photo: Institut Hahn-Meitner, Berlin)

venir un bien d'exportation très intéressant pour la Suisse. Quant à la mise en œuvre des programmes promotionnels, il convient d'essayer de diriger la recherche et le développement de façon à ce qu'ils s'adaptent mieux à la production et au marketing afin de produire un effet durable sur l'économie et sur l'utilisation de l'énergie.

Louis Schlapbach, directeur du LFEM/EMPA, est responsable du suivi du programme de recherche photovoltaïque au sein de la CORE. Son activité dans le domaine de la recherche fondamentale l'a porté à s'occuper de questions relatives à la science des matériaux dans le domaine du stockage de l'hydrogène pour les applications mobiles.

ENET-NEWS: Concernant la recherche énergétique, quelle stratégie fondamentale pouvez-vous conseiller à l'OFEN et au DETEC ?

Louis Schlapbach: Toute technologie à succès repose sur des recherches qui, en se fondant sur des considérations globales tenant compte de tous les facteurs, sont parvenues progressivement à résoudre un problème. Pour cette raison, pouvoir apporter une réponse à nos questions énergétiques du futur justifie pour l'OFEN la promotion bien ciblée de la recherche fondamentale et

celle des développements subséquents. Ces thèmes sont régulièrement abordés au sein de la CORE. Dans un climat de travail informel et ouvert, nous communiquons nos suggestions à l'Office fédéral ainsi qu'à ses chefs de programme.

Comment jugez-vous la place attribuée à la recherche photovoltaïque en Suisse ?

Nous avons des équipes très qualifiées dans divers instituts et universités ainsi que dans



*Louis Schlapbach:
En Suisse,
nous avons une
recherche photovol-
taïque solidement
constituée.*

les Écoles polytechniques fédérales. La réputation internationale de ces spécialistes n'est plus à faire. Nombre de personnes de la branche pensent que la mise en œuvre par la commercialisation devrait être améliorée ; les principaux obstacles ne proviennent pas

Louis Schlapbach:
**“Le tournant dans le domaine
de l'énergie commence par la
formation.”**

des aspects technologiques. Il faudra que tous les participants fassent des efforts soutenus afin de réduire au plus tôt le décalage entre les développements de laboratoire réussis et les produits commercialisables. Une mise en œuvre efficace est plus que jamais nécessaire.

Quelles sont les mesures nécessaires pour cela ?

Il nous faut commencer par le début, c'est-à-dire parler de sensibilisation dans l'éducation, citer la formation des corps de métier et reconnaître la nécessité d'une meilleure intégration des thèmes liés à l'énergie dans les cercles académiques. Il faut donc examiner également les aspects sociologiques. Mais il nous faut aussi prendre certaines décisions politiques. Il

deviendra alors tout à fait naturel d'approvisionner les immeubles par l'énergie solaire. L'opportunité à saisir aujourd'hui réside dans le fait que la plupart des développements d'avenir dans le domaine énergétique sont de type High-Tech. Si nous faisons passer le message sous cette forme, nous induirons aussi directement la motivation nécessaire.

Liens Internet

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

L'Institut Hahn-Meitner de Berlin
www.hmi.de

Tests de matériaux et activités de recherche du LFEM/EMPA
www.empa.ch



Évolution réjouissante

Le Service de documentation d'ENET en 2001

**Annemarie
Gemperli**
ENET
CH-9320 Arbon

Envoi de publications R&D et P&D

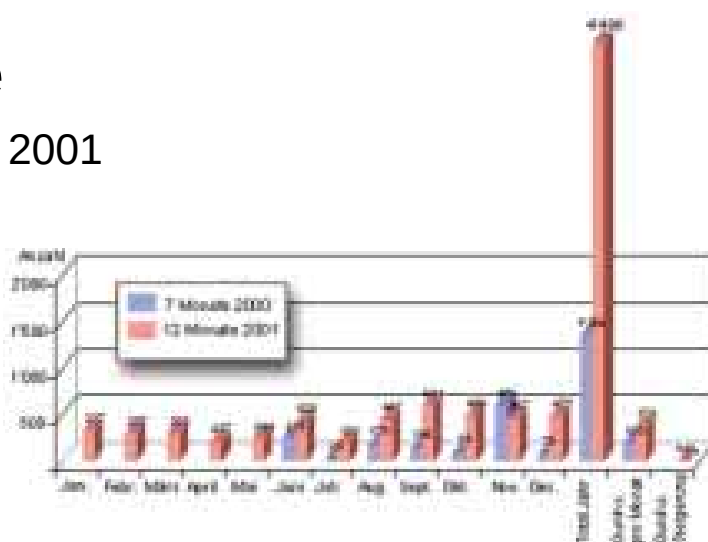
La demande de publications du domaine de l'énergie a augmenté de façon significative durant l'année écoulée. La nouvelle présentation donnée à la page d'accueil www.energieforschung.ch avec son service de commande en ligne, de même que le service *ENET-News-Ticker* et le périodique *ENET-NEWS*, ont contribué à ce résultat.

En 2001, 375 publications en moyenne ont été distribuées chaque mois. En 2000, dès le mois de juin, ce nombre s'élevait à 193 par mois. Aujourd'hui, plus de 6'000 publications sont disponibles en ligne. Les nouvelles parutions sont intégrées régulièrement à la base de données en ligne, en général avec un résumé. De plus en plus fréquemment, une version en format "pdf" est disponible dans cette banque de données. Les livraisons de publications depuis le dépôt et celles des documents "imprimés à la demande" sont effectuées par courrier postal deux fois par semaine.

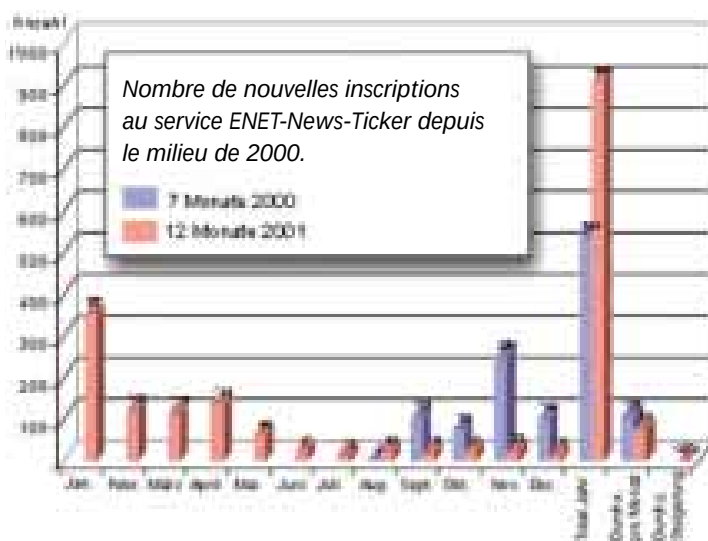
*Centres d'intérêts
de la clientèle du
service ENET-News-
Ticker : nombre des
personnes enregis-
trées et nombre des
News-Tickers
envoyés en 2001.*

Le service ENET-News-Ticker

Le service *ENET-News-Ticker* fournit chaque semaine aux intéressés préalablement enregistrés des nouvelles en rapport

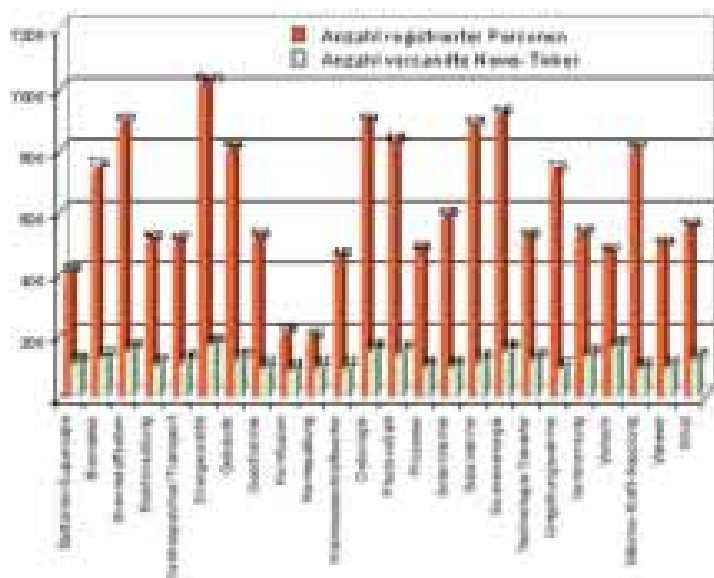


Nombre de publications livrées mensuellement depuis le milieu de 2000.



avec les secteurs du domaine de l'énergie qu'ils ont choisis. Ces brefs messages électroniques résument les informations les plus importantes concernant les nouveautés signalées et indiquent les adresses Internet correspondantes.

Dans le courant de l'année 2001, le nombre des intéressés enregistrés a augmenté continuellement, passant de 500 à plus de 1'400 personnes. Et ce n'est pas terminé. La plupart des programmes de recherche suscitent un intérêt considérable, comme le confirment le diagramme montrant le nombre des personnes enregistrées et celui des envois de *News-Tickers*.



Transfert de technologie

Simplifier la collaboration

Un transfert efficace de technologie se base, entre autres, sur une bonne collaboration nationale et internationale. C'est ce qui donne à la recherche des meilleurs partenaires de projet toute son importance, que ceux-ci viennent du monde industriel ou des institutions publiques. L'Office fédéral de l'énergie encourage les prises de contact y conduisant, en particulier en insérant des travaux de recherche dans les projets de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE).

Actuellement, dans le cadre de l'AIE, de nouveaux projets sont en cours de lancement dans divers domaines (voir liste ci-dessous). Tout nouvel intéressé suisse est le bienvenu.

- **Systèmes d'énergie marine** ("Ocean Energy Systems"): analyse des systèmes existants et développement de nouveaux systèmes. Jusqu'à présent, des institutions de plusieurs pays, tels que le Danemark, le Portugal, la Grande-Bretagne, la France, les USA ainsi que la Commission de l'UE ont annoncé leur participation.
- **Lumière et énergie** ("Light and Energy"): les nouvelles technologies et leur commercialisation. Jusqu'à présent, dix pays adhèrent provisoirement au projet.
- **Technique de séparations** ("Separations Technology"): membranes et séchage thermique. Le Canada, la Finlande, l'Allemagne et les Pays-Bas ont donné leur accord, tandis que dix autres pays envisagent une participation.
- **Pêche** ("Fisheries"): procédés d'efficacité énergétique élevée. L'Australie, le Canada, la France, la Norvège, la Grande-Bretagne et les USA participent à ce projet.
- **Réseaux électriques** ("Electricity Network R&D"): technologies, systèmes, logiciels. Neuf pays sont intéressés.
- **Technologie de la fusion nucléaire** ("Spherical Tori"). Participants déclarés: les USA, la Grande-Bretagne et éventuellement le Brésil.

L'Office fédéral de l'énergie fournira aux intéressés, par l'intermédiaire des responsables de domaine et des chefs de programme, de plus amples informations et un soutien pour la prise de contact, les questions de procédure et le financement. Veuillez vous adresser à Christophe de Reyff à l'OFEN, 3003 Berne.

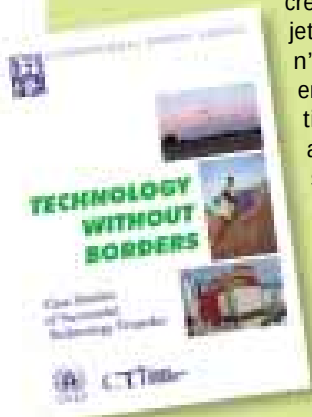
E-mail: christophe.dereyff@bfe.admin.ch

"Technology without Borders"

La nouvelle brochure de l'AIE contient des études de cas consacrées à des projets réussis ayant eu pour objet le transfert de technologie. Du fait qu'il n'y a pas de recette générale pour la mise en œuvre des résultats des recherches relatives au climat, sous la forme de produits adaptés au marché, chaque cas doit être suivi avec des moyens et un soutien spécifiques. Pour cette raison, ces études de cas offrent les indications pratiques nécessaires.

Informations:

www.iea.org/public/studies/cti.htm



Avril	
11	EPIQR 1.0 Cours à Lausanne, Fribourg et Genève sur les logiciels EPIQR de rénovation des immeubles info@epiqr.ch
11, 25	Passivhaus konkret En savoir plus sur le concept de la "Maison passive" HES de Lucerne www.hta.fhz.ch
12	Projets géothermiques d'importance nationale Berne www.geothermal-energy.ch
22	Earthday 2002 Journée mondiale de l'environnement www.earthday.net
25	Moderner Holzbau und Solar-Architektur Energie-Apéro: HES d'Olten oka @ okapublic.ch
Mai	
6	Energieeffizient Bauen – Nutzen und Kosten Riesiges Stromeffizienzpotenzial aktivieren Energie-Apéro: HES de Berne oka @ okapublic.ch
7, 14, 28	Passivhaus konkret 3 journées de cours consacrées à 5 modules – LFEM/EMPA Dübendorf www.empa.ch
16–17	Symposium photovoltaïque national 2002 Lugano-Canobbio www.vse.ch
23	Erneuern, Umnutzen, Verstärken von Holzkonstruktionen Conférence LFEM/EMPA et HSR, à la HES de Rapperswil www.hsr.ch et www.empa.ch
24	étiquetteEnergie – À l'avenir, l'efficacité électrique Service de l'électricité de la Ville de Zurich – ewz www.energiestiftung.ch
28	Minergie und Solarenergie Energie-Apéro: HES de Berthoud oka @ okapublic.ch
31	Integriertes Management der baulichen Infrastruktur LFEM/EMPA, Dübendorf www.empa.ch
Juin	
10	(R)evolutionieren adaptive Werkstoffsysteme die Technik? Apéro scientifique au LFEM/EMPA, Dübendorf www.empa.ch
11	Gross-Wärmepumpen 9 ^e Séminaire UAW, HES de Berthoud www.waermepumpe.ch/fe
26–29	Sun21 – 5^e Forum international de l'énergie Centre de congrès "Messe Basel", Bâle www.sun21.ch
Juillet	
1–5	Fuel Cell 2002 5 th European SOFC Forum, KKL Lucerne www.efcf.com
Septembre	
4–6	11th SolarPACES Int. Symposium on Solar Power and Chemical Energy Systems, EPF Zurich www.solarpaces2002.ch
12–13	L'énergie et l'environnement dans le bâtiment 12 ^e "Status-Seminar" suisse, 2002 EPF Zurich www.empa.ch/zen

Calendrier de l'énergie mars – août 2002

La vue d'ensemble par ordre chronologique des possibilités de formation, de base ou continue, et des manifestations du domaine de l'énergie. Ce dépliant s'obtient gratuitement auprès de OFEN, Corinne Voirol, CH-3003 Berne
E-mail: [corinne.voirol @ bfe.admin.ch](mailto:corinne.voirol@bfe.admin.ch)

L'énergie du gaz en voie de libéralisation

Deux études enquêtent sur l'ouverture du marché du gaz

Ruedi Meier

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

Martin Beck

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

Électricité: importation ou production indigène à partir du gaz ?

L'étude Prognos, commandée par l'OFEN, porte sur une liste de questions qui résultent de la libéralisation des marchés énergétiques européens, laquelle aura un effet sur la Suisse, en particulier à cause de l'ouverture progressive du marché européen du gaz. Le gaz naturel est de plus en plus utilisé pour produire de l'électricité, car les centrales qui effectuent cette transformation offrent des avantages techniques et économiques évidents. C'est pourquoi les installations d'au moins 100 MW_{el} (ou 50 MW_{el} avec CCF) représenteront, vers la fin de la décennie en cours, une voie possible pour la production d'électricité en rapport avec les futurs besoins en énergie.

Comparée à d'autres agents énergétiques fossiles, la production d'électricité à partir du gaz naturel présente des avantages économiques et climatiques certains, grâce à son rendement élevé et grâce à des émissions de CO₂ relativement basses. À l'avenir, ces avantages seront même en faveur du renforcement de son utilisation pour la production d'électricité en ruban. Ainsi, vers la fin de cette décennie, lorsque les surcapacités actuelles du marché européen de l'électricité auront été résorbées, ce type de centrale pourra s'avérer être une option réaliste. Au moment de choisir

entre l'importation d'électricité et la production indigène à partir du gaz, il conviendra d'en prendre en considération les conséquences, notamment en termes de coûts, d'émissions, de consommation d'énergie primaire, ainsi que de sécurité d'approvisionnement. À long terme, il semble que la production indigène d'électricité à partir du gaz soit légèrement plus favorable d'un point de vue économique. Toutefois, l'analyse ne dégage pas de conclusion nette en faveur de l'une ou de l'autre des variantes. Il faudra encore observer l'évolution des prix de l'électricité et du gaz en particulier.

