

ENET NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique



Office fédéral de l'énergie
Perspectives pour l'avenir

Chaleur ambiante
Toujours plus, toujours mieux !

Batteries
En fonctionnement fixe et mobile

www.energieforschung.ch

Office fédéral de l'énergie

- Perspectives pour l'avenir4
- Au cœur des programmes de l'OFEN.....4
- Le *prix pegasus* 2004 encourage les nouveautés6
- Les réserves mondiales de pétrole6

CORE

- Miser sur l'innovation technique7

ENET

- Voir les choses globalement9

Fondements de l'économie énergétique

- Analyser et comparer10
- Le vent et l'eau se complètent.....11

Petites centrales hydroélectriques

- Turbiner avant de boire12

Biomasse

- La Suisse se présente.....13

**Bois**

- Une installation pilote convaincante14
- Un label de qualité grâce aux essais15

Photovoltaïque

- À intégrer aux éléments de construction ..16
- Une nouvelle branche est née16

Énergie éolienne

- Des conditions cadres tempétueuses18
- Les expériences faites au Güttsch ont vraiment de quoi impressionner19

Stockage de chaleur / Géothermie

- Simuler chauffage et refroidissement20

**Chaleur ambiante**

- Toujours plus, toujours mieux !21
- Ne pas perdre de vue l'installation complète26
- WPZ de Buchs: tout va pour le mieux, les essais ont débuté26
- Conçue pour la rénovation.....28
- Chronologie de la *Swiss Retrofit Heat Pump* (SRHP).....29
- Étudier les pieds au chaud.....30

Bâtiment

- Un acheteur futé.....31
- Davantage de lumière du jour dans les bâtiments commerciaux.....31

Batteries / Transport

- En fonctionnement fixe et mobile32
- VEL2 aborde la dernière ligne droite.....33

Électricité

- Plus que jamais décentralisée34
- Utilisation de limiteurs supraconducteurs de courant.....34

Énergie nucléaire

- Sous la loupe: le taux de combustion élevé.....36

Technologie des procédés

- Modèles d'installations de production en *batch*.....38

Publications : parutions nouvelles.....39**Impressum**

ENET-NEWS
Nouvelles de la recherche énergétique

Juillet 2004 / N° 58

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

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

Adresse postale
OFEN
CH-3003 Berne

Rédaction
ENET Communication
Jürg Wellstein
Parkstrasse 15
CH-4106 Therwil

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

Traduction française
Jean-Marc Suter
Suter Consulting
Aarstrasse 98
CH-3005 Berne

Reproduction autorisée seulement avec l'indication de la source.

Papier : papier recyclé Cyclus Print, mat, couché deux faces.
Imprimé en Suisse.

Photo de couverture

Dans le domaine de la mise en valeur de la chaleur ambiante, les efforts consentis au niveau de la recherche et du développement ont porté des fruits. Des mesures ciblées visant à assurer la qualité, comme ici au Centre d'essai des pompes à chaleur de Buchs (SG) – le WPZ de Buchs – permettent d'améliorer les performances et de renforcer la confiance des clients potentiels dans cette technologie.
(Source : GSP, STASCH)

Quel confort !

Il est devenu de bon ton d'installer une pompe à chaleur dans les villas nouvellement construites : aujourd'hui, une nouvelle villa sur trois est équipée de ce système de chauffage écologique, et ce nombre augmente année après année. Le Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP) encourage depuis sa création en 1993 ce que le public demande : un chauffage écologique grâce aux pompes à chaleur. Le GSP s'acquitte de sa tâche en préparant de multiples supports de communication, en travaillant avec les médias et en informant le grand public, en collaborant avec des institutions et groupements nationaux et internationaux, ainsi que par le biais d'un système d'assurance qualité bien développé ; le Centre national d'essai des pompes à chaleur, situé à la Haute École spécialisée de Buchs (SG), fait notamment partie de cette stratégie d'assurance qualité.

Si, d'emblée, les avantages écologiques de la pompe à chaleur n'ont jamais été contestés, ils ont surtout convaincu au début ceux qui avaient à cœur de protéger l'environnement et de ménager les ressources naturelles. Aujourd'hui, ce sont aussi les avantages en matière de confort et les arguments économiques qui séduisent : en installant une pompe à chaleur, on se rend indépendant du prix du mazout, dans le court comme dans le long terme, on fait l'économie d'une citerne et de son local, on n'a besoin ni de cheminée ni de ramoneur, on augmente la valeur de son bâtiment et, en prime, on peut se prévaloir d'œuvrer en faveur de l'environnement. C'est à cet avantage supplémentaire que constitue le confort, et également à l'augmentation de la valeur de l'immeuble que la pompe à chaleur doit son succès auprès des propriétaires.

À fin 2003, on comptait en Suisse quelque 85'000 chauffages écologiques de ce type en fonctionnement. Ils devraient être 120'000 d'ici à 2010, selon l'objectif que s'est donné la Confédération. On épargne ainsi déjà à notre environnement chaque année la combustion de 400'000 tonnes de mazout et on réduit les émissions de CO₂ d'un million de tonnes par an. Ces deux chiffres démontrent parfaitement que la pompe à chaleur apporte une contribution importante à la réduction des émissions de CO₂. La grande efficacité et la durabilité de la pompe à chaleur justifient la priorité élevée dont elle bénéficie au sein du programme de politique énergétique de la Suisse et l'élèvent au rang de pilier de la politique énergétique suisse. L'histoire et l'activité du GSP sont donc aussi étroitement liées aux objectifs du programme SuisseEnergie de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) en matière d'énergie et de protection du climat. Ensemble, nous appliquons systématiquement une stratégie de la qualité, car seule une pompe à chaleur parfaitement efficace et de qualité irréprochable est une alternative véritable aux agents énergétiques fossiles.

Amélioration de la qualité de vie, augmentation du confort, accroissement de la valeur du bien immobilier, réduction des coûts énergétiques et protection de l'environnement : la pompe à chaleur s'impose, car ses avantages convainquent sur toute la ligne.

Peter Bieri, Conseiller aux États,
Président du Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP)

Recherche énergétique 2003

Les rapports de synthèse des chefs des programmes de l'OFEN ont été regroupés dans la publication annuelle *Energie-Forschung / Recherche énergétique 2003*. On y trouve, sous une forme condensée, des renseignements sur les projets de recherche et de développement réalisés en 2003 et sur les projets pilotes et de démonstration de cette même année. La compétence en matière de recherche et l'engagement remarquable des chercheurs et des industriels se sont trouvés confirmés, une fois de plus, au cours de 330 projets R+D et de plus de 220 projets P+D.

Ce sont des travaux de recherche et de développement en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment qui ont conduit, par exemple, aux standards Minergie et Minergie-P, ainsi qu'aux sept schémas hydrauliques standard recommandés dans les installations de pompes à chaleur.

Energie-Forschung / Recherche énergétique 2003 – Überblicksberichte der Programmleiter / Rapports de synthèse des chefs de programme :

www.suisse-energie.ch (→ Recherche)

www.energieforschung.ch (→ Publications)

Office fédéral de l'énergie



Perspectives pour l'avenir

Les perspectives énergétiques définissent des objectifs à moyen et à long terme

Martin Renggli

Chef de la division Économie et politique énergétique de l'OFEN

Marianne Zünd

Responsable de la communication de l'OFEN

En matière d'énergie et de CO₂, quels sont les objectifs que la Suisse entend définir pour les années de l'après-2010? Bien que la notion de "Société à 2000 watts" précise déjà une vision à long terme, deux points restent peu clairs : comment appliquer cette vision et quels objectifs fixer à moyen terme? C'est pour répondre à ces questions que l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a lancé en début d'année un projet qui devrait concrétiser les perspectives énergétiques jusqu'en 2035.

Groupe d'étude et forum

Les analyses se basent sur les données actuelles relatives aux conditions-cadres et à

l'évolution économique et démographique. Elles comprennent une étude approfondie des technologies, d'éventuelles mesures de politique énergétique, ainsi que l'impact de ces dernières sur l'économie nationale et l'écologie. Les résultats du projet serviront de base à de futurs débats et aux décisions politiques à venir.

Pour accompagner ce projet, l'OFEN a institué – outre un groupe d'étude scientifique – le "Forum des perspectives énergétiques 2035", qui doit discuter des principales hypothèses, des options et des consé-

Au cœur des programmes de l'OFEN

Ces dernières années, Hans Luzius Schmid, directeur suppléant de l'OFEN et responsable des programmes, s'est trouvé placé au cœur d'Énergie 2000 et de SuisseEnergie. Il prend maintenant sa retraite. Dans les lignes qui suivent, il parle de son expérience et précise comment il voit l'avenir des questions énergétiques en Suisse.