Ouverture du marché du gaz

Quels peuvent être les effets d'une ouverture possible du marché du gaz ? La recherche effectuée par econcept expose les conséquences de ce projet de loi sur la consommation et les prix de l'énergie, ainsi que sur l'environnement. Deux scénarios montrent l'influence que pourrait avoir ce projet de loi sur le calcul du prix du gaz naturel par rapport à celui du mazout. Toutefois, l'industrie gazière a toujours été exposée à la concurrence sur le marché de la chaleur (par exemple, celle du mazout) et subit donc la pression des prix qui en résulte. Puisque, dans les contrats de livraison à long terme, les prix du gaz naturel sont liés respectivement à l'évolution des prix du mazout et du charbon, on peut supposer que ces prix continueront à évoluer en parallèle, même dans un marché ouvert. On s'attend pourtant à ce que le prix du gaz soit celui qui aura le plus à souffrir de l'ouverture du marché (jusqu'à -15%).

Une mutation possible du marché en faveur du gaz naturel, due à une baisse des prix, ne modifiera que modestement les émissions dans leur ensemble. Mais d'un point de vue global, l'ouverture du marché du gaz n'est pas comparable à celle du marché de l'électricité. La réglementation du transport et de la distribution influençant fortement les effets possibles d'un marché ouvert, il s'ensuit que les avantages recherchés dépendront de cette même réglementation.

Liens Internet

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

Ouverture du marché de l'électricité

Vous pouvez trouver sur Internet les exposés des conférences "Ouverture du marché de l'électricité – Contributions de la recherche en matière d'économie énergétique" qui se sont tenues le 22 novembre 2001 à Berne et le 22 mars à Zurich: www.ewg-bfe.ch, rubrique "Strommarkt".

www.ewg-bfe.ch

Études:

- Stromeinfuhr oder Gasverstromung im Inland; M. Sattler, W. Bohnenschäfer, M. Schlesinger; BFE/Prognos SA Bâle; 2001
- Marktöffnung im Gasbereich, Auswirkungen auf Energieverbrauch, Energiepreise, Umwelt sowie kompensierende Massnahmen; R. Dettli, B. Signer, Y. Kaufmann; BFE/econcept Zurich; 2001

L'étincelle met le feu

Même alimentée au biogaz, la turbine à gaz garde ses avantages

Markus

Widenhorn

ABB Suisse SA
Energie Services
CH-8050 Zurich

Daniel Würgler

Kompogas SA
CH-8152
Glattbrugg

Martin

Rüegsegger

Responsable du
domaine Biomasse
de l'OFEN

Une turbine à gaz peut-elle aussi fonctionner au biogaz ? Afin d'éclaircir la question, une turbine à gaz de 100 kW récemment implantée à Niederuzwil a été raccordée à l'installation locale "Kompogas" en service depuis 1998, qui traite un volume annuel d'environ 10'000 t de substances biogènes. C'est une première en Europe. Les combustibles habituellement utilisés dans les turbines à gaz sont le gaz naturel, les gaz pauvres (gaz combustibles contenant de l'air) et les mazouts. On teste le bon fonctionnement de la turbine avec son nouveau combustible, le biogaz, et on compare ses performances avec celles d'un moteur à combustion interne classique déjà en fonction sur le site (installation combinée chaleur-force modulaire). Mais il est tout aussi intéressant de faire des comparaisons avec la micro-turbine en service à Baden, qui fonctionne au gaz naturel. Ces essais sont effectués par les entreprises Kompogas et ABB, à l'initiative et avec l'aide de l'OFEN.



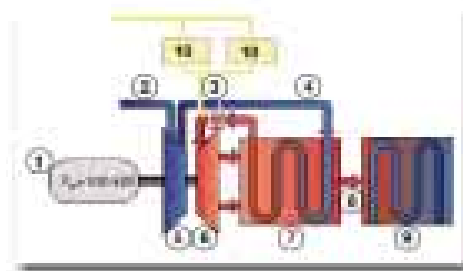
Une micro-turbine à gaz fonctionnant au biogaz a été raccordée récemment à l'installation "Kompogas" en service depuis 1998 à Niederuzwil.

suite en moins de 10 millisecondes, élevant rapidement la pression du mélange de 70 à 150 bar. Le gaz se détend ensuite dans les mêmes cylindres. Ainsi, les pièces mécaniques sont exposées à des contraintes importantes variant très rapidement; cela nécessite une lubrification et un refroidissement intensif des surfaces de frottement. La température de retour du circuit de prélèvement de la chaleur s'en trouve limitée.

Dans le cas de la turbine à gaz, l'air est comprimé en continu par un turbocompresseur à environ 5 bar; il est ensuite préchauffé dans le récupérateur de chaleur, puis introduit dans la chambre de combustion en même temps que le combustible. L'air est mélangé à la flamme permanente de façon bien dosée et progressive, l'excédent d'air pouvant aller jusqu'à 700 %. Ensuite, le gaz de combustion qui se trouve à la température de 950 °C se détend dans la turbine en aval, avec une pression qui passe de 5 bar à une valeur proche de la pression atmosphérique. Finalement, l'énergie calorifique résiduelle des gaz brûlés est récupérée pour préchauffer l'air à l'admission.

L'eau de chauffage est ensuite produite à l'aide d'un simple échangeur de chaleur. À 70'000 tours/min et avec des gaz de combustion à 950 °C, la turbine en acier spécial

doit certes résister à des contraintes importantes; mais celles-ci ne varient pas au cours du temps. Les roulements de la micro-turbine ABB sont situés dans la partie froide près du générateur. La partie chaude de la turbine n'a donc pas besoin d'être refroidie, ce qui réduit la consommation de lubrifiants et la fréquence des services de maintenance. L'échangeur de chaleur placé à l'échappement des gaz admet des températures de retour dépassant largement 100 °C. Cette température élevée est parfois une nécessité pour le consommateur de chaleur. Lors de l'exploitation au gaz naturel, la micro-turbine a donné pleinement satisfaction; les bonnes conditions de combustion permettent d'espérer d'excellentes valeurs d'émissions également lors du passage au biogaz. Dans un premier temps, on a réussi à mettre au point la fonction d'allumage sans apport supplémentaire de gaz naturel. Lors de l'étape suivante, des tests de longue durée permettront d'accumuler des informations sur la puissance, le rendement et la fiabilité de la micro-turbine.



Processus thermodynamique

- 1 générateur
- 2 admission d'air
- 3 chambre de combustion
- 4 air de combustion
- 5 compresseur
- 6 turbine
- 7 récupérateur
- 8 sortie des gaz d'échappement
- 9 échangeur de chaleur
- 10 compresseur à gaz.

Les régions alpines en point de mire

Des mesures promotionnelles ciblées en faveur de l'étude des potentialités de l'énergie éolienne dans les régions alpines

Robert Horbaty
Chef du
programme Énergie
éolienne de l'OFEN
c/o ENCO Sàrl
CH-4438
Langenbruck

**Markus
Geissmann**
Responsable du
domaine Énergie
éolienne de l'OFEN

Alors que l'exploitation de l'énergie éolienne témoigne d'une croissance étonnante sur un plan mondial, son développement en Suisse n'a progressé jusqu'ici que lentement. Avec l'installation en septembre 2001 de deux grandes unités nouvelles sur le Mont-Crosin, le parc d'éoliennes suisse représente actuellement une puissance installée d'environ 4,5 MW_e et produit annuellement quelque 5 GWh. Le DETEC désire porter à 50 voire 100 GWh par année la contribution de cette technologie en 2010. Les Offices fédéraux concernés comptent atteindre ce but par de grandes installations groupées sur des sites appropriés.

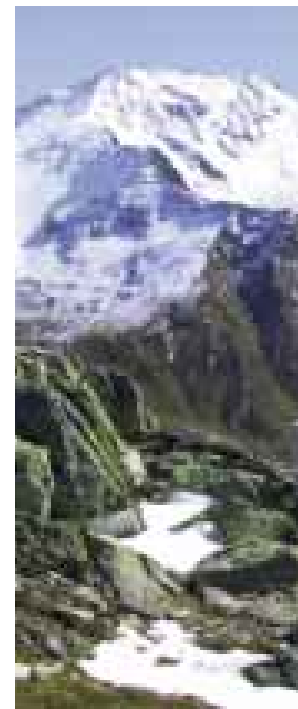
On demande de l'électricité en hiver

Le nouveau concept national de promotion, dont le point central est le dialogue, repose sur le fait que l'énergie éolienne est disponible particulièrement en hiver, quand la demande d'électricité est importante. L'énergie éolienne est une partenaire de la force hydraulique. La loi sur le marché de l'électricité (LME) va créer en Suisse des conditions-cadres qui amélioreront les chances de l'énergie éolienne; elle prévoit:

- le marquage distinctif de l'électricité produite
- pour les sources d'énergie renouvelables: la gratuité de l'acheminement par le réseau électrique pendant dix ans
- une tarification fixe pour l'injection dans le réseau

Plus haut que jamais

Dans quelques semaines, une nouvelle éolienne Lagerwey à entraînement direct, sans boîte à vitesse, sera installée à 2'332 m d'altitude, sur le site du Gütsch sur Andermatt choisi récemment; elle sera la plus haut placée du monde. Cette éolienne de 800 kW des Entreprises électriques d'Urseren (EWU) – un projet pilote et de démonstration subventionné par l'OFEN – servira à tester les aptitudes techniques et fonctionnelles en milieu alpin. Voici quelques détails techniques de l'installation: les trois pales du rotor sont chauffées à l'air chaud lors des grands froids, la masse des fondations (1'000 t) a été calculée pour que l'ensemble supporte des pointes de vent jusqu'à 63 m/s (227 km/h), et la sous-station de transformation est placée dans le bâtiment



La sous-station de transformation de l'éolienne du Gütsch sur Andermatt est placée dans le bâtiment servant de socle à la construction.
(Foto: EW Ursern)

Régulation de la puissance des éoliennes

La future éolienne du Gütsch est calculée pour atteindre ses performances maximales à une vitesse de vent de 13 m/s. La vitesse de décrochage, qui permet d'éviter les charges mécaniques excessives et les détériorations, est fixée à 25 m/s. Le réglage nécessaire se fait par l'intermédiaire de l'angle des pales du rotor.

www.windpower.org

Il y a en principe trois manières différentes de régler la puissance d'une éolienne moderne:

• Régulation à calage variable de pale (Pitch Control)

Dans ces éoliennes, dites à pas variable, l'angle des pales, qui peuvent tourner autour de leur axe longitudinal, est constamment ajusté de telle façon que la puissance de sortie de l'installation soit aussi élevée que possible. Si le vent est trop fort, elles sont finalement parallèles à celui-ci, ce qui freine le rotor.



• Régulation par décrochage aérodynamique (Stall Control)

Dans ces éoliennes, dites à pas fixe, l'angle des pales ne peut pas être modifié. Cependant, la géométrie de la pale est conçue de façon à ce que le décrochage aérodynamique (turbulences) se fasse graduellement le long de la pale, limitant ainsi la portance sur le rotor (pale vrillée). À des vitesses de vent élevées, la vitesse de rotation du rotor s'abaisse et la puissance produite diminue.



Trois méthodes à choix pour la régulation de la puissance d'une éolienne.

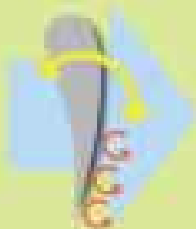


servant de socle, rehaussant ainsi le moyeu de cinq mètres.

L'emplacement du Gütsch a été choisi à la suite de simulations faites par Meteotest, à Berne, en s'appuyant sur les résultats de plusieurs années de mesures. Par ailleurs, ce site dispose d'une route d'accès et d'une infrastructure électrique. Ainsi les EWU se sont-elles offert un cadeau de jubilé exceptionnel pour leurs cent ans d'existence.

- **Régulation active par décrochage aérodynamique (*Active Stall Control*)**

Cette méthode combine les atouts des deux régulations précédentes et permet d'élargir le champ d'application de l'éolienne. La protection du rotor contre les surcharges à vitesse de vent élevée est réalisée en tournant les pales dans la direction opposée à celle dans laquelle une éolienne à pas variable l'aurait fait, ce qui provoque un décrochage aérodynamique plus prononcé qu'avec un angle fixe. La puissance fournie peut être réglée plus précisément que par le simple calage du pas.



Situations très différentes chez nos voisins

En Autriche, 138 éoliennes sont opérationnelles, totalisant une puissance installée de plus de 95 MW_e. Celles-ci sont situées pour la plupart dans l'est du pays, qui offre de nombreuses possibilités de raccordement au réseau et des accès faciles. Dans les régions alpines, on n'a construit à ce jour que peu d'installations. Ainsi, en 1999, la plus élevée d'entre elles se situait à l'altitude de 1'535 m.

Cependant qu'en France (objectif fixé: 500 MW_e en 2005) la situation est comparable à celle prévalant en Suisse, l'Allemagne a connu un essor qui fait figure d'exemple. Alors qu'en 1990, 488 éoliennes étaient en service, l'Allemagne en comptait 9'612 en mars 2001, correspondant grosso modo à une puissance installée de 6'000 MW_e. Au cours de cette période, le coût moyen par installation a diminué d'un facteur deux.

Mieux acceptées parce que mieux connues

L'amélioration de la rentabilité et de la fiabilité des éoliennes favorise dans le monde entier la poursuite du développement de cette source d'énergie. En 2001, les installations de la Juvent SA sur le Mont-Crosin ont été présentées à quelque 50'000 visiteurs; les discussions approfondies que suscitent ces nombreuses visites devraient avoir, en Suisse aussi, une influence positive sur la poursuite de la mise en œuvre de cette technologie.

Liens internet

Informations de l'OFEN sur l'énergie éolienne, rubrique "Énergies renouvelables":

www.suisse-energie.ch

Renseignements sur l'énergie éolienne en Suisse

www.suisse-eole.ch

Visite du parc d'éoliennes du Mont-Crosin
www.juvent.ch

Chimie solaire

Hydropôle, le centre de compétence de l'hydrogène

C'est à la fin 2001 qu'a été fondé Hydropôle, le nouveau centre de compétence pour la technologie de l'hydrogène, sous la forme juridique d'une association. Son objectif est de rendre possible, de manière rapide et souple, et grâce à une étroite collaboration entre les personnes dispo-



sant du savoir-faire, la mise en œuvre de systèmes et de produits futuristes. Dans ce but, un centre d'information et de contact est en voie d'être mis sur pied pour les secteurs de la production, de l'utilisation et de la logistique; parallèlement, un nouveau réseau va permettre les contacts les plus divers entre chercheurs et entrepreneurs. Hydropôle s'occupe aussi de la coordination des activités de développement et des mesures promotionnelles en rapport avec l'utilisation de l'hydrogène en Suisse.

Renseignements sur Hydropôle :
www.hydropole.com



Directement en courant et en chaleur

L'installation de gazéification du bois de Xylowatt produit électricité et chaleur pour la scierie Despond SA

Vincent Pittet

Xylowatt SA
CH-1618
Châtel-St-Denis

Daniel Binggeli

Responsable du
domaine Bois de
l'OFEN

Depuis six mois, l'installation de gazéification du bois de Xylowatt SA (Châtel-St-Denis) produit de l'électricité et de la chaleur pour la scierie Despond SA de Bulle. Les 4'000 m³ de déchets de bois produits chaque année sont utilisés dorénavant dans deux chaudières pour la production de chaleur et – c'est nouveau – également dans un gazéificateur. En collaboration avec l'Institut scientifique de Bangalore, une technique de gazéification du bois a été adaptée à l'utilisation en Europe. En Inde, on utilise depuis longtemps ce type de gazéificateur pour produire de l'électricité à partir des déchets biogènes.

Une production d'énergie basée sur des développements intensifs

Cette installation qui opère en contracting pour l'entreprise Despond SA est particulièrement bien adaptée, car l'entreprise dispose en permanence de déchets de bois et a un grand besoin de chaleur et d'électricité. L'installation consomme environ 60 kg de bois déchiqueté à l'heure; sa puissance électrique est de 60 kW et sa puissance thermique de 120 kW. La chaleur produite est injectée dans le réseau de l'entreprise pour sécher le bois et chauffer les bâtiments.

Les travaux de développement de l'installation de gazéification du bois ont été soutenus par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), par l'entreprise zurichoise Verenum, par les deux Écoles polytechniques fédérales (EPF), ainsi que par le fournisseur de moteurs Liebherr.

Déroulement de la production de chaleur et d'électricité

Le gaz est produit dans un réacteur dont la partie supérieure est ouverte, et qui est alimenté en bois déchiqueté par une vis d'Archimède. Après l'allumage, ces copeaux sont chauffés à 1'200 °C dans une atmosphère pauvre en oxygène, ce qui donne un gaz ayant un pouvoir calorifique élevé (4,9 MJ/m³). Ce gaz se compose, selon l'humidité du bois, de 51% d'azote, 19% de mo-

Vincent Pittet (à droite) de Xylowatt SA et Daniel Binggeli, responsable du domaine Bois de l'OFEN, près de l'installation de gazéification du bois qui fournit de la chaleur et de l'électricité à l'entreprise Despond SA.



noxyde de carbone, 16% d'hydrogène, 12% de dioxyde de carbone et 2% de méthane. La circulation du gaz et la dépression nécessaire dans tout le système sont produits par un ventilateur placé à la sortie. Le gaz atteint une température de 550 °C à la sortie du réacteur. L'énergie thermique est prélevée par des échangeurs de chaleur placés à cet endroit, ainsi que près du moteur à gaz et après le catalyseur situé dans le tuyau d'échappement; elle est délivrée au circuit d'eau du réseau (environ 900 MWh/an).

Le gaz de bois passe par trois étapes de nettoyage: un séparateur à cyclone pour les particules les plus grosses, une colonne de lavage, ainsi qu'un filtre à sable. La gazéification permet d'obtenir un rendement de 22% pour la production d'électricité à partir de l'énergie contenue dans le bois. Avec son moteur diesel, transformé pour fonctionner au gaz, et son générateur monté sur le même arbre, l'installation produit 400 MWh d'électricité par année. L'installation est automatisée et contrôlée à distance.



Un moteur diesel courant, mais transformé pour fonctionner au gaz, sert à la production combinée de chaleur et d'électricité.

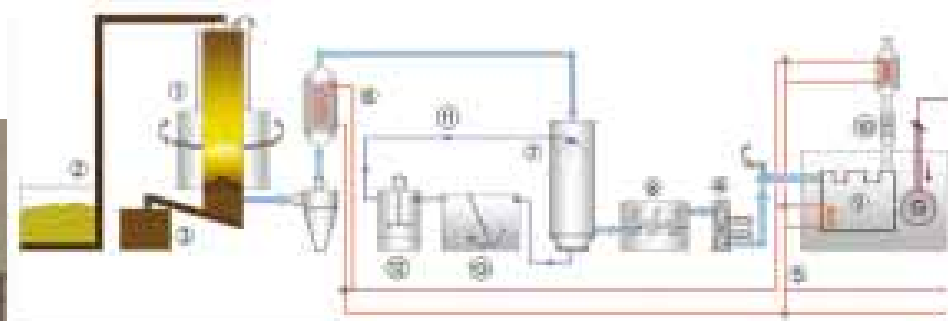
Autres recherches sur les matières premières

En principe, la production de gaz suivant ce procédé permet d'utiliser divers déchets biogènes, bien que la préférence aille au bois. Entre-temps, une étude plus appro-

fondie, réalisée dans le réacteur d'essai de Xylowatt SA, a permis de tester la puissance maximum et les émissions propres à sept matériaux combustibles: bois déchiqueté, déchets de bois, briquettes de sciure pressée, granulés de bois, déchets de café, coquilles de noix et fumier de poules. On a également remarqué que les matières que l'on retrouve en tête du palmarès des performances, varient selon les critères choisis (puissance, rendement, composition du gaz, rejet de particules, etc.).

L'intérêt de cette technique de gazéification du bois est subordonné à deux facteurs essentiels: la disponibilité en permanence du produit de base et la possibilité d'utiliser dans le voisinage la chaleur produite. Si ces conditions sont réunies, cette technologie offre une possibilité intéressante de production combinée de chaleur et d'électricité.

www.xylowatt.ch



Le procédé de gazéification du bois comprend:

- 1 Réacteur de gazéification du bois
- 2 Alimentation en bois
- 3 Container pour les cendres
- 4 Ventilateur du circuit du gaz
- 5 Réseau d'eau chaude
- 6 Échangeur de chaleur
- 7 Colonne de lavage
- 8 Filtre à sable
- 9 Moteur à gaz avec générateur sur le même arbre
- 10 Catalyseur
- 11 Circuit fermé d'eau de lavage
- 12 Floculation des particules de fumée
- 13 Séparateur d'eau

La transformation du bois de la scierie Despond SA produit de grandes quantités de déchets de bois et consomme de l'énergie aussi bien sous forme de chaleur que d'électricité.



Des résultats de recherche bien tangibles

Au cours des dernières années, la recherche photovoltaïque suisse a planté d'importants jalons

Stefan Nowak

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

Urs Wolfer

Responsable du domaine Technologies solaires de l'OFEN

L'époque des pionniers a défini les priorités

Il y a vingt ans, dans le canton du Tessin, Mario Camani fit entrer le photovoltaïque suisse dans l'histoire: au TISO, de fondation récente à l'époque, il réalisait alors une installation photovoltaïque de 10 kW_c (kilowatts-crête) raccordée au réseau. C'était la première installation européenne de production d'électricité d'origine solaire à être connectée à un réseau électrique. L'intérêt pour ce mode de production, respectueux de l'environnement, grandit rapidement. Dès 1985, des travaux de recherche effectués dans des laboratoires publics et privés, notamment à l'Université de Neuchâtel et aux Laboratoires RCA à Zurich de l'époque, conduisirent à la définition du Programme photovoltaïque suisse.

Ces recherches avaient pour objet de nouveaux procédés de fabrication et de nouvelles cellules photovoltaïques, qu'il s'agisse de cellules au silicium cristallin, dérivé de l'électronique, ou au silicium amorphe en couches minces, une nouveauté pour l'époque. Un peu plus tard eurent lieu les premiers travaux dans le domaine de ce qu'on a appelé la technique des systèmes, comme le développement d'onduleurs. Cette recherche et ces développements très tôt axés "système" restent l'une des particularités du photovoltaïque en Suisse encore observée de nos jours.

La nouvelle technologie se fait connaître

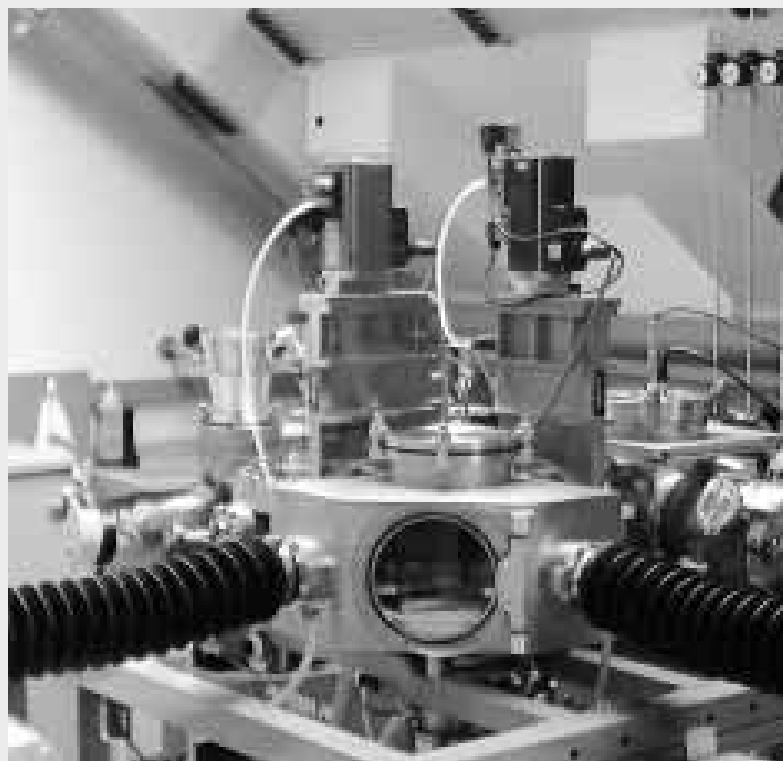
À l'époque, et bien que cela n'ait pas été prévu à l'origine, le "Tour de Sol" contribua largement à faire connaître le photovoltaïque au grand public. D'autres étapes importantes furent, en 1989, la première installation intégrée en façade d'un bâtiment (Alpha Real), ainsi que le premier champ photovoltaïque de 100 kW_c placé sur des parois anti-bruit (TNC Consulting) le long d'une autoroute. Grâce à cette orientation marquée vers l'application pratique,

la Suisse fut considérée, au niveau international également, comme un pays pionnier dans le domaine photovoltaïque. La constitution de structures suivit cette période d'effervescence. De nouvelles entreprises furent créées et de nouveaux produits développés, en particulier dans les domaines de la technique des systèmes et de l'intégration au bâtiment.

Dans les domaines de la recherche et de la technologie : des résultats de pointe mondialement reconnus

Le Programme photovoltaïque suisse repose sur un Plan directeur pluriannuel. Il jette les bases des travaux de recherche et de développement ainsi que des projets pilotes et de démonstration, et formule des objectifs, tout en définissant des activités en conséquence. L'une des premières priorités est de réduire une nouvelle fois les coûts de manière significative. La recherche en rapport avec de nouveaux types de cellules photovoltaïques est ici primordiale; elle se concentre aujourd'hui entièrement sur les cellules photovoltaïques en couches

Réacteur au plasma pour la recherche dans le domaine des cellules photovoltaïques en couches minces à l'Institut de Microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel.



minces. À chacun ses cellules : l'Institut de Microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel et le Centre de recherche en physique des plasmas (CRPP) de l'EPFL travaillent tous deux sur de telles cellules au silicium ; l'Unité de Physique des couches minces de l'EPFZ sur celles à base de semi-conducteurs composés II-VI (CIGS cuivre, indium, germanium, sélénium et CdTe cadmium et tellure) ; le PSI, lui, sur celles au silicium-germanium et l'Institut de Chimie physique (ICP) de l'EPFL sur des cellules dites à colorants.

Nombre de ces travaux de recherche ont conduit à des résultats aux perspectives prometteuses, reconnus au plan mondial. C'est ainsi que la cellule "micromorphe" de l'IMT est considérée comme l'un des meilleurs candidats dans le domaine du silicium en couches minces. L'EPFZ a réalisé un record mondial avec les cellules CIGS souples. On considère, d'autre part, les cellules à colorants comme option pour le long terme. La nette tendance au développement de produits industriels caractérise l'état actuel de ces recherches. À ce sujet, plusieurs projets CTI sont en cours de réalisation, impliquant aussi bien des entreprises existantes que naissantes.

Outre ces recherches ayant pour objet les cellules photovoltaïques, un autre axe prioritaire du Programme suisse concerne les

solutions et produits nouveaux, en particulier l'intégration du photovoltaïque au bâtiment. C'est le domaine porteur du marché suisse du futur. L'objectif le plus important en est la mise à profit de synergies entre les systèmes de parois et toitures, les cellules photovoltaïques en couches minces et diverses fonctions du bâtiment. En revanche, certains produits sont déjà bien présents sur le marché dans le domaine de la technique des systèmes photovoltaïques, couvrant aisément le besoin de recherche dans ce secteur. Le Programme suisse est complété par des activités annexes consacrées à divers outils dans le dessein d'optimiser l'étude et la réalisation d'installations.

Produits pour l'exportation

Les produits photovoltaïques industriels suisses se rattachent, d'une part, à la technique des systèmes (par exemples, onduleurs, systèmes enfichables) et, d'autre part, au groupe des composants pour l'intégration au bâtiment. Un certain nombre de composants de la branche des accessoires sont incontestablement leaders sur le marché mondial. On remarque aussi une nette



Demosite à l'EPFL : démonstration de différentes variantes d'intégration de modules photovoltaïques, par exemple, sur une toiture plate engazonnée.

croissance de l'activité d'exportation dans ces domaines. Au cours des dernières années, les efforts de transformation des développements réalisés sur les cellules photovoltaïques en produits commercialisés ont pris de l'ampleur. Les premiers produits suisses amorcent leur entrée sur le marché des applications à petite échelle.

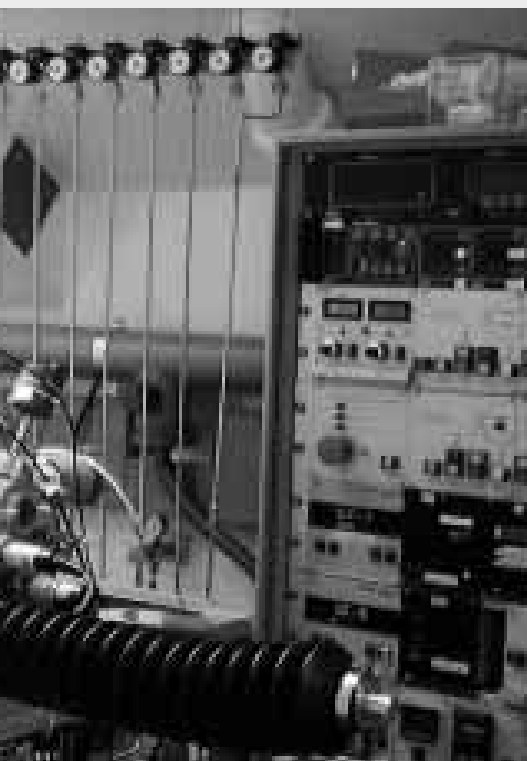
En Suisse, un marché largement indépendant et rentable s'est développé pour les applications du photovoltaïque sans raccordement au réseau : on rencontre de plus en plus de parcomètres et de feux de signalisation alimentés par des cellules photovoltaïques ; dans les Alpes, les installations pour les systèmes de télécommunication et les refuges alpins sont devenues monnaie courante. L'intégration au bâtiment s'est développée grâce à divers programmes promotionnels ; les bourses d'électricité solaire ont favorisé leur implantation sur les constructions. Une extension plus large dépend maintenant principalement des réductions de coût possibles.

Traditionnellement en faveur de la collaboration internationale

La collaboration internationale jouit d'une grande tradition dans le domaine du photovoltaïque suisse, aussi bien dans les programmes de recherche de l'Union européenne que dans le programme PVPS (Photovoltaic Power Systems) de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). En ce qui concerne la participation de la recherche énergétique suisse aux programmes-cadres de recherche successifs de l'UE, le photovoltaïque se place clairement en tête. Cela indique aussi bien la compétitivité de nos chercheurs sur la scène internationale que la nécessité de coopérer au-delà des frontières dans ce domaine hautement technologique. Ces derniers temps, les activités en rapport avec des contacts internationaux ont été étendues à la coopération avec les pays en voie de développement.

Prêts pour les défis à venir

Le photovoltaïque suisse se trouve actuellement confronté à de grands défis : il y aura lieu de maintenir la position internationale acquise malgré les restrictions budgétaires ; il faudra également faire avancer la mise en œuvre industrielle des résultats obtenus et assurer un certain volume au marché local. Des stratégies axées sur l'avenir, et surtout basées sur des points de vue partagés par tous, peuvent aider le photovoltaïque suisse à continuer sur sa lancée dans un marché mondial à forte croissance.



Minces et souples

Les technologies VHF produisent en rouleaux des cellules photovoltaïques en couches minces pour des applications souples

Dans la technologie VHF du plasma, une couche de silicium est déposée en continu sur un support en matière synthétique. Il est ainsi possible de créer des cellules photovoltaïques minces et extrêmement souples, offrant des possibilités d'application très variées. Ces cellules fonctionnent aussi bien à la lumière du soleil qu'à la lumière artificielle. Les applications se situent principalement dans le domaine des faibles puissances. La nouvelle entreprise VHF-Technologies, sise au Locle, a réussi, grâce à son unité de production, à fabriquer ces cellules photovoltaïques de façon industrielle. Une deuxième unité est en cours d'installation et permettra d'en doubler la production.

Production simplifiée de cellules photovoltaïques

Les travaux de recherche qui ont conduit à la technique des couches minces ont été réalisés, avec le soutien de l'OFEN, à l'Institut de Microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel. Diego Fischer, l'un des fondateurs de VHF-Technologies, affirme: "En tant que collaborateur du Professeur Arvind Shah, j'ai été directement associé au développement de cette technologie basée sur un brevet datant de 1987. Les avantages certains de la production simplifiée de cellules photovoltaïques – une production qui demande moins d'énergie grise et qui offre au concepteur une plus grande liberté d'action au niveau de leur géométrie – sont des arguments convaincants."