Que pensez-vous de l'évolution de la politique énergétique suisse, telle que vous avez pu la suivre au cours de votre activité au sein de l'OFEN?

Hans Luzius Schmid: Je peux subdiviser mes 30 années de travail à l'OFEN en deux périodes de durées approximativement égales.

L'époque des concepts, des perspectives et des scénarios a duré de 1974 à 1990. Suite à la crise du pétrole des années 1973 et 1974, au débat sur l'énergie nucléaire et à "Tchernobyl", des quantités considérables de données de base en rapport avec la politique énergétique ont été élaborées au niveau fédéral, marquant ensuite celle-ci durablement. Les scénarios de la Commission fédérale pour une conception globale de l'éner-

gie (CGE/GEK, 1978) ont créé les bases nécessaires à l'article sur l'énergie de la Constitution fédérale. Les perspectives de cette Commission ont servi à l'introduction de la clause du besoin pour la construction de centrales nucléaires et permis de classer les dossiers "Kaiseraugst" et "Graben". Les scénarios du Groupe d'Experts "Scénarios Énergétiques" (EGES, 1988) ont précisé les conséquences soit d'un abandon, soit d'un moratoire, soit d'un développement de l'énergie nucléaire en Suisse. Pendant toute cette période, pratiquement aucun progrès n'a été possible en matière de politique énergétique, à cause du blocage sur l'avenir de l'énergie nucléaire.

L'adoption de l'article sur l'énergie dans la Constitution fédérale et du moratoire nucléaire en septembre 1990 a inauguré la phase de mise en œuvre de la politique énergétique au niveau fédéral, précisément par le biais du programme Énergie 2000. Tous les milieux concernés se sont accordés sur la priorité à donner à l'utilisation rationnelle de l'énergie et aux sources d'énergie renouvelables. Au terme de ce programme, vers la fin des années 90, une consultation a confirmé que cet effort devait être poursuivi. Mais en

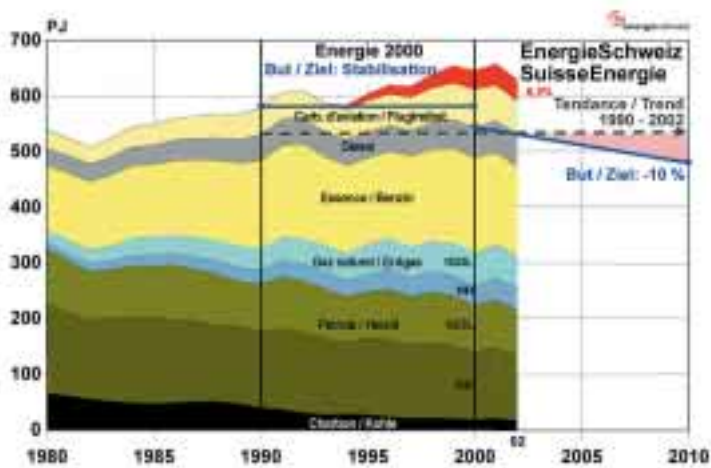


La carrière de Hans Luzius Schmid a débuté par des études à l'EPF de Zurich. En tant que responsable des programmes de l'OFEN, il a eu régulièrement l'occasion de mettre en œuvre les résultats des recherches réalisées dans les Hautes Écoles.

quences des scénarios d'avenir. Ce forum comprend des représentants de l'économie, des consommateurs, des agents énergétiques, des syndicats, des associations de défense de l'environnement, ainsi que des Cantons et des milieux scientifiques. C'est à l'occasion d'un atelier, en février 2004, que le groupe d'étude et le forum ont pu discuter de la disponibilité future des ressources fossiles. Un deuxième atelier sur les options futures de la production d'électricité a eu lieu le 2 juillet. Parmi les thèmes importants des perspectives énergétiques pour 2035, on trouve également la sécurité de l'approvisionnement en énergie et la relève des centrales nucléaires actuelles après leur arrêt en fin de carrière.