La décision de fonder l'entreprise relevait de l'évidence même. Raoul Sautebin, le président du conseil d'administration, dit à ce propos: "Le procédé de fabrication était

connu; nous avons formulé des idées quant aux produits, mais le lancement du procédé industriel a été un véritable défi. Entretemps, de nouveaux collaborateurs disposant d'une expérience industrielle se sont joints à notre équipe, ce qui nous a permis de faire de grands progrès. Le personnel, au nombre de trois au départ, a déjà quadruplé." Actuellement, VHF-Technologies a pris contact avec plus de 300 clients potentiels afin de sonder les possibilités d'application et d'évaluer les critères techniques. Le remplacement de sources énergétiques existantes (par exemple, les batteries) est envisagé, ainsi que de nouvelles solutions qui, jusqu'alors, n'étaient pas réalisables avec le photovoltaïque, entre autres son intégration à des vêtements ou des applications pour le marché des appareils électroniques, deux domaines fort prometteurs. Même une utilisation dans l'astronautique s'avère intéressante si l'on considère les structures complexes rencontrées et les exigences posées par le déploiement d'éléments de satellites.



Le contrôle de la qualité sert aussi à améliorer l'efficacité du procédé.



À l'intérieur du réacteur opérant sous vide, la feuille de matière synthétique en rouleau passe à travers le champ à haute fréquence pour recevoir une mince couche de silicium.

Ingénierie et VHF

En règle générale, le matériau de base est une feuille en matière plastique de polyimide, disponible dans le commerce en rouleaux d'environ 50 µm d'épaisseur, feuille déjà recouverte d'une couche d'aluminium. Au cours du procédé de fabrication, du silane gazeux (SiH_4) est introduit dans un réacteur opérant sous vide. Le gaz passant dans un champ à hautes fréquences (Very High Frequency – VHF) se transforme en plasma. À une température de 200 °C seulement, une couche de silicium de 0,5 µm d'épaisseur se crée sur la feuille durant son passage en continu. La bande atteint une largeur de 30 cm et une longueur allant jusqu'à 30 m. Il est possible, d'une part, de déposer des couches sur toute la surface et, d'autre part, d'effectuer la même opération sur des modules déjà structurés aux fins d'emplois spécifiques. La valeur de la tension électrique nécessaire peut être calculée en tenant compte du nombre de couches et des dimensions de chaque cellule.

La ligne actuelle de production pilote de VHF-Technologies a une capacité de 2'000 m² par année. Outre la mise en marche d'une



Diego Fischer (à gauche) et Raoul Sautebin sont convaincus du succès des cellules souples en couches minces.

deuxième ligne de production, qui en doublera la capacité, les efforts se concentrent actuellement sur l'amélioration de la productivité. La phase suivante de production se fait au moyen d'un traceur au laser : sur la feuille continue recouverte de la couche mince, des trames sont créées, puis les cellules sont coupées aux dimensions requises. Le contrôle final de qualité représente une étape importante.

Les cellules, prévues pour des vêtements, des pare-soleil pour voitures et d'autres applications, sont laminées sur les deux faces et donc entièrement protégées.

Un large éventail d'applications

Les cellules photovoltaïques souples de VHF-Technologies peuvent être utilisées aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Éclairées par une lampe de 150 lux seulement, elles délivrent une tension résiduelle atteignant encore 60% de la valeur nominale. Cela permet leur emploi à l'intérieur de bâtiments, une éventualité qui ne pouvait guère être envisagée jusqu'ici.

À cause de leur faible rendement (environ 5 à 8 % sur verre et acier, et 3 à 4 % sur matériaux synthétiques), à l'heure actuelle par rapport aux cellules photovoltaïques cristallines courantes, les cellules en couches minces sont encore peu employées pour la production d'électricité d'origine solaire. Toutefois, les conditions de fabrication nettement plus avantageuses, ainsi que les quantités moindres de silicium requises en font une option possible pour l'avenir. Des essais d'application sur des éléments de façade préfabriqués en aluminium sont en cours dans un projet CTI pour mettre à profit la souplesse des cellules photovoltaïques et la possibilité d'utiliser des rouleaux entiers. Dans la chaîne de production, VHF-Technologies offre ici la compétence essentielle par le dépôt des couches et la fabrication des cellules photovoltaïques souples, tandis que la réalisation de produits industriels sur mesure peut être prise en charge par des entreprises spécialisées.



Des cellules minces et souples offrent d'innombrables possibilités d'application aussi bien internes qu'externes, par exemple, intégrées à des vêtements.

Lien Internet

Toutes les informations sur les cellules photovoltaïques souples en couches minces de VHF-Technologies au Locle www.vhf-technologies.com



TISO : les caractéristiques des modules

Lauréat du Prix solaire 2001, le TISO examine les modules du marché et fêtera bientôt son vingtième anniversaire

Le laboratoire solaire TISO de la SUPSI, (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana) à Canobbio près de Lugano, teste des modules photovoltaïques du marché, permettant ainsi de vérifier les données des divers fabricants et d'établir quelle application spécifique convient le mieux à chaque module. Les données nécessaires sont obtenues par des tests en laboratoire et par des essais de longue durée effectués en plein air. C'est l'occasion pour l'équipe d'examiner les caractéristiques électriques, la fiabilité et le rendement (ou la baisse de rendement) des modules du marché. Actuellement, deux exemplaires de chacun des 13 types de modules étudiés, les uns au silicium cristallin, les autres au silicium amorphe, sont placés sur le toit du TISO ; ils sont tous soumis aux mêmes conditions atmosphériques, ce qui autorise ainsi un examen comparatif plus approfondi.

Mesures de longue durée ; mesures au simulateur

Afin de reconnaître les divers "hot-spots" (littéralement: points chauds), les mesures de puissance sont complétées par des prises de vue thermographiques des modules. En l'espace de 15 mois, la diminution du rendement et la perte de qualité sont étudiées dans les conditions climatiques réelles du Tessin.

Le simulateur solaire à impulsion, certifié à la mi-2001 par le Swiss Accreditation Ser-

vice (SAS), permet d'effectuer des mesures standard (Standard Test Conditions STC) de divers modules au moyen d'un flash. Après dépouillement, les données recueillies permettent de tirer des conclusions sur l'aptitude des modules à travailler dans des conditions solaires et climatiques particulières et par conséquent sur les applications possibles.

Une collaboration internationale bien établie

Une autre activité du TISO – dans le cadre d'un projet de l'UE et conjointement avec le Centre Commun de Recherche (CCR/JRC) de la Commission européenne, situé non loin à Ispra (Italie) – réside dans la détermination des caractéristiques à long terme de l'installation photovoltaïque, composée de 252 modules d'une puissance

Clean Energy St-Moritz 2003 – Le photovoltaïque est présent

Le projet énergétique global de St-Moritz, consacré à l'examen de la durabilité des championnats du monde de ski alpin, qui auront lieu en 2003, concerne, entre autres, des projets photovoltaïques. La plus grande installation CIS européenne connectée au réseau (avec 16,8 kW_e) en fait partie. 420 modules sont installés sur le toit de la patinoire artificielle de St-Moritz-Bad. Le but du projet est d'évaluer les performances des cellules CIS (Copper Indium Diselenide – diséléniure de cuivre et d'indium) dans des conditions climatiques extrêmes. Le TISO est directement connecté à l'installation et procède à des mesures météorologiques et électriques. Les premiers résultats ont permis d'établir le comportement quasi identique des modules CIS par rapport à ceux au silicium cristallin; ils ont une bonne productivité, même aux températures très basses.

Le TISO procède à des mesures météorologiques et électriques sur l'installation CIS de St-Moritz.



20 ans – L'idée a fait son chemin

Les premières recherches effectuées – grâce à l'impulsion initiale de Fulvio Caccia – sur une installation de 10 kW_c, nouvellement mise en service et équipée de cellules photovoltaïques monocristallines, ont débuté il y a 20 ans déjà ! Il s'agissait là de la première installation photovoltaïque européenne à être connectée au réseau local : c'était le début des travaux de recherche du TISO conduits par Mario Camani. La collaboration avec le Centre Commun de Recherche (CCR/JRC) à Ispra (Italie) remonte à la même époque. À partir de 1985, l'OFEN a encouragé les recherches sur les caractéristiques à long terme. Le centre d'essais pour modules PV a été fondé en 1990. Au départ, les procédures d'essai ont été définies et les systèmes de mesure développés. Trois ans plus tard, les installations de test pouvaient être agrandies dans le dessein de tester simultanément un plus grand nombre de modules. La première série d'essais, comprenant huit modules, a commencé une année plus tard. En 1996, 18 types de modules différents avaient déjà été testés. Les années passées ont été caractérisées par l'intégration réussie du TISO au Laboratoire d'énergie, d'écologie et d'économie (LEEE), en tant que partie de la SUPSI, ainsi que par l'extension de la collaboration internationale.

www.leee.dct.supsi.ch

totale de 10 kW_c, mise en service il y a 20 ans au TISO. Le projet MTBF (Mean Time Before Failure) a pour objectif la détermination de la durée de vie probable. Il a pu être démontré que ces modules n'avaient perdu que 10 % environ de leur capacité de production depuis leur mise en service, même si certains défauts mécaniques ont été décelés lors de contrôles visuels. Cela révèle que la durée de vie des modules pourrait être supérieure aux présomptions ac-



Grâce au fonctionnement vicennal de l'installation, le projet MTBF a démontré la longévité supérieure des modules photovoltaïques comparée aux présomptions.

tuelles, une condition qui allongerait considérablement les durées d'amortissement.

Le TISO effectue également des séries de mesures sur deux installations photovoltaïques externes. L'installation AET-III se trouve à proximité du Lac Majeur ; sa puissance est de 100 kW_c. À la suite d'inondations, le TISO a rénové cette installation, remplaçant en particulier le câblage et les onduleurs ; fin 2001, une série de trois ans de mesures a été entamée. L'autre campagne de mesure externe concerne l'installation CIS à St-Moritz (voir l'encadré).

Symposium photovoltaïque 2002

Le Symposium photovoltaïque national 2002 aura lieu les 16 et 17 mai à Lugano-Canobbio, près du Centre de recherche photovoltaïque TISO. Le photovoltaïque est présent depuis 20 ans en Suisse ; c'est une bonne raison pour faire un examen rétrospectif, actuel et prospectif. Les experts traiteront principalement des sujets suivants:

- Évolution actuelle des marchés de l'électricité d'origine solaire
- Nouveautés de la recherche et de la technique
- Opportunités pour l'industrie.

La rencontre sera complétée par une visite du TISO ainsi que par une présentation d'affiches (posters) et de produits.

Informations et inscriptions:

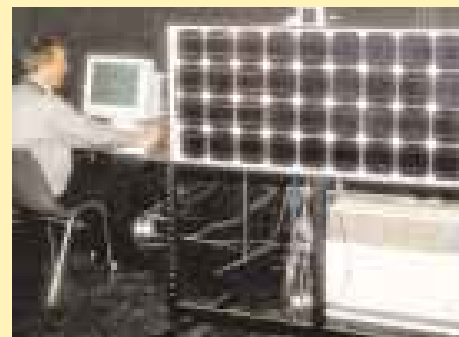
www.vse.ch

et

www.photovoltai.ch



*L'équipe du TISO
(de g. à d.): Enrico Burà, Nerio Cereghetti, Domenico Chianese, Gabi Friesen, Antonella Realini et Sandro Rezzonico.*



Les divers modules sont testés de façon standard au moyen d'un simulateur solaire à impulsion.

Une meilleure intégration

Des exemples récents d'intégration de modules photovoltaïques au bâtiment affichent des progrès notables

Les possibilités d'application de l'intégration au bâtiment – une technique pleine d'avenir – sont considérables. La production d'électricité d'origine solaire dans les zones bâties présente plusieurs avantages: elle n'augmente pas l'emprise au sol et remplace en partie des éléments de construction classiques. Ces arguments plaident en faveur de la promotion des processus de développement qui y sont liés, à laquelle il convient de porter une attention particulière. Comme le démontrent les deux systèmes Solrif et AluTec encouragés par l'OFEN, la collaboration étroite entre les architectes, l'industrie et les artisans favorise la création et les réalisations nouvelles en rapport avec la technique des matériaux et la construction des éléments.

L'intégration au bâtiment en Suisse

Parmi les possibilités de production d'électricité à partir des sources d'énergie renouvelables, les installations photovoltaïques placées en ville sur les toits et les façades sont particulièrement bien adaptées. En Suisse, les terrains disponibles sont limités, ce qui a poussé très tôt l'industrie à développer l'intégration du photovoltaïque au bâtiment. En l'espace d'une dizaine d'années, des solutions intéressantes d'intégration ont vu le jour, répondant à diverses utilisations (toits plats et à pans inclinés, façades, éléments anti-bruit, etc.). Aujourd'hui, on peut se réjouir de l'importance toujours plus grande des exigences architectoniques. Les nouvelles techniques apportent une réponse à la fois aux impératifs de coûts et aux préoccupations esthétiques. Elles sont ainsi de mieux en mieux acceptées.

“Sunny Woods” – Une aventure ensoleillée

Tout a commencé avec la montre-bracelet solaire de Beat Kämpfen, architecte de “Sunny Woods” à Zurich-Höngg. Il considérait que l'idée de pouvoir approvisionner en énergie un immeuble de plusieurs appartements au moyen du photovoltaïque méritait d'un essai. Le rayonnement solaire



La partie sud du toit de la famille Erni à Untersiggenthal a été équipée d'une installation photovoltaïque de 11,7 kW_c. Les modules sont encadrés selon le système Solrif et sont montés avec recouvrement.

très grande épaisseur, elle dispose d'un chauffage à air chaud associé à une ventilation mécanique douce. La situation et la forme du terrain contribuent à l'utilisation active et passive de l'énergie solaire. Dans les locaux exposés aux rayons du soleil, le plancher revêtu d'ardoise noire sert d'accumulateur thermique. Sur la façade sud, chaque appartement dispose de trois capteurs à tubes sous vide (6,5 m²) pour la production d'eau chaude sanitaire; ces capteurs font également office de balustrade aux balcons. Une installation photovoltaïque placée sur le toit produit la quantité d'électricité nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur, des ventilateurs et de la pompe de circulation. La surface totale des modules est subdivisée en six installations autonomes, d'une puissance-crête de 2,7 kW_c chacune. Cette installation connectée au réseau produit chaque année environ 15'000 kWh d'électricité d'origine solaire. L'OFEN a accordé son soutien à ce projet



devait pouvoir produire la chaleur et l'électricité nécessaire à la réalisation d'un concept à énergie zéro.

La construction en bois à quatre étages est conçue selon le standard de la “maison passive”; pourvue d'une isolation thermique de

Un exemple des possibilités d'exportation de développements soutenus par l'OFEN: pour une nouvelle construction en Hollande, c'est le système AluTec qui a été choisi, vu sa facilité de montage.

pilote et de démonstration pour deux raisons principales: l'emploi de cellules en couches minces – pour la première fois en Suisse sur une étendue aussi vaste – et la technique récemment développée de montage sur un toit d'aluminium à pièces emboîtées. Grâce à ce système, il est possible de couvrir toute la superficie du toit, malgré son inclinaison minime, sans qu'il y ait pour autant d'ombrage d'une partie sur l'autre. Les cellules en triples couches minces de la nouvelle génération fonction-

nent même à des températures élevées sans réduction de puissance, ce qui permet leur montage à une distance réduite du toit métallique. L'utilisation de brides auto-fixantes évite tout perçage. Les dimensions des modules et du toit ont été étudiées pour s'accorder les unes aux autres. "Sunny Woods" a su relever le défi qui consiste à intégrer de nouveaux éléments à une architecture tenant compte de l'ensemble.

Renseignements:

Beat Kämpfen, CH-8049 Zürich



"Sunny Woods" associe divers systèmes d'isolation thermique à une utilisation active et passive de l'énergie solaire. L'installation photovoltaïque qui couvre entièrement le toit a une puissance-crête de 6 x 2,7 kW_c, ce qui confère à la maison un bilan énergétique équilibré.



La maison solaire telle qu'elle apparaît dans le paysage de Wettingen. Chaque année, cette installation de 100 m² produit plus de 10'000 kWh d'électricité solaire pour la société d'architectes-paysagistes "Landschafts-architekten AG", ainsi que pour le réseau de l'AEW.

Une nouvelle ère voit le jour à Wettingen

L'installation solaire de la maison Stöckli, Kienast & Koeppel, Architectes-paysagistes SA, à Wettingen, a pu être raccordée au réseau des Entreprises électriques argoviennes (AEW) après seulement trois semaines de travaux. Il s'agit de la première installation réalisée dans la plus grande commune du canton d'Argovie. Les 100 m² de la moitié sud du toit de ce bâtiment construit en 1965 sont entièrement recouverts de 150 modules photovoltaïques qui ont été montés selon le système Solrif. La puissance installée de 12,75 kW_c pourrait permettre de dépasser la production annuelle prévue de 10'000 kWh. Chacun des cinq onduleurs est connecté à un groupe de 30 modules.

Renseignements:

Hans-Dietmar Koeppel,
CH-5210 Windisch



Sur le toit du stade

L'installation photovoltaïque du toit du Parc St-Jacques de Bâle produit de l'électricité depuis l'automne 2001. Elle fournit environ 130'000 kWh par an au réseau local. Seule la réunion des conditions-cadres a permis la réalisation de ce projet. Ces dernières garantissent à long terme la reprise du courant produit, assurant ainsi la couverture des frais. Le système AluTec a grandement facilité le montage des 1'258 modules d'une superficie totale de 1'200 m².



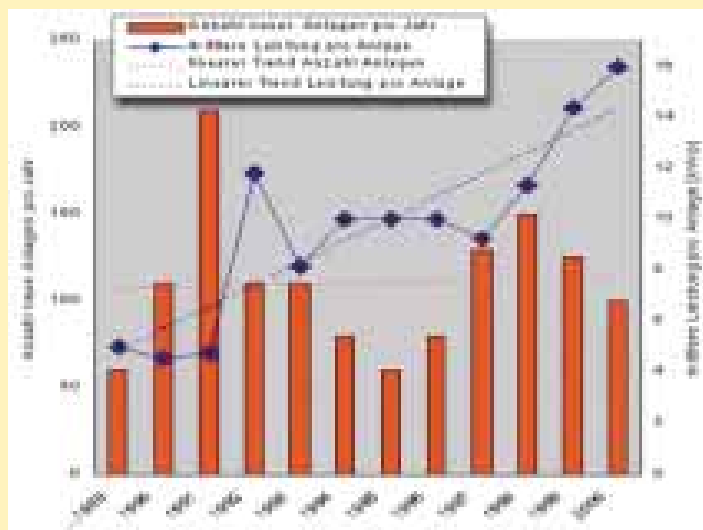
Production photovoltaïque d'électricité au-dessus, football en dessous: une association prometteuse pour l'avenir. (Photo: ADEV, Liestal)

Des hauts et des bas

Une étude de l'AES/VSE donne une vue d'ensemble statistique de la situation de l'électricité solaire

Au cours des dernières années, la puissance-crête nominale des installations de production d'électricité solaire mises en service en Suisse s'est élevée à 1,6 MW_c par année. Vers la fin de l'an 2000, on comptait plus de 1'300 installations photovoltaïques, représentant une puissance-crête totale d'environ 13 MW_c, qui fournissent annuellement plus de 9'700 MWh au réseau public. À titre de comparaison, au cours de la même année 2000, la consommation électrique suisse globale a dépassé 52 millions

aussi relever en même temps que la Suisse n'occupe plus la première place au chapitre de la puissance installée par habitant, record que l'Allemagne a dépassé grâce à son programme national de promotion. En Suisse, chaque région ayant son propre programme promotionnel, parfois fort différent de celui de ses voisines, on observe de profondes disparités d'une région à l'autre pour ce qui concerne la puissance photovoltaïque installée par habitant ; les régions du Nord-Ouest sont à la pointe, alors que celles de



Alors qu'en moyenne, 100 installations ont vu le jour, chaque année, entre 1989 et 2000, on a construit moins d'installations au cours des trois dernières années ; mais celles-ci sont de plus grande taille.

(Graphique: AES/VSE/energiebüro Zurich)

de MWh. C'est ce qui ressort de la statistique sur l'électricité solaire en 2000 de l'AES/VSE (Association des entreprises électrique suisses), statistique qui a été réalisée avec le soutien de l'OFEN. La tendance actuelle est à l'augmentation de la taille des installations. En 1991, 210 installations d'une puissance moyenne d'environ 4 kW_c avaient été mises en service ; en l'an 2000, on n'en comptait plus que 100, mais avec une puissance moyenne d'environ 16 kW_c. Parmi les plus grandes installations de cette année-là figurent celles de la Foire de Bâle (237 kW_c) et celle de l'EPF de Zurich au Höggerberg (130 kW_c).

La croissance observée entre 1995 et 1999 ne s'est pas poursuivie en 2000. On peut

l'Ouest sont à la traîne. La production d'électricité solaire dépend certes du rendement des modules et de leur orientation par rapport au soleil ; mais c'est surtout le bon fonctionnement des onduleurs et leur absence de pannes qui sont déterminants. La disponibilité de ces derniers composants a atteint la valeur de 98%, ce qui témoigne de l'excellente qualité des appareils employés.

Étude : Solarstromstatistik 2000; Association des entreprises électriques suisses (AES/VSE)
www.strom.ch

Tendances relevées dans l'application du photovoltaïque

Le rapport 2001 du programme Photovoltaic Power Systems (PVPS) de l'AIE offre une vue d'ensemble des tendances observées entre 1992 et 2000 dans les applications au sein des vingt pays membres. À ce jour, la puissance photovoltaïque totale installée est de l'ordre de 712 MW_c, résultant d'une croissance annuelle de 20 à 30%. Le nombre des installations connectées au réseau a considérablement augmenté, en partie grâce aux programmes promotionnels de plusieurs États. Le rapport PVPS fait état des diverses contingences et perspectives existant dans les différents pays ; ces données permettent de se faire une idée globale du potentiel du photovoltaïque à moyen terme.

Pour télécharger: www.iea-pvps.org, puis voir sous "Project results".



Informer et promouvoir

De nombreuses brochures d'information renseignent sur l'exploitation de la force hydraulique à l'aide de petites installations

Hanspeter

Leutwiler

Chef du programme Petits aménagements hydrauliques de l'OFEN

Case postale

CH-8910

Affoltern am Albis

Martin

Rüeggsegger

Responsable du domaine Petits aménagements hydrauliques de l'OFEN

L'information et le conseil sont les activités principales du programme Petits aménagements hydrauliques de l'OFEN. Une description de ces services figure à la page d'accueil Internet du programme, remise à jour. Pour plus de détails, on consultera les deux séries de publications suivantes, fort appréciées: les brochures du programme "Petits aménagements hydrauliques DIANE" (1992-97), encore toutes disponibles à quelques exceptions près; les brochures du Programme d'action Énergies renouvelables PACER (1990-95), épuisées en version imprimée, mais téléchargeables en format "pdf" sur Internet. Ces publications expliquent les différents aspects de l'utilisation de la force hydraulique, notamment, à l'aide d'exemples, l'énergie qu'il est possible de produire de cas en cas. Le lecteur réalise comment, par des aménagements nouveaux et la modernisation d'anciennes installations, cette technologie peut apporter une contribution significative à la diversification des sources d'énergie renouvelables.

Voici trois publications choisies, qui donnent un aperçu des moyens techniques à disposition pour l'exploitation de l'énergie hydraulique :

- **Petites centrales hydrauliques, Manuel 1997**

Donne des informations sur l'étude, la construction et l'exploitation, en mentionnant certaines précautions à prendre; une démarche est proposée et la question du financement est discutée. Fournit aussi des adresses et une bibliographie. À commander: OFCL n° 805.633

- **Aperçu général sur les petites centrales hydrauliques**

Les aspects économiques et écologiques sont d'un grand intérêt pour la modernisation des installations existantes. Cette

brochure, accompagnée d'exemples illustrés, décrit bien les exigences contradictoires relevant de l'environnement, de



l'énergie et de l'économie, et propose des solutions pratiques à ce dilemme.

À commander: OFCL n° 805.634

- **Petites centrales hydrauliques sur l'eau potable**

Sous la forme d'une documentation technique, cette brochure donne un aperçu de l'une des possibilités d'utilisation de la force hydraulique les plus intéressantes. On estime qu'en Suisse, un nombre considérable d'installations, plus de 350, pourraient être réalisées. L'énergie se trouve dans les adductions à partir des sources et dans d'autres étages de pression des systèmes d'approvisionnement en eau potable. Huit exemples sont décrits en détails.

À commander: OFCL n° 805.632

À commander à l'adresse:

OFCL/Vente des publications fédérales
CH-3003 Berne
www.publicationsfederales.ch

Liens Internet

Renseignements sur l'exploitation de la force hydraulique à l'aide de petites installations
www.smallhydro.ch

Association des usiniers romands (ADUR)
www.iskb.ch

Laboratoire de mini-hydraulique de Montcherand MHyLab
www.ambios.ch/mhyllab

Exploiter les rejets thermiques industriels

Des pompes à chaleur de grande dimension sont utilisées pour l'exploitation des rejets thermiques et la production de chaleur/froid

Peter Bailer

Axima
Refrigeration SA
CH-8401 Winterthur

Fabrice Rognon

Responsable du
domaine Chaleur
ambiante, couplage
chaleur-force et
production de froid
de l'OFEN

L'intégration ciblée de pompes à chaleur aux procédés industriels permet d'utiliser de façon judicieuse les rejets thermiques produits et d'atteindre par là une efficacité globale plus élevée. Les exemples des installations d'incinération des ordures ménagères à Umea, au nord de la Suède, ainsi qu'à Malmö, au sud de la Suède, confirment cet état de fait.

Une installation d'incinération des ordures ménagères à rendement global plus élevé

Dans la nouvelle installation d'incinération des ordures ménagères, la chaleur produite dans la chambre de combustion est amenée d'abord dans une turbine à vapeur avec génératrice, puis vers un échangeur de chaleur

relié au réseau de chauffage à distance. L'installation est dimensionnée pour une quantité annuelle de déchets de 175'000 t.

De l'eau est injectée vers le purificateur des gaz de fumée équipé de filtres à poussières et de laveurs d'acides et de SO₂. Dans le refroidisseur des gaz de fumée branché en

série, la chaleur présente est utilisée pour élever de 60 °C à 75 °C le niveau de température du circuit secondaire des deux puissantes pompes à chaleur Unitop de Axima Refrigeration, d'une puissance calorifique de 13,7 MW. Ensuite, l'échangeur de chaleur raccordé au réseau urbain de chauffage à distance permet de préchauffer le retour du circuit de 60 °C à 70 °C. Afin d'obtenir un sous-refroidissement optimal du fluide frigorigène, les deux pompes à chaleur sont branchées en série du côté de l'évaporateur et du condenseur, alors que

les sous-refroidisseurs sont branchés en parallèle. Le rendement du système global d'installation d'incinération des ordures ménagères passe ainsi de 94 à 107 %, ce qui représente une augmentation de la capacité du chauffage à distance d'environ 10 MW.

De nos jours la chaleur côtoie souvent le froid

Aux jours d'aujourd'hui, c'est la production de froid qui souvent conduit à installer de grandes pompes à chaleur. Il s'agit, d'un côté, d'installations frigorifiques pures, et de l'autre, d'installations combinées pouvant produire froid ou chaleur en fonction des besoins de la saison.



Montage en usine de la pompe à chaleur destinée à l'exploitation d'une installation d'incinération des ordures ménagères au Nord de la Suède.
(Photo : Axima Refrigeration Sàrl, Lindau)

L'utilisation des pompes à chaleur de grande puissance

Comment se présente le marché suisse et international de la pompe à chaleur de grande puissance ? Où rencontre-t-on des problèmes techniques et économiques ? Quelles sont les solutions proposées ? Le symposium sur les pompes à chaleur de cette année, organisé par l'Office fédéral de l'énergie le 11 juin 2002 à Berthoud, abordera des questions de cette nature.

De nombreux exemples illustreront les possibilités d'application, et présenteront les expériences faites au cours de l'exploitation. Les aspects urbanistiques, le raccordement à des réseaux de chauffage à distance, l'étude de cas de rénovations, ainsi que des questions d'organisation seront aussi abordés à ce symposium.

Informations :
www.waermepumpe.ch/fe

Le programme avec talon d'inscription se trouve au milieu de cette édition d'ENET-NEWS.



Mise en discussion de Minergie-P

Vers une efficacité énergétique encore améliorée, grâce à la poursuite du développement du standard applicable au bâtiment

Mark Zimmermann

Chef du programme de l'OFEN Utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment c/o LFEM/EMPA CH-8600 Dübendorf

Andreas Eckmanns

Responsable du domaine Bâtiments de l'OFEN

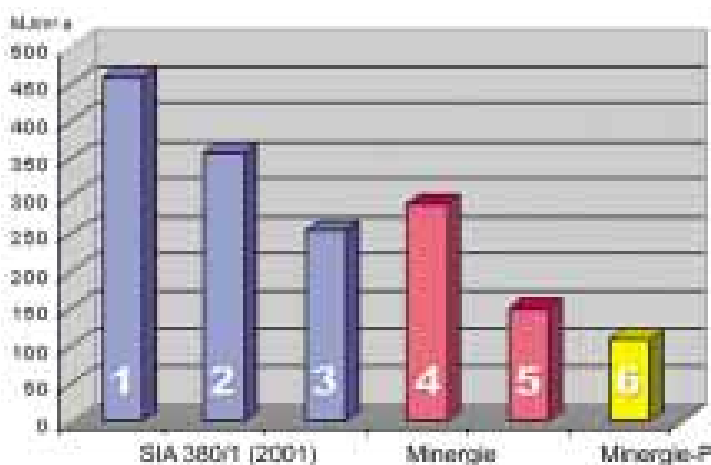
La prochaine assemblée générale de l'Association Minergie, le 27 mai 2002, statuera sur la poursuite du développement du standard Minergie. Celui-ci a pris pied en Suisse et connaît une diffusion réjouissante. Par ailleurs, le standard allemand dit de la "maison passive", plus exigeant que celui de Minergie, est également appliqué chez nous en tant que concept de bâtiment offrant une efficacité énergétique supérieure. Or, les deux standards partagent le même objectif: construire des bâtiments confortables et avantageux avec une consommation d'énergie la plus faible possible. De ce fait, les concepteurs-projeteurs et les maîtres d'ou-

vrage se sentent insécurisés, car les deux standards semblent être en concurrence, ce qui va à l'encontre du but commun.

Comparaison des standards et valeurs empiriques

Dans le cadre d'un projet de recherche de l'OFEN, un groupe du Centre pour l'énergie et le développement durable dans le bâtiment (ZEN) au LFEM/EMPA a comparé les deux standards de façon systématique. Les aspects étudiés concernent les niveaux respectifs des exigences, les façons de calculer et d'établir les justificatifs, ainsi que les domaines d'application et la mise en œuvre.

Actuellement, sous l'appellation "Minergie-P", l'Association Minergie teste l'introduction du standard de la "maison pas-



Ainsi que le montrent les indices de dépense d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude, les améliorations possibles au plan énergétique dans les maisons d'habitation sont nombreuses :

- 1 Transformation d'immeubles à plusieurs appartements
- 2 Valeur limite pour les nouveaux immeubles à plusieurs appartements
- 3 Valeur cible pour les nouveaux immeubles à plusieurs appartements
- 4 Rénovation selon le standard Minergie
- 5 Construction nouvelle selon le standard Minergie
- 6 Standard Minergie-P.

Liens Internet

Le Centre pour l'énergie et le développement durable dans le bâtiment
www.empa.ch/zen

Minergie – Meilleure qualité de vie, faible consommation d'énergie
www.minergie.ch

Pour plus d'informations sur la "maison passive"
www.passivhaus-info.de

"Status-Seminar" 2002: Recherches sur l'énergie et l'environnement dans le bâtiment

Le douzième "Status-Seminar" suisse aura lieu les 12 et 13 septembre 2002 à l'EPF de Zurich. Cet important colloque présente les travaux de recherche et de développement effectués dans le domaine "Énergie et environnement dans le bâtiment" et en fait connaître les résultats. Les principaux points du programme sont les suivants:

- Concepts durables de bâtiments, construction écologique
- Techniques d'isolation thermique à haute performance
- Installations techniques performantes pour les bâtiments à faible consommation d'énergie
- Ventilation, chauffage à air chaud
- Refroidissement passif de locaux
- Outils modernes d'aide à la conception, etc.

Les exposés théoriques des experts seront complétés par la présentation de bâtiments pilotes et de démonstration, parmi lesquels des habitations réalisées selon le standard de la "maison passive".