Des paramètres pour la modélisation

D'après l'OFEN, les premiers résultats pourront être présentés fin 2005, tandis que



À quoi ressemblera la politique énergétique suisse de l'après-2010 ?

des réflexions sur la manière d'atteindre l'objectif ambitieux de la "Société à 2000 watts" devraient être disponibles dans le courant de 2006.

2003, suite au programme d'allègement budgétaire, le programme SuisseEnergie, lancé en 2001 pour permettre d'atteindre les objectifs suisses de politique énergétique et climatique, aurait malgré tout été abandonné, pour ainsi dire. Grâce au soutien des partenaires de SuisseEnergie – les Cantons, les Communes et l'économie – et grâce aux résultats déjà obtenus, ce programme peut toutefois actuellement se poursuivre avec un budget annuel réduit, qui est de 45 au lieu de 55 millions de francs.

Quels sont, selon vous, les résultats marquants des recherches de ces dernières années ?

Des succès ont été enregistrés dans tous les domaines ; mais c'est certainement dans le domaine du bâtiment qu'ils sont les plus évidents. Grâce à une recherche intensive sur divers composants, tels que le chauffage (bois, pompes à chaleur, chaudières de haut rendement), l'isolation, la ventilation et l'utilisation de l'énergie solaire, la consommation d'énergie dans les nouveaux bâtiments construits dans une optique d'efficacité a pu être réduite à une fraction de ce qu'elle est dans les bâtiments traditionnels (technique

Minergie). Le soutien à grande échelle des installations pilote et de démonstration (P+D) a permis au marché de mettre en œuvre rapidement et efficacement les résultats des

"Rien n'est bon, tant qu'on ne le fait pas !" Hans Luzius Schmid

recherches. Il faut ajouter à cette énumération les progrès obtenus avec des technologies nouvelles dont l'effet ne sera visible sur le marché que dans quelques années ; à long terme, ils contribueront beaucoup à l'approvisionnement durable en énergie. Les piles à combustible utilisées pour les applications mobiles ou fixes (Sulzer Hexis) comptent parmi ces technologies développées avec succès en Suisse. Des progrès ont également été obtenus dans divers domaines, comme le photovoltaïque, l'hydrogène et la géothermie, dans lesquels la Suisse est à la pointe de la recherche internationale.

Vu la situation actuelle de la consommation d'énergie et les défis du futur, quels

conseils donneriez-vous aux acteurs de la recherche énergétique ?

La recherche à elle seule n'est que de peu d'utilité. C'est la mise en œuvre de ses résultats qui détermine son impact sur le marché. Il ne faut pas relâcher les efforts dans le domaine des installations P+D, ni en matière de commercialisation, dans le cadre de SuisseEnergie. Après la réduction des crédits fédéraux destinés aux installations P+D, nous espérons maintenant être davantage soutenus par les divers secteurs de l'économie de l'énergie, en particulier par celui de l'électricité.

Malgré une réalité pas toujours encourageante, comment avez-vous réussi à maintenir votre façon visionnaire de voir les choses ?

Grâce à mon intime conviction qu'en matière de politique énergétique et climatique, l'efficacité énergétique et les sources d'énergie renouvelables mèneront notre pays dans la bonne direction, celle d'un approvisionnement durable en énergie

Le prix pegasus 2004 encourage les nouveautés

Le *prix pegasus* de SuisseEnergie récompense des projets en rapport avec la mobilité durable. Il vient d'être décerné pour la deuxième fois dans le cadre du 7^e Forum international de l'énergie *sun21*. Ce sont 6 idées diverses qui ont été sélectionnées parmi les 47 projets présentés. Cette remise de prix a pour but de soutenir des approches novatrices visant à réduire la consommation d'énergie, à utiliser plus efficacement les moyens de transport et à sensibiliser les protagonistes du trafic.

Parmi les nouveautés techniques, c'est "Max" qui a été sélectionné. Il s'agit d'une combinaison polyvalente entre une remorque de bicyclette et un caddie, qui peut aisément être utilisée à l'intérieur d'un magasin pour faire ses achats. La voiture "publique" de *Mobility* est une autre idée intéressante. Grâce à l'extension des possibilités d'utilisation de cartes à puce sans contact électrique pour le transfert des données, le nombre des usagers devrait

Les deux tiers des automobiles actuellement en circulation roulent avec des pneus mal gonflés. Un projet de sensibilisation et de formation veut démontrer aussi bien les avantages d'une pression correcte des pneus que l'économie d'énergie qui en résulte. En ville de Genève, quelque 45'000 collaborateurs des administrations, des organisations et d'entreprises les plus diverses devraient être gagnés à la cause d'une mobilité écologiquement acceptable, au travers d'une offre de moyens de transport diversifiée et appliquée à grande échelle. L'administration communale veut également mettre sur pied des mesures d'incitation économiques ciblées dans le but de favoriser ce "changement de moyen de transport".



Remise du prix pegasus dans le cadre du Forum international de l'énergie *sun21*.

augmenter, même pour des trajets non programmés d'avance.

Le passage des carburants fossiles au biogaz représente un pas important vers la mobilité durable. Vu le nombre particulièrement élevé de têtes de bétail dans le Canton de Lucerne, *SwissFarmerPower* veut y construire une installation-pilote pour la production de biogaz à partir de purin et de fumier. Il en résulte un effet secondaire important : le transport de purin sur de longues distances deviendra moins fréquent.

La population suisse génère du trafic non seulement à l'intérieur du pays, mais aussi lorsqu'elle se rend à l'étranger. Utilisant un outil de formation virtuel et un calculateur de mobilité, *VISUMtourism* poursuit l'objectif de calculer le "coût écologique" des diverses variantes de déplacements à l'étranger.

www.prixpegasus.ch
www.sun21.ch

Les réserves mondiales de pétrole

Les prévisions relatives aux réserves de pétrole ont été le sujet central d'un colloque de la Fondation suisse de l'énergie (FSE), qui s'est tenu à Zurich à la mi-mai. Constatation de départ : il s'est avéré que la répartition des ressources énergétiques a de tout temps engendré des guerres. C'est pour cette raison que, en plus des aspects techniques, il faut également tenir compte de ceux relevant de la société et de la politique de la paix.

Parmi les experts suisses et étrangers participant à ce colloque, Martin Renggli, chef de la division Économie et politique énergétique de l'OFEN, a fait remarquer que tout le monde s'accordait aujourd'hui sur le fait que la mise en valeur de nouveaux champs pétrolifères s'appuie sur des données peu sûres et se caractérise par un succès déclinant. Parallèlement, il ne fait aucun doute que la demande internationale augmente, de même que la dépendance de notre approvisionnement à l'égard du Moyen-Orient. En outre, l'orateur a signalé que la répartition entre les divers agents énergétiques ne verra guère de modification fondamentale au cours des prochaines années.

La politique énergétique et climatique suisse a pour objectif une réduction de la consommation des agents énergétiques fossiles. Alors que l'objectif visé, d'ici à 2010, pour les combustibles pourrait être plus ou moins atteint, il faut s'attendre, au cours de la même période, plutôt à une augmentation qu'à une réduction de la consommation de carburants. Divers aspects de l'évolution dans le temps des quantités de pétrole extraites et de ce qui se passera probablement quand ces quantités régresseront, ont également été discutés au cours du colloque.

Sachant qu'environ 70 % du pétrole pompé est destiné à la mobilité, on peut se rendre compte des possibilités d'économies que représentent la construction de véhicules futuristes, les nouveaux systèmes de transport et certains changements dans les comportements actuels en matière de mobilité.

Pour de plus amples renseignements :
www.energiestiftung.ch

Miser sur l'innovation technique

Combiner les pompes à chaleur et d'autres mesures pour économiser encore davantage l'énergie

Madame Giuse Togni est membre de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) depuis environ huit ans. Elle y représente le point de vue des PME tout en étant la marraine du programme de recherche "Chaleur ambiante, couplage chaleur-force et production de froid". Dans l'interview qui suit, Giuse Togni parle de la politique énergétique suisse, du succès des pompes à chaleur et des visions du nouveau *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2004–2007*, élaboré par la CORE.

Quelle est votre activité professionnelle, en dehors de votre affiliation à la CORE ?

Giuse Togni : Ce sont mes études en physique qui m'ont amenée dans le monde de l'énergie. Je suis actuellement partenaire de la société eTeam Sàrl., à Zurich. Dans ce cadre, j'étudie pour les municipalités des projets en rapport avec l'énergie et collabore à l'optimisation de l'exploitation dans

"La raison d'être de la pompe à chaleur a été largement diffusée et clairement communiquée."