Renseignements:

Centre pour l'énergie et le développement durable dans le bâtiment (ZEN)
www.empa.ch/zen

SuisseEnergie et Minergie

Étant donné que le bâtiment est responsable de plus de la moitié de la consommation d'énergie fossile en Suisse, ce secteur jouit depuis longtemps d'une nette priorité auprès de l'OFEN et des Cantons. Il fait aussi l'objet d'une attention particulière de la part du programme SuisseEnergie. Ce programme répond aux objectifs de la Confédération en matière d'énergie et de protection du climat, qui visent une réduction de l'ordre de 15 % de la consommation de combustibles. Cela ne peut être réalisé que par la mise en œuvre à grande échelle de bons standards de bâtiments, tels Minergie et Minergie-P (équivalent au standard de la "maison passive"). L'action de Minergie s'étend à la Suisse entière; on compte déjà 1'200 bâtiments certifiés Minergie, ce qui confirme le bien-fondé de ces constructions et rénovations d'efficacité énergétique élevée.

www.suisse-energie.ch



Dans le cadre de SuisseEnergie, le standard Minergie connaît une diffusion considérable grâce à la promotion active de tous les Cantons.

sive", combiné à la méthode de calcul Minergie. La phase pilote en cours sert à accumuler des expériences pratiques et à les interpréter de manière systématique afin d'en tirer les bases nécessaires à la prise de décisions. Le standard Minergie-P exige un haut niveau de confort, de rentabilité et d'esthétique, ce qui correspond au standard de la "maison passive". Quatre valeurs limites ont été définies:

- Besoin en énergie de chauffage
 $Q_h \leq 20\%$ de la valeur limite SIA H_g selon la norme SIA 380/1 (2001)
- Puissance de chauffage spécifique
 $q_{h,max} \leq 10 \text{ W/m}^2 \text{ SRE}$, en tant que valeur moyenne pour l'ensemble du bâtiment
- Indice pondéré de dépense d'énergie thermique:
 pour des maisons individuelles ou à plusieurs appartements:
 $E_{pond} \leq 30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$,
 pour des bâtiments administratifs et commerciaux:
 $E_{pond} \leq 25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment: $n_{L50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Le standard de la "maison passive", un saut significatif

Le sixième Colloque européen sur la "maison passive" a eu lieu dans le cadre de Swissbau, à la fin de janvier 2002, à Bâle et a permis à plus de 500 participants de s'informer sur les derniers développements en matière de construction. L'OFEN faisait partie des organisations ayant soutenu cette manifestation. Dans son exposé d'introduction, Hans-Luzius Schmid, directeur de SuisseEnergie, a mis l'accent sur la signification centrale, pour les objectifs de la politique énergétique, des économies d'énergie dans le bâtiment.

Andreas Eckmanns, responsable du domaine Bâtiments à l'OFEN, et Mark Zimmermann, chef du programme de recherche de l'OFEN Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments, expliquent les conséquences des standards du bâtiment sur la recherche énergétique en Suisse:

ENET-NEWS: Quelle est la portée du standard de la "maison passive" et du nombre considérable de bâtiments construits selon ce standard ?

Mark Zimmermann: Ce standard est déjà largement diffusé en Allemagne et en Autriche. Au niveau européen, il est de plus en plus synonyme de concept de qualité pour ce qui touche à l'efficacité énergétique dans le bâtiment; il indique donc clairement une orientation à suivre et stimule la recherche.

Andreas Eckmanns: Bien que le standard de la "maison passive" aille encore plus loin que le standard Minergie, son hypothèse de départ est complètement différente: par définition, dans une "maison passive", tout système traditionnel de chauffage doit être superflu. Une enveloppe de bâtiment bien isolée et étanche à l'air permet de maintenir une température agréable à l'intérieur par le biais du système de ventilation, en tempérant l'air frais qui apporte ainsi la chaleur résiduelle nécessaire.

Andreas Eckmanns (à gauche) et Mark Zimmermann encourageant des projets de recherche dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique dans le domaine du bâtiment.



Large diffusion et action en profondeur

Le standard Minergie bien connu peut compter, à l'avenir aussi, sur une large diffusion, tandis que le standard Minergie-P récemment formulé pourrait être appliqué au titre de concept innovateur destiné à des constructions plus exigeantes avec une consommation d'énergie encore plus basse.

Le standard de la "maison passive" va plus loin

Le standard de la "maison passive" fixe la consommation annuelle d'énergie pour le chauffage à moins de 10 kWh/m² de surface de référence énergétique (SRE). Cela permet de renoncer au chauffage central. La plupart de ces maisons sont chauffées directement par la ventilation, tout en conservant un confort de tout premier ordre. Plus de 1'000 logements (villas et immeubles à appartements réunis) ont déjà été réalisés sur ce principe en Allemagne, en Autriche et en Suisse. Ils remplissent tous les exigences du standard de la "maison passive":

- Puissance de chauffage: max. 10 W/m² SRE
- Besoin en énergie de chauffage par m² SRE (calculé d'après SIA 380/1): max. 10 kWh
- Consommation d'énergie primaire par m² SRE: max. 120 kWh
- Étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment: $n_{L50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Quelles sont les conséquences de ces deux standards sur le programme de recherche de l'OFEN ?

Andreas Eckmanns: Diverses études financées par l'OFEN ont montré que, pour atteindre les objectifs fixés en matière d'émissions de CO₂, il faut appliquer à grande échelle dans le bâtiment des standards exigeants, comme Minergie. Cette tâche est fondamentalement du ressort des Cantons. Le programme de recherche de l'OFEN fournit les bases techniques et les outils pour une réalisation à long terme de standards plus exigeants, tels que celui de la "maison passive".

Mark Zimmermann: Le standard de la "maison passive" est une nouvelle donne pour la recherche énergétique, puisqu'il



Le standard de la "maison passive" est une nouvelle donne pour la recherche énergétique, puisqu'il veut non seulement améliorer l'efficacité énergétique, mais encore simplifier la partie technique.

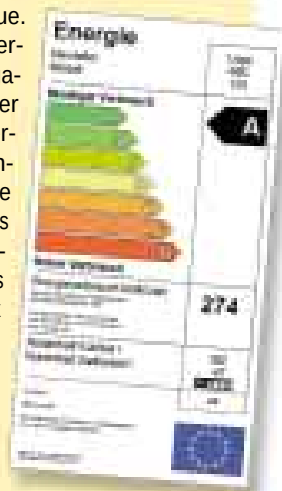
veut non seulement améliorer l'efficacité énergétique, mais encore simplifier la partie technique. Le chauffage traditionnel ne tient plus la première place, simplement parce qu'on n'en a plus besoin. Il est remplacé par des centrales énergétiques compactes qui ventilent, chauffent, récupèrent la chaleur de l'air extrait et préparent l'eau chaude. D'autres aspects ont également leur importance, comme les systèmes d'isolation thermique à haute performance (par exemple, les plaques isolantes sous vide) pour les domaines de la rénovation, de l'étanchéité à l'air et du réglage des flux d'air. Pour ces derniers aspects, il faut réaliser surtout des projets pilotes et de démonstration afin de pouvoir accumuler de l'expérience en la matière. Vers le milieu de l'année 2002, nous lancerons un concours qui s'adressera aux groupes de spécialistes s'occupant de la rénovation de bâtiments selon le standard de la "maison passive".

Pour de plus amples informations, on consultera le site www.empa.ch/ren

Électricité

étiquetteEnergie : vers des appareils électriques moins gourmands

À l'occasion de son colloque, la FSE (Fondation suisse pour l'énergie) tentera de mieux faire connaître l'étiquetteEnergie aux personnes les plus concernées, tels que propriétaires, concepteurs-projeteurs, commerçants, etc. et de montrer jusqu'à quel point il est possible d'économiser de l'énergie électrique. Car l'étiquetteEnergie, qui est obligatoire depuis le 1er janvier 2002, permet aussi aux consommateurs de choisir parmi les appareils ménagers et les lampes domestiques ceux de meilleur rendement.



L'étiquetteEnergie sera présentée au colloque de la FSE le 24 mai 2002 au siège du Service de l'électricité de la Ville de Zurich avec, parmi les orateurs, Walter Steinmann, directeur de l'OFEN.

www.energiestiftung.ch

Se prémunir contre l'improbable

Une nouvelle étude de terme-source examine les conséquences d'un accident pour trois scénarios de référence

J. Peter

Hosemann

Délégué à la
recherche sur la
sécurité
Institut
Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

Wolfgang Kröger

Chef du program-
me Sûreté nucléaire
et gestion des
déchets
Institut
Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

**Christophe
de Reyff**

Responsable du
domaine Énergie
nucléaire de l'OFEN

Le PSI a publié en août 2001 un rapport sur les analyses de terme-source appliquées à la centrale nucléaire de Gösgen. La notion de terme-source retrace le rejet de substances radioactives dans le voisinage d'une centrale nucléaire à la suite d'un accident au cours duquel d'importants dispositifs de sécurité n'auraient pas fonctionné. Le dénominateur commun des accidents simulés numériquement par les chercheurs relève de la défaillance technique. L'étude a examiné les phénomènes prévisibles et leur enchaînement au sein du réacteur, de l'enceinte de confinement, comme de toute la centrale, ainsi que le rejet possible de substances radioactives vers l'extérieur.

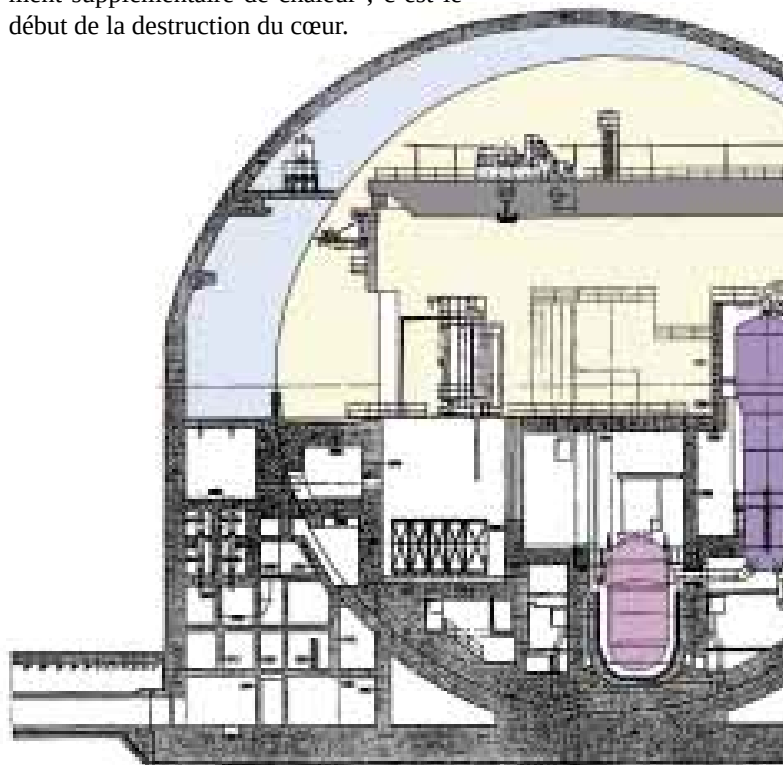
Au moyen de modèles numériques appropriés, l'analyse a porté dans l'ordre chronologique sur tous les événements physiques – nucléaires, mécaniques – et chimiques pendant l'accident et jusqu'à la destruction du cœur du réacteur. Ce scénario, d'une extrême improbabilité, se réaliserait si la cause première de l'accident entraînait une perte de réfrigérant primaire et que les barrières de sécurité successives lâchaient les unes après les autres. Les calculs ont été effectués sur la base des caractéristiques de la centrale de Gösgen, d'une puissance thermique de 3002 MW, en respectant aussi bien les dimensions et l'équipement propres à cette centrale qu'une charge typique pour son réacteur, soit un mélange d'éléments de combustible MOX et à l'uranium.

Trois causes différentes d'accident comme hypothèses de départ

Dans l'étude de terme-source, le rejet possible de substances radioactives a été déterminé pour chaque déroulement présumé de l'accident, en fonction du temps et de l'endroit où se produisent les émissions. Trois cas ont pu être envisagés qui se distinguent les uns des autres par l'origine de l'accident et son déroulement subséquent. Tous les scénarios partaient de l'hypothèse que la

chaleur résiduelle ne pouvait plus être évacuée du côté du circuit secondaire, soit en début d'accident, soit ultérieurement. Cela présuppose, par exemple, la panne simultanée des huit pompes conçues pour la maîtrise de tels incidents et la négligence des dispositions prévues face à une telle situation d'urgence.

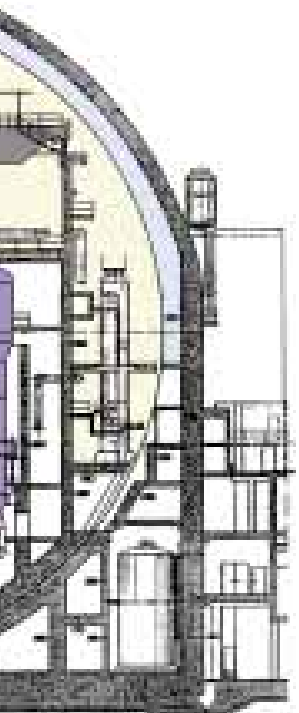
L'hypothèse du premier accident serait une fuite, par un orifice de 50 mm de diamètre, du côté froid du circuit primaire de refroidissement. Dans ce cas de référence "basse pression", la pression monte immédiatement dans le confinement et provoque l'arrêt rapide du réacteur. Les pompes du circuit primaire de refroidissement sont déclenchées et les pompes d'injection de sécurité haute pression prennent le relais. À peu près 11 heures plus tard, le niveau d'eau de la cuve du réacteur s'est abaissé par évaporation au-dessous du bord supérieur du cœur. Le zirconium commence à s'oxyder, produisant de l'hydrogène et un dégagement supplémentaire de chaleur ; c'est le début de la destruction du cœur.



Le deuxième scénario, baptisé “pression moyenne”, part de l’hypothèse d’une fuite moins importante, sans abaissement de la pression de la vapeur vive dans le circuit secondaire (à la sortie du générateur de vapeur). Trois minutes après le début de l’incident, l’injection d’eau sous haute pression est amorcée à partir des accumulateurs prévus à cet effet. Une fois les 708 t d’eau injectées dans le circuit primaire, la cuve du réacteur commence par évaporation à se vider du réfrigérant primaire. Le cœur s’échauffe et c’est le début de sa destruction. Environ quatre jours plus tard, la montée de la pression dans l’enceinte de confinement conduit, au travers de filtres et par dépressurisation, au rejet d’effluents gazeux dans l’environnement.

Le troisième scénario de référence, dénommé “haute pression”, suppose la détérioration simultanée de toutes les alimentations internes et externes en courant alternatif. Un arrêt rapide du réacteur et des pompes intervient alors, ayant pour conséquence, selon l’analyse faite, la fermeture non hermétique de divers passages de petites dimensions entre le confinement et le bâtiment des installations annexes.

La simulation du déroulement de cet accident a imposé des exigences extrêmes aux méthodes et modèles de calcul à disposi-



Dans cette étude de terme-source, le PSI est parti des données spécifiques de la centrale nucléaire de Gösgen, d’une puissance thermique de 3002 MW.

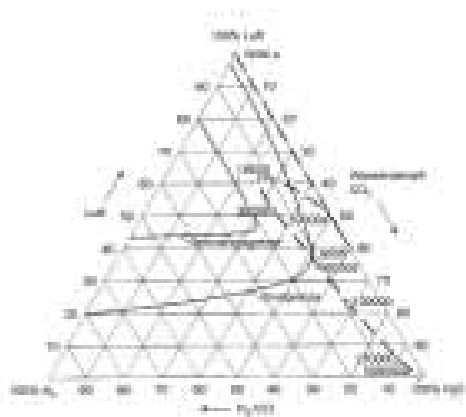
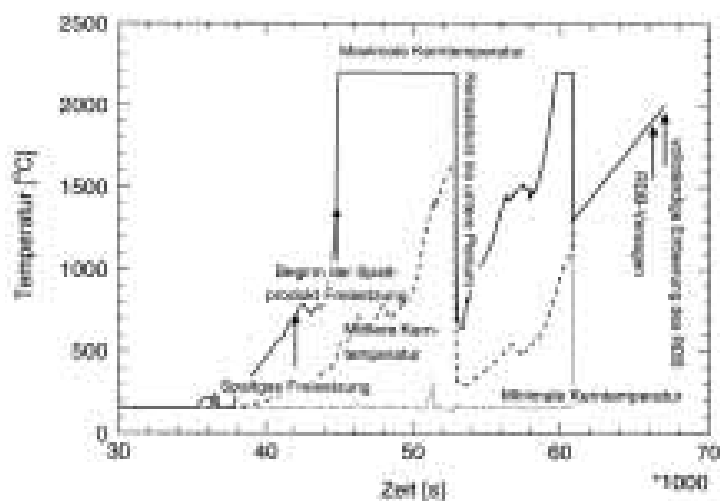


Diagramme de mélange ternaire pour le cas de référence “haute pression”. Évolution de la composition des trois gaz au cours de l’incident.