Giuse Togni

le domaine du bâtiment. Le fait de partager mes bureaux avec l'Agence suisse pour l'efficacité énergétique (S.A.F.E.) me permet d'entrer en contact avec d'autres projets consacrés à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Mon rôle de mère de famille m'amène aussi à me sentir concernée par un comportement durable et exemplaire vis-à-vis de l'énergie et de l'environnement, deux domaines que nous devons maintenir intacts pour les générations à venir.

Que pensez-vous de la politique énergétique suisse ?

Nous avons des lois, nous visons certains objectifs et nous avons un programme remarquable, SuisseEnergie. Mais dans l'ensemble, il me semble que nous n'avons pas encore vraiment compris ce que nous devrions faire. Sachant que les réserves d'agents énergétiques fossiles sont limitées et qu'il nous faut trouver des alternatives à l'énergie nucléaire, nous devrions agir avec

constructif et que les discussions ont lieu entre spécialistes compétents. Les programmes qui y ont vu le jour se basent sur cette coopération intensive et sur une perspective à long terme. Le nouveau *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2004–2007*, élaboré par la CORE, envisage l'horizon 2050 et propose des recommandations pour les travaux de recherche et de développement de ces prochaines années. Toutefois, aucun jalon concret n'a encore été planté d'ici à 2050



Giuse Togni :
À vrai dire, en Suisse, nous sommes prédestinés à la fabrication de produits exigeants, tels que les pompes à chaleur de haute performance.

nettement plus d'entrain. Il faudrait surtout appliquer davantage les technologies qui sont déjà à notre disposition aujourd'hui. En outre, j'ai des doutes quant à l'efficacité des mesures volontaires. Pourquoi ne pourrions-nous pas renforcer les lois sur le bâtiment ? Pourquoi importons-nous encore des appareils, des automobiles, etc. de faible efficacité énergétique ?

Que pensez-vous de l'impact des programmes de la CORE ?

Pendant tout le temps que j'ai passé à la CORE, j'ai constaté que le travail y est

pour la période intermédiaire ; il faut établir des "feuilles de route". Enfin, il ne faut pas oublier que le contrôle des divers efforts de mise en œuvre n'est pas du ressort de la CORE.

Vous êtes la marraine du programme de recherche "Chaleur ambiante". Que pensez-vous de son évolution ?

Dans ce programme, on travaille depuis toujours, et de manière ciblée, à l'augmentation de l'efficacité, comme au développement d'une pompe à chaleur destinée au marché de la rénovation. Les nouveaux

projets ne sont soutenus que s'ils répondent à ces objectifs et sont ensuite suivis de manière adéquate. La concentration importante, mais nécessaire, des études sur les pompes à chaleur a provoqué un certain abandon du couplage chaleur-force. Mais le soutien de l'Association suisse pour le couplage chaleur-force devrait donner de nouvelles impulsions et réactiver cette partie du programme.

Quelle est la raison de la diffusion à grande échelle de la pompe à chaleur au cours de ces dernières années ?

Des produits bien au point ont été développés. La pompe à chaleur fournit au bâti-



Giuse Togni : Les femmes sont souvent plus conscientes de l'urgence d'un développement durable pour le bien des générations à venir.

ment la chaleur nécessaire, tout en occupant un espace restreint. Voilà les arguments qui ont convaincu. Mais des lois sur l'énergie, telles que celle du Canton de Zurich où, dans les nouvelles constructions, seuls 80% des besoins en énergie peuvent être couverts par des sources d'énergie fossiles, ont aussi contribué au succès de la pompe à chaleur. Cette tech-

nologie a su saisir de façon remarquable cette opportunité. En outre, sa raison d'être a été largement diffusée et clairement communiquée aux propriétaires en diverses occasions, telles que foires, colloques, conférences, journées portes ouvertes, etc.

La pompe à chaleur a-t-elle aussi des aspects critiques ?