Le cas de référence “basse pression” : évolution de trois températures dans le cœur du réacteur.



tion. Le rejet de substances radioactives par les ouvertures du confinement citées plus haut commence, selon les analyses, après un délai de deux heures environ. Quant à la dalle des fondations du bâtiment du réacteur, les calculs montrent qu’elle est attaquée par le cœur du réacteur en fusion au bout de cinq jours.

Ces études illustrent la complexité des phénomènes en jeu dans le cas de divers incidents fortement improbables et le caractère en partie discontinu de leur déroulement. Elles contribuent à la réduction du risque, par les indications concrètes qu’elles fournissent sur les rejets de substances radioactives. Les dispositions prises au niveau de la sécurité peuvent en être améliorées de façon à tenir compte également d’une tournure particulièrement pessimiste des événements.

Recours obligé à plusieurs logiciels de calcul

Pour obtenir des informations quantitatives sur les produits de fission rejetés sous for-

me de gaz ou d’aérosols, plusieurs analyses couplées les unes aux autres ont été nécessaires. Chacune d’elles a été effectuée à l’aide d’un logiciel mis spécialement au point pour la description du phénomène physique considéré. Ces analyses ont englobé la modélisation des aspects de thermo-hydraulique du réacteur et la détermination de la liste des produits de fission possibles, la modélisation du rejet des produits de fission et des aérosols, enfin la produc-

tion d’aérosols suite aux interactions possibles entre le béton et le cœur fondu. Les données de terme-source calculées avec ces logiciels d’analyse spéciaux se situent systématiquement en deçà des valeurs de terme-source de référence de la DSN (Division principale de la sécurité des installations nucléaires) sur lesquelles repose la planification des mesures d’urgence. Cela signifie que les émissions correspondantes sont plus faibles. Les bases de cette planification en vigueur aujourd’hui pour la centrale nucléaire de Gösgen comportent donc une marge de sécurité appréciable.

Sécurité accrue grâce à une meilleure connaissance des détails

L’étude de terme-source pour la centrale de Gösgen a permis l’analyse du déroulement d’accidents extrêmement improbables dans le cas d’une telle centrale. Les connaissances en la matière ont pu être intensifiées et représentent un progrès marquant pour l’évaluation approfondie des mesures tendant à la réduction du risque.

Beaucoup d'intelligence sur deux roues

L'électronique de pointe appliquée récemment au développement de l'E-Bike ménage l'effort musculaire

Le 24 novembre 2001, l'équipe "Spirit of Bike" atteignait la ville d'Adélaïde, après avoir traversé l'Australie dans toute sa largeur et parcouru plus de 3'000 km. Les 38 équipes en provenance de 15 pays différents étaient parties 5 jours plus tôt de Darwin pour ce *World Solar Challenge*. Grâce au nouveau type d'E-Bike (bicyclette électrique) de la HES de Bienne, la course de cette équipe fut couronnée de succès. Le concept technologique qui unit intelligemment la force musculaire à une électronique de support (d'où l'appellation "IntelliBike") a ainsi fait ses preuves.

La suite d'une histoire à succès

C'est sous la direction d'Andrea Vezzini que les activités de développement déjà célèbres dans le domaine de la propulsion électrique ont pu être poursuivies à la HES de Bienne: "Dès le début des années 90, les véhicules solaires *Spirit of Biel* ont attiré beaucoup

d'attention sur notre travail. Cette histoire continue avec ce nouveau vélo pour lequel nous utilisons des moyens technologiques modernes. Ce faisant, nous nous concentrons de plus en plus sur des possibilités d'application dans la vie quotidienne."

La particularité d'*IntelliBike* est que la force musculaire du cycliste est multipliée par un facteur qui varie entre trois et six, et cela grâce à l'électronique de propulsion intégrée et à un nouveau type de moteur logé dans le moyeu de la roue. Une batterie de haute performance, qui offre une puissance nettement supérieure à celle d'une batterie traditionnelle, fournit l'énergie nécessaire.

IntelliBike en route à travers l'Australie. Le moteur à courant continu sans balai est intégré au moyeu de la roue arrière. Andrea Vezzini teste l'électronique (à droite).



Un nouveau système de gestion de l'énergie

Le Prix de l'innovation 2001 dans la catégorie Affaires/Transports du Wall Street Journal Europe a été décerné le 27 novembre 2001 à autork ltd. pour son produit le plus fameux, le CAN-CoSy qui agit comme le cœur du système de propulsion du vélo électronique. La toute nouvelle entreprise de Berne a développé un système de bus CAN (Controller Area Network) qui travaille avec des microprocesseurs placés dans des positions éloignées les unes des autres, ce qui évite des frais de câblage élevés. Le développement d'un premier modèle avec calculateur central avait été réalisé à la HES de Berne, avec le soutien de l'OFEN.

Le système de bus CAN assure la circulation de l'information et gère la commande des flux d'énergie. Le système modulaire comprend les sources d'électricité (par exemple, le générateur), les accumulateurs d'énergie et les consommateurs d'énergie. En tant que système de transmission électronique, il remplace

l'appareillage mécanique et permet de nouvelles applications stationnaires et mobiles. Le module de base est composé d'une carte à circuits imprimés de 50 mm x 50 mm. Il existe un système de propulsion complet avec (pour le moment) une tension de bord de 36 V/42 V et jusqu'à 2 kW de puissance.

Depuis peu, et grâce au système CAN-CoSy, les E-Bikes peuvent être construits sans chaînes ! Il est même possible de récupérer sur ce vélo l'énergie de freinage ! CAN-CoSy permet de coupler au système des composants tels que les moteurs intégrés à un moyeu de roue (dérivés de l'*IntelliBike* de la HES de Bienne), des Supercaps (HES de Lucerne) ou des éléments électrochimiques (PSI) et de les placer dans des produits commercialisables. Dans le domaine de la mobilité, cela concerne les vélos électroniques, les scooters légers hybrides, les scooters électriques, etc.

Un exemple d'application possible: la transmission sans chaîne de autork, appliquée à un vélo-scooter produit par ecomotion design, de Bonn.



www.autork.com



Un système électronique optimisé pour cette application particulière

Le moteur récemment développé est intégré au moyeu de la roue, le moyeu faisant office de rotor. Son volume, son poids et sa puissance sont optimisés pour cette application. C'est un moteur à courant continu sans balai, à excitation permanente, qui se caractérise par des pertes (propres et de marche à vide) réduites, ainsi que par un rendement élevé sur une large plage de couple et de vitesse de rotation.

Le moteur est commandé par une électronique de puissance qui reçoit les consignes (fixant la vitesse de rotation et le couple) de l'unité électronique qui gère l'ensemble formé par le véhicule et le cycliste. Les paramètres d'entrée de cette unité sont entre autres: la condition physique du cycliste, prise en considération par l'intermédiaire

d'un détecteur, placé dans la poignée du guidon, qui mesure la fréquence cardiaque; la fréquence des coups de pédale et la puissance d'appui sur la manivelle du pédalier (données biométriques) qui sont constamment calculées à partir des signaux de détec-

teurs placés dans le palier du pédalier. La transmission de l'*IntelliBike* peut ainsi fonctionner de manière autonome, ce qui permet d'accorder au mieux la performance du cycliste et celle du moteur électrique.

Transfert de technologies intelligentes

Andrea Vezzini ajoute: "En Australie, nous avons atteint des valeurs record grâce à l'*IntelliBike*: nous avons, par exemple, mesuré des vitesses de pointe supérieures à 100 km/h. Maintenant, notre but est d'appliquer les expériences acquises avec ces nouvelles technologies pour créer un produit adapté au marché, projet qui est entre autres soutenu par l'OFEN."

Martin Pulfer

Responsable du domaine Transports

Piles à combustible

HXS 1000 Première a obtenu son certificat CE

Le système de piles à combustible HXS 1000 Première de Sulzer Hexis a obtenu à la fin de 2001 son certificat CE. Cela va permettre de distribuer la première série d'appareils de ce type sur tout le marché de l'UE, sans avoir à demander dans chaque pays membre une coûteuse autorisation. Ce pas important pour conquérir le marché européen a été cofinancé par l'OFEN. On estime que, d'ici 2003, près de 400 piles à combustible devraient être installées auprès d'utilisateurs en Allemagne, en Autriche et en Suisse. La pile à combustible HXS 1000 Première, alimentée au gaz naturel, sera installée dans des maisons individuelles afin d'y satisfaire la consommation de base en chaleur et en électricité.

www.hexis.ch



Le modèle de pile à combustible certifié CE de Sulzer Hexis peut dorénavant être commercialisé dans l'ensemble de l'UE.

Sept séries de batteries lithium/polymère sont installées sur l'*IntelliBike*; chaque série comporte 14 unités avec les cellules, des sondes de mesure de la tension, du courant et de la température, ainsi qu'une électronique de contrôle. La densité d'énergie à pleine charge est d'environ 200 Wh/kg, alors que la puissance spécifique de pointe est proche de 500 W/kg.

Liens Internet

Tout sur l'E-Bike de la HES de Bienne
"Spirit of Bike"

www.spiritofbike.ch

www.hta-be.bfh.ch

Moins de carburant et d'émissions

Le projet *Clean Engine Vehicle* (CEV) explore le domaine de l'optimisation d'un moteur à gaz naturel

Christian Bach
Section Moteurs/
Installations de
combustion
LFEM/EMPA
CH-8600 Dübendorf

Martin Pulfer
Responsable du
domaine Transports
de l'OFEN

En l'an 2000, le LFEM/EMPA et deux instituts de l'EPF de Zurich ont lancé le projet Véhicule à moteur propre (CEV). Il s'agit de promouvoir le développement de la propulsion d'un véhicule à faible consommation et à émissions réduites, utilisant du gaz naturel. Résultat : le Clean Engine Vehicle affiche un niveau d'émissions comparable à celui de la propulsion électrique de véhicules (valeurs limites SULEV), et des émissions de CO₂ inférieures de 30 % à celles d'un véhicule à essence comparable. Des travaux antérieurs servent de base à ce projet, comme, par exemple, les recherches sur l'évaluation des gaz d'échappement sur la base de leurs effets sur l'environnement, la régulation du niveau des catalyseurs et le développement, subventionné par l'OFEN, du *swissmotor*, un moteur à rendement élevé. L'objectif consiste en un prototype de véhicule qui, dès le départ, est conçu en vue de sa commercialisation. Tout d'abord, une VW Polo a été transformée pour fonctionner uniquement au gaz naturel, afin de profiter de façon optimale des caractéristiques

environnementales et de carburation de cette source d'énergie, telles que l'indice d'octane élevé, l'absence de soufre et de composés aromatiques, le faible taux de carbone, ainsi que la réactivité beaucoup plus faible à l'ozone des hydrocarbures émis. Le cycle du moteur a été modélisé et simulé mathématiquement avec, pour double objectif, un rendement maximal et, simultanément, des émissions minimales de substances nocives.

La simulation a été utilisée comme outil de développement. Il a ainsi été possible d'évaluer l'amélioration apportée par une augmentation du taux de compression, avant de transformer le moteur en conséquence. Les résultats mesurés sur le banc d'essai stationnaire – comme étape de validation – ont par la suite confirmé les prévisions. De nouveaux pistons avec un agencement de la chambre de combustion modifié permettent de faire passer le taux de compression de 10,7 à 13,5 environ ; ce qui élève les pressions de compression et de combustion. Le rendement augmente, la consommation de carburant diminue.

D'autres optimisations ont été réalisées dans le domaine de l'allumage, de l'injection du gaz et du recyclage des gaz d'échappement. Le dispositif complexe Bosch ME-7 de gestion du moteur joue un rôle central dans tous ces réglages. Les ambitieux objectifs fixés seront atteints seulement lorsque l'équipe du projet aura réussi à concilier les exigences souvent contradictoires de la réduction des émissions et de l'optimisation de la consommation.

Le projet CEV a jusqu'ici montré clairement que les solutions avec des systèmes à une seule source d'énergie permettent de profiter au mieux des avantages du gaz naturel. Dans le courant de cette année, les travaux viseront à équiper le moteur d'un turbocompresseur de gaz d'échappement, afin de profiter au maximum de l'indice d'octane élevé du gaz naturel et de compenser le remplissage moindre, à charge maximale, résultant de l'injection du carburant sous forme de gaz. L'objectif recherché est une augmentation de la puissance de 20 % par rapport à celle du premier véhicule.

Liens Internet

Le projet CEV
au LFEM/EMPA
à Dübendorf
www.empa.ch

Laboratoire des
moteurs à com-
bustion interne et
des techniques de
combustion (LVV)
de l'EPFZ
www.lvv.ethz.ch

Institut des tech-
niques de mesure
et de réglage
(IMRT) de l'EPFZ
www.imrt.ethz.ch

3 pour 2020

Pour l'UE, seuls le biogaz, le gaz naturel et l'hydrogène ont une chance d'atteindre une quote-part supérieure à 5% de la consommation globale de carburants d'ici à l'an 2020. C'est dans ce cadre que le réseau de compétences PSI-LFEM/EMPA-EPFZ va lancer le projet "TreFa2kW" : Carburants et véhicules pour la Société à 2000 watts. Les procédés de production de carburants issus de sources d'énergie renouvelables ainsi que la propulsion de véhicules hautement efficaces et à émissions minimales se trouvent au centre des développements visés par ce projet. Des régions pilotes et des études de pénétration du marché permettront d'évaluer les potentiels d'implantation. "TreFa2kW" est ainsi un nouvel aspect de la recherche dans le domaine de la durabilité.

www.novatlantis.ch



*Projet CEV:
les résultats des
mesures au banc
d'essai stationnaire
confirment les
prévisions de la
simulation.*

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

Rejets de chaleur

Intégration énergétique de procédés discontinus à l'aide d'algorithmes génétiques, GABSOBHIN; Rapport final; Krummenacher Pierre, Renaud Blaise, Marechal François, Favrat Daniel; EPFL/DME/LENI; 12.2001; FR; F&E; Sfr. 15.00
 Nr. 210143

Abfalllösungsmittelmanagement in der chemischen Industrie; Jahresbericht 2001; Hofstetter Th., Capello Ch., Hungerbühler K.; ETH Labor für Technische Chemie; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210161

Analyse und Modellierung des Energiebedarfs in Batch-Prozessen; Jahresbericht 2001; Bieler Patric S.; ETH Labor für Technische Chemie; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210162

Abwärmenutzung Schlammverbrennung; ARA Basel; Zwischenbericht; Fath Horst; Elektra Baselland Liestal; 05.2001; DE; F&E; Sfr. 15.00
 Nr. 210182

Biomasse

Keramikkblech; Schlussbericht November 2001; Brogli Peter, Salerno Basso; Tonwerk Lausen AG; 11.2001; DE; P&D; Sfr. 15.00
 Nr. 210132

Herstellung von Holzpellets; Einfluss von Presshilfsmitteln auf Produktion, Qualität, Lagerung, Verbrennung sowie Energie- und Ökobilanz von Holzpellets; Schlussbericht; Hasler Philipp, Nussbaumer Thomas; Ing. Büro Verenum; 12.2001; DE; F&E; Sfr. 30.00
 Nr. 210184

Secondary Reactions of Tar during Thermochemical Biomass Conversion; Dissertation 14341; Morf Philipp Oliver; 09.2001; EN; F&E; Sfr. 30.00
 Nr. 210186

Grundlagen zur Teerbildung bei der Holzvergasung; Zusammenfassung Schlussbericht; Nussbaumer Thomas; Ing. Büro Verenum; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210185

Biomasse (sans le bois)

Rationelle Energieanwendung in der Landwirtschaft (REAL); Unter Berücksichtigung vermehrten Einsatzes erneuerbarer Energieträger; Schlussbericht; Hersener J.-L., Meier U.; 07.2001; DE; F&E; Sfr. 30.00
 Nr. 210120

Stand der Technik von Membranverfahren; Einsatzmöglichkeiten bei der Vergärung von Abwässern; Schlussbericht; Engeli Hans, Edelmann Werner; Engeli Engineering; 11.2001; DE; F&E; Sfr. 20.00
 Nr. 210133

Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas; Schlussbericht; Edelmann W., Schleiss K., Engeli H., Baier U.; Arbi Bioenergie GmbH; 11.2001; DE; F&E; Sfr. 45.00
 Nr. 210146

Électricité

Application of high Temperature Superconductivity in Power Systems; Final Report; Schnyder G., Rhyner J., Politano D., Sjöström M.; ABB Sécheron; 03.2000; EN; F&E; Sfr. 20.00
 Nr. 200278

Application of high Temperature Superconductivity in Power Systems; Summary; Schnyder G., Rhyner J., Politano D., Sjöström M.; ABB Sécheron; 03.2000; EN; F&E; Sfr. -
 Nr. 200279