Oui, et à mon sens, il y en a deux. Tout d'abord, l'installation d'une pompe à chaleur doit être préparée et réalisée avec plus de soin que celle d'un chauffage classique. C'est une technique plus délicate. Nous rencontrons aujourd'hui encore des personnes qui ont fait de mauvaises expériences dans ce domaine. Mais nous avons réagi de manière appropriée, en prenant de nombreuses mesures pour améliorer et assurer la qualité. Et puis, dans tout projet, la différence de température entre la source de chaleur de la pompe à chaleur et le départ du chauffage doit être maintenue aussi petite que possible. Le deuxième aspect critique tient pour moi à la provenance de l'électricité nécessaire au fonctionnement de ces appareils. Dans les années 90, on considérait que les pompes à chaleur remplaçaient des chauffages électriques. Aujourd'hui, on dit plutôt qu'il s'agit d'éviter l'émission de CO₂. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue cette question de la provenance de l'électricité.

Comment jugez-vous les efforts faits pour fabriquer des pompes à chaleur en Suisse ?

Il s'agit de produits relevant d'une technologie exigeante et pour la fabrication desquels nous sommes à vrai dire prédestinés en Suisse. Je pars de l'idée qu'il faut encourager la collaboration entre les diverses entreprises afin de concentrer le savoir-faire et de réaliser des productions en série ; il s'agit d'acquérir toujours plus d'expérience, tout en faisant baisser les prix. Dans ce contexte, on peut tout à fait envisager l'exportation vers des pays voisins, comme la France, où il serait possible de remplacer quantité de chauffages électriques.

Pour provoquer des changements dans les domaines du bâtiment et de l'énergie, ne faut-il pas aussi agir davantage sur la

législation ? Quelle est votre opinion sur ce sujet ?

En effet, il est prouvé que des lois appropriées ont un impact positif. On peut aussi laisser faire le marché ; mais je crains que, dans ce cas, nous n'arrivions trop tard quand les circonstances externes entourant les agents énergétiques fossiles changeront rapidement. Dans le domaine du bâtiment, la durée des cycles de vie est trop longue pour pouvoir réagir avec efficacité aux variations de prix des sources d'énergie. Nous devrions nous y préparer dès aujourd'hui. Il faut aussi constater que l'efficacité de certaines technologies a énormément augmenté, tandis que, pour d'autres, nous

**“Il me semble que nous
n'avons pas encore vraiment
compris ce que
nous devrions faire.”
Giuse Togni**

n'avons presque rien entrepris. Comment comprendre qu'on utilise encore, dans la construction de nouveaux bâtiments, des techniques dépassées, alors qu'on achète toujours un ordinateur dernier modèle ?

La recherche énergétique et le monde de l'énergie sont des domaines réservés en grande partie aux hommes. Quels changements pourrait apporter la présence d'un plus grand nombre de femmes ?

Bien que les femmes aient un niveau de connaissance et d'études comparables à celui des hommes, j'ai l'impression qu'elles acceptent moins les compromis et poursuivent leurs objectifs avec plus de fermeté. Cela est probablement dû au fait qu'elles sont davantage conscientes de l'urgence d'un développement durable, pour le bien des générations à venir. C'est dans ce sens que je souhaite une présence plus marquée des femmes dans la recherche énergétique.

Voir les choses globalement

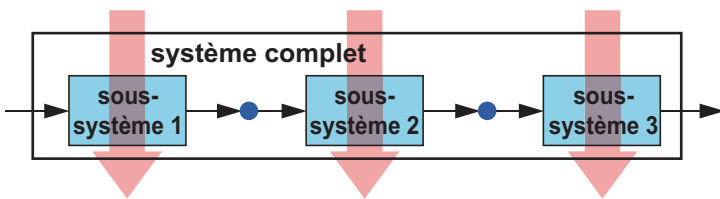
Une approche différente pour l'identification des améliorations possibles

Michael Spirig
ENET Transfert
de technologie
CH-9320 Arbon

L'utilisation rationnelle de l'énergie et la mise en valeur des sources d'énergie renouvelables nécessitent des techniques et des systèmes adaptés au marché. En combinant astucieusement technologies bien établies et technologies nouvelles, on obtient des solutions novatrices. À cet égard, le couplage chaleur-force, associé à des réacteurs pour la production de gaz d'origine biogène, à des pompes à chaleur, à des piles à combustible ou à des turbines à vapeur, est un exemple typique, mais il n'est de loin pas le seul. Jusqu'à ce qu'un produit commercialisable émerge d'une structure aussi complexe, il faut s'attacher avant tout à améliorer tant les sous-systèmes que les systèmes complets existants. Mais où mettre la priorité ?

Les sous-systèmes

Le système complet (fig. 1) est constitué d'une chaîne de sous-systèmes, les paramètres de sortie de l'un d'entre eux étant également les données d'entrée du suivant. L'ajustement des valeurs de sortie, en fonc-



Démarche orientée vers les "sous-systèmes".

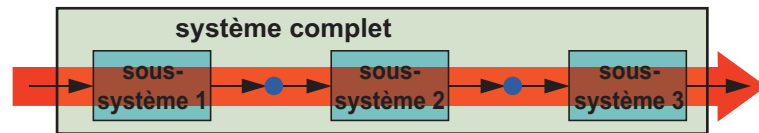
tion des contraintes imposées par les paramètres d'entrée suivants, a un effet sur l'aptitude fonctionnelle des sous-systèmes et, implicitement, aussi sur celle du système complet. L'ajustement et l'optimisation des sous-systèmes entre eux et le recours à des étapes préparatoires additionnelles, ou à des systèmes auxiliaires, semblent indispensables. Les conséquences en sont une augmentation de la complexité et, en général, des investissements plus élevés.

Une telle démarche est orientée vers les "sous-systèmes"; elle résulte de l'histoire du développement et de la structure

d'une solution. Le but est d'amener au succès le système complet au travers de sous-systèmes bien ajustés les uns aux autres. Les systèmes complets qui en résultent atteignent plus ou moins bien la fonctionnalité requise et les objectifs de coûts; ce qui hypothèque le succès à long terme du produit.

Le système complet

ENET suit une approche globale avec une démarche orientée vers les "processus"



(fig.2). La priorité est donnée ici à la fonctionnalité et à la maîtrise des coûts du système complet. On commence par analyser le concept et les paramètres d'entrée et de sortie du système complet, puis on définit les interfaces et les ajustements mutuels entre les sous-systèmes. L'étape suivante consiste à déterminer et à ajuster l'état de la technique, tant pour les sous-systèmes utilisés que pour ceux de remplacement, ainsi que leurs combinaisons.

Approche globale avec démarche orientée vers les "processus".

Dans les projets de R&D futurs, il est important d'identifier et d'évaluer les points faibles techniques et économiques du système complet envisagé. Ce faisant, les sous-systèmes doivent être subordonnés à ce dernier. Les paramètres les plus importants pour l'évaluation sont la robustesse, le montant des investissements, les frais d'exploitation et la durabilité. Avant d'accepter un projet, il faut évaluer les coûts totaux prévus pour le système complet et les comparer à ceux des produits concurrents. La démarche d'ENET, qui est orientée vers les "processus", se base sur le système complet. Les sous-systèmes doivent se plier aux contraintes qui en résultent, sinon le bénéfice global est menacé.

Analyser et comparer

La veille technologique fournit les bases nécessaires à l'évaluation des développements de produits

Hanspeter Eicher
Reto Rigassi

Dr. Eicher + Pauli SA
CH-4410 Liestal

Walter Ott

Econcept SA
CH-8002 Zurich

Lukas Gutzwiller

Chef du programme
Fondements de
l'économie éner-
gétique de l'OFEN

Comment évaluer le développement d'une technologie donnée dans une perspective économique ? Avec une veille technologique systématique, il est possible d'obtenir les bases permettant de faire de telles évaluations et d'identifier les voies futures du développement menant au succès commercial. Une étude soutenue par l'OFEN a examiné quatre technologies exemplaires :

- Couplage chaleur-force (CCF) avec moteur
- Appareils de chauffage à pile à combustible
- Pompes à chaleur air-eau pour maisons individuelles
- Isolation thermique de haute performance.

Critères pour le choix des technologies

Quelles sont les raisons qui ont conduit à des changements de coûts et de prix dans ces technologies durant ces dernières années ? La réponse à cette question permet d'établir des perspectives plus fiables en matière d'énergie et de mieux comprendre les données statistiques. Le choix des technologies ayant fait l'objet de cette veille a été opéré sur la base de différents critères. D'une part, on a accordé beaucoup d'attention à la dynamique de la croissance, car, qu'il s'agisse d'une croissance élevée ou d'une croissance réfrénée, l'analyse des causes, des conditions et des effets secondaires est intéressante. D'autre part, on a considéré les possibilités d'application aujourd'hui et demain, car ce sont elles qui permettent d'estimer, par