Application of high Temperature Superconductivity in Power Systems; Zusammenfassung; Schnyder G., Rhyner J., Politano D., Sjöström M.; ABB Sécheron; 03.2000; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 200280

Application of high Temperature Superconductivity in Power Systems; Résumé; Schnyder G., Rhyner J., Politano D., Sjöström M.; ABB Sécheron; 03.2000; FR; F&E; Sfr. -
 Nr. 200281

IEA Implementing Agreement for a cooperative programme for assessing the impacts of High-Temperature Superconductivity on the electric power sector; IEA: final report; Vecsey G.; EPFL/CRPP Centre de recherches; 03.2001; EN; F&E; Sfr. -
 Nr. 210134

Wärmepumpentumbler für Mehrfamilienhäuser; Jahresbericht; Schwarzwald Ernst; Thermodul Consulting; 12.2001; DE; P&D; Sfr. 15.00
 Nr. 210196

AC Manager; Jahresbericht; Hauser Alois; Encontrol GmbH; 12.2001; DE; P&D; Sfr. -
 Nr. 210197

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in Verteilnetzen; Jahresbericht; Schnyder G.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210198

Energieaspekte in der IT-Ausbildung; Jahresbericht; Aebischer Bernard, Huser Alois, Rack Heike; CEPE ETH Zentrum, WEC; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210199

Elektrische Heizbänder; Anwendung, Energieverbrauch und Sparmöglichkeiten; Jahresbericht; Nipkow Jürg; Arena AG Energie-Alternativen; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210200

IEA-Implementing Agreement „Assessing the Impact of High Temp. Superconductivity on the Electric Power Sector“ (EXCO-Member); Jahresbericht; Flückiger René; Université de Genève; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210201

Betreuung des Kompetenzzentrums Energie und Informationstechnik; Jahresbericht; Aebischer Bernard; ETH Institut für Elektrische Informationstechnik; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210202

Energiesparender Schrittmotorantrieb; Jahresbericht; Berchten S.; LEAG Antriebstechnik AG; 12.2001; DE; F&E; Sfr. -
 Nr. 210203

Einsparpotential an elektr. Energie bei Motoren und Antrieben in der Lonza; Jahresbericht; Troger St., Schnyder G., Bregy V., Schnyder R.; Lonza AG; 12.2001; DE; P&D; SFr. -
Nr. 210204

Energy Efficiency in Computer Power Supplies; Jahresbericht; Aebischer Bernard, Huser Alois, Rack Heike; CEPE ETH Zentrum, WEC; 12.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210205

Schweizer Teilnahme im SAVE-Programm: Pilot Actions „Motor Challenge“ Programme; Jahresbericht; Nipkow Jürg; LEAG Antriebstechnik AG; 12.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210206

Druckluftoptimierung in einer Schreinerei; Jahresbericht; Gloor Rolf; Gloor Engineering; 12.2001; DE; P&D; SFr. -
Nr. 210207

Stromeffizienzpotenzial bei Servern; Jahresbericht; Huser Alois; Encontrol GmbH; 12.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210208

Druckluftoptimierung in einer Weberei; Jahresbericht; Gloor Rolf; Gloor Engineering; 12.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210209

Fondements de l'économie énergétique

Übersicht über die Besteuerung von Energieträgern in Europa; Kurzbericht; Iten Rolf, Gehrig Sonja, König Christoph; Infrac; 04.2000; DE; F&E; SFr. 30.00
Nr. 200270

Harmonisierung kantonaler Energievorschriften im Baubereich; Schlussbericht; Frauenfelder S., Baumgartner A., Jaboyedoff P.; 11.1999; DE; F&E; SFr. 50.00
Nr. 200273

Solarförderung (Photovoltaik) bei Produzenten; Strategien und Massnahmen im Ausland; Schlussbericht; Nowak Stefan; Nowak Energie & Technologie AG; 04.2000; DE; F&E; SFr. 20.00
Nr. 200277

Förderung des Exports im Bereich der Energietechnologien; Bericht; Iten R., Oettli B., Jochem E., Mannsbart W.; Infrac Zürich, Fraunhofer Institut; 07.2001; DE; F&E; SFr. 50.00
Nr. 210121

Bâtiments

Hochisolationsleitungen; Schlussbericht Vorstudie; Weber R.; EMPA Abt. 175, Haustechnik; 12.2001; DE; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210190

Géothermie

Mandat Geothermie; Indirekte Förderung; Schweizerische Vereinigung für Geothermie SVG/SSG; 10.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210118

Langzeitverhalten der EWS-Anlage in Elgg (ZH); Spotmessung vom Herbst 2001; Schlussbericht November 2001; Eugster Walter J.; Plydynamics Engineering Zürich; 11.2001; DE; P&D; SFr. 15.00
Nr. 210126

Long Term Influence of Multiple Heat Extraction Boreholes; Program 3-D FRACTure and comparison with a g-function calculated with the SBM program; Rapport intermédiaire; Brenni R., Kohl Th., Pahud D.; LEE; 08.2001; EN; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210129

Potentiel géothermique et possibilités d'utilisation des eaux chaudes des tunnels de base d'Alptransit; Etat des investigations; Rapport final; Wilhelm Jules; 10.2001; FR; P&D; SFr. 30.00
Nr. 210131

Pieux énergétiques avec distribution de chaleur et de froid intégrée dans la structure; Centre Scolaire Vers-l'Eglise / Fully; Rapport intermédiaire; Bonvin Michel, Cordonier Patrice; Espace Socio-culturel; 11.2001; FR; P&D; SFr. 15.00
Nr. 210135

Sfruttamento dell'acqua proveniente dal tunnel mappo-morettina; Riscaldamento centro sportivo e ricreativo mappo minusio; Rapporto Finale; De-Carli Marco; Municipio di Minusio; 11.2001; IT; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210138

Technischer Bericht Geothermie-Sondierbohrung Otterbach 2, Basel; Technischer Bericht; Häring Markus O.; Geothermal Explorers Ltd; 11.2001; DE; F&E; SFr. 30.00
Nr. 210139

Lebensdauer von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung; Schlussbericht; Rohner E., Rybach L., Salton M.; Grundag AG; 12.2001; DE; F&E; SFr. 20.00
Nr. 210140

Projet Mesure des performances thermiques d'une PAC sur sondes géothermiques à Lugano (TI); Rapport annuel 2001; Pahud Daniel, Lachal Bernard; LEE; 12.2001; FR; F&E; SFr. -
Nr. 210149

Projekt „Deep Heat Mining“; Anwendung der Hot-Dry-Rock/Hot-Wet-Rock-Technologie zur Strom- und Wärmeproduktion in der Schweiz; Resultate der Arbeiten 2001; Jahresbericht 2001; Arbeitsgemeinschaft Deep Heat Mining; Häring Geo Project; 12.2001; DE; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210150

Tunnel du Grand-St-Bernard; Analyse du rendement de la production de chaleur; Rapport final; Routier A., Meldem Ch., Meldem R.; Tunnel du Grand-Saint-Bernard; 12.2001; FR; P&D; SFr. 15.00
Nr. 210151

Geothermische Wärmepumpe „Thermalbad Egelsee“, 8280 Kreuzlingen; Schlussbericht; Tschuck W.; 12.2001; DE; P&D; SFr. 15.00
Nr. 210152

Wärme-Contracting Geothermie-Doulette Siedlung Solar One, Itingen BL; Messungen Energieverbrauch; Schlussbericht; Häring Markus, Leimer Thomas, Wahl Severino; Häring Geothermal Contractors; 01.2002; DE; P&D; SFr. 15.00
Nr. 210183

Photovoltaïque

Fotovoltaik-Wechselrichter im Vergleich; Tests an Sinus-Wechselrichtern für Fotovoltaik-Inselanlagen; Beitrag; Häberlin H.; Elektrotechnik; 11.2000; DE; F&E; SFr. - Nr. 200282

Fotovoltaik-Wechselrichter werden immer besser; Entwicklung der Fotovoltaik-Wechselrichter für Netzverbundanlagen 1989-2000; Beitrag; Häberlin H.; Elektrotechnik; 12.2000; DE; F&E; SFr. - Nr. 200283

Roof integrated amorphous silicon photovoltaic plant IMT Neuchâtel; Annual Report 1999; Tschärner Reto; Institut de Microtechnique de Uni Neuchâtel; 12.1999; EN, FR; P&D; SFr. - Nr. 200287

Roof integrated amorphous silicon photovoltaic plant IMT Neuchâtel; Annual Report 2000; Tschärner Reto; Institut de Microtechnique de Uni Neuchâtel; 12.2000; EN, FR; P&D; SFr. - Nr. 200288

Roof integrated amorphous silicon photovoltaic plant IMT Neuchâtel; Annual Report 1998; Tschärner Reto; Institut de Microtechnique de Uni Neuchâtel; 12.1999; EN, FR; P&D; SFr. - Nr. 200289

Roof integrated amorphous silicon photovoltaic plant IMT Neuchâtel; Annual Report 1997; Tschärner Reto; Institut de Microtechnique de Uni Neuchâtel; 12.1998; EN, FR; P&D; SFr. - Nr. 200290

Von simulierten Blitzströmen in Solarmodulen und Solargeneratoren induzierte Spannungen; Beitrag; Häberlin H., Fischer R., Minkner R.; 03.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210167

Netznachbildungen und Grenzwerte für EMV-Messungen auf der Gleichstromseite von Photovoltaik-Anlagen; Beitrag; Häberlin H., Fischer R.; 03.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210168

Entwicklung der Photovoltaik-Wechselrichter für Netzverbundanlagen 1989-2000; Beitrag; Häberlin H.; 03.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210169

Tests an Sinus-Wechselrichtern für Photovoltaik-Inselanlagen; Beitrag; Häberlin H., Renken Ch.; 03.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210170

Von simulierten Blitzströmen in Solarmodulen und Solargeneratoren induzierte Spannungen; Beitrag; Häberlin H.; 10.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210171

Evolution of Inverters for Grid connected PV-Systems from 1989 to 2000; Beitrag; Häberlin H.; 10.2001; EN; F&E; SFr. - Nr. 210172

New DC-LISN for EMC-Measurements on the DC Side of PV Systems: Realisation and first Measurements at Inverters; Beitrag; Häberlin H.; 10.2001; EN; F&E; SFr. - Nr. 210173

Interference Voltages induced by Magnetic Fields of Simulated Lightning Currents in Photovoltaic Modules and Arrays; Beitrag; Häberlin H.; 10.2001; EN; F&E; SFr. - Nr. 210174

Resultate von Tests an neueren Photovoltaik-Wechselrichtern für Netzverbundanlagen; Beitrag; Häberlin H.; 10.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210175

Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen; Teil 1; Beitrag; Häberlin H.; 04.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210176

Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen; Teil 2; Beitrag; Häberlin H.; 05.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210177

Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen; Teil 3; Beitrag; Häberlin H.; 06.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210178

Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen; Teil 4; Beitrag; Häberlin H.; 08.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210179

Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen; Teil 5; Beitrag; Häberlin H.; 09.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210180

Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen; Teil 6; Beitrag; Häberlin H.; 10.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210181

Roof integrated amorphous silicon photovoltaic plant IMT Neuchâtel; Annual Report 2001; Tschärner Reto; Institut de Microtechnique de Uni Neuchâtel; 12.2001; EN, FR; P&D; SFr. - Nr. 210211

Chaleur solaire

SPS: Projet d'une minicentrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kW_e; Partie A: Centrale solaire hybride; Rapport final; Martin Samuel, Kane Malick, Favrat Daniel; EPFL/DME/LENI; 12.2001; FR; F&E; SFr. 40.00 Nr. 210195

Small Hybrid Solar Power System; Artikel Ecos'01 July 4-6, 2001 Istanbul; Kane M., Larrain D., Favrat D., Allani Y.; EPFL/DME/LENI; 07.2002; EN; F&E; SFr. 10.00 Nr. 220002

Transfert de technologie / Systèmes

ENET-NEWS Nr. 50 deutsch; ENET; 12.2001; DE; F&E; SFr. - Nr. 210141

ENET-NEWS No 50 français; ENET; 12.2001; FR; F&E; SFr. - Nr. 210142

Chaleur ambiante

Small oilfree CO₂-compressor; Final report; Baumann Heinz; 11.2001; EN; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210124

Ölfreier CO₂-Kleinkompressor; Schlussbericht; Baumann Heinz; 11.2001; DE; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210125

Dynamischer Wärmepumpentest; Validierung des Modellansatzes und Entwicklung einer Prüfprozedur; Phase 2; Schlussbericht; Hubacher Beat, Ehrbar Max; Interstaatliche Fachhochschule; 09.2001; DE; F&E; SFr. 25.00
Nr. 210127

Charakteristiken von Vielzellenkompressoren; Schlussbericht; Zingerli Adrian, Ehrbar Max; Interstaatliche Fachhochschule; 09.2001; DE; F&E; SFr. 30.00
Nr. 210128

Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen (A Short-Term Rating Method for Heat Pump Heating Systems); Phase 5: Test der Fehlerdiagnosesysteme (Test of the Fault Diagnosis Systems); Schlussbericht; Zogg David, Shafai Esfandiar; ETH Institut für Mess- und Regeltechnik; 11.2001; DE, EN; F&E; SFr. 30.00
Nr. 210136

Kleinwärmepumpe mit Ammoniak, Phase 2; Schlussbericht; Kopp Th.; Hochschule Rapperswil HSR; 12.2001; DE; F&E; SFr. 30.00
Nr. 210137

Pompe à Chaleur air-eau à Haute Température: Phase 2: Développement et essais avec un compresseur à injection vapeur; Rapport intermédiaire; Schiffmann Jürg, Guex Stéphane, Favrat Daniel; EPFL/DME/LENI; 07.2001; FR; F&E; SFr. 20.00
Nr. 210145

Ausbau der Calc-Programme; Phase 1: Konzept und Pflichtenheft; Schlussbericht; Zweifel G., Stalder M., Erb M., Shafai E., Achermann M., von Euw R.; Hochschule für Technik und Architektur; 12.2001; DE; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210154

Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge; Jahresbericht 2001; Kohl Thomas, Signorelli Sarah; Institut für Geophysik ETH Zürich; 12.2001; DE; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210155

Messungen an Retrofit-Wärmepumpen, Phase 2; Jahresbericht 2001; Gabathuler Hans Rudolf, Mayer Hans; KWT Kälte-Wärme-Technik AG; 12.2001; DE; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210156

Pompe à Chaleur air-eau à Haute Température; Rapport annuel 2001; Guex Stéphane, Favrat Daniel; EPFL/DME/LENI; 12.2001; FR; F&E; SFr. -
Nr. 210157

Migration d'huile dans les pompes à chaleur; Rapport annuel 2001; Zehnder Michele, Favrat Daniel; EPFL/DME/LENI; 12.2001; FR; F&E; SFr. -
Nr. 210158

Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen; Jahresbericht 2001; Afjei Th., Schonhard U., Zweifel G., Achermann M., von Euw R., Gabathuler H.R., Erb M., Renaud P.; Fachhochschule beider Basel; 12.2001; DE; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210159

Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen – Phase 2; Jahresbericht 2001; Gabathuler H.R., Mayer H., Shafai E., Wimmer R.; Gabathuler AG; 12.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210160

CEN TC 113, Vertretung der Schweiz WG7, WG8 und WG9; Jahresbericht 2001; Roth Stefan, Ehrbar Max, Montani André, Eggenschwiler Kurt; NOK Nordostschweiz. Kraftwerke; 12.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210163

Wärmequelle Luft für Retrofit-Wärmepumpen; Jahresbericht 2001; Kopp Th., Deller M., Trüssel D., Eggenschwiler K., Baschnagel K.; Fachhochschule Rapperswil HSR; 12.2001; DE; F&E; SFr. -
Nr. 210164

Biogasmotor; Rapport annuel 2001; Roubaud A., Favrat D.; EPFL/DME/LENI; 12.2001; FR; F&E; SFr. -
Nr. 210165

Utilisation optimale de l'énergie primaire et réduction de CO₂ au moyen de systèmes combinés pompes à chaleur - couplages chaleur-force; Rapport final; Conti & Associés Ingénieurs SA; 01.2002; FR; F&E; SFr. 20.00
Nr. 220001

Transports

Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen (LEM) in Mendrisio; Synthesebereicht; Schwegler Urs, Wegmann Susanne; ASSOVEL; 08.2001; DE; P&D; SFr. 8.00
Nr. 210194

Énergie éolienne

Die Berücksichtigung der Windenergie in der Richt- und Nutzungsplanung; Schlussbericht; Soguel Robyr, Henz H.R.; Metron AG; 12.2001; DE; F&E; SFr. 20.00
Nr. 210189

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





En route pour l'environnement.

gaz naturel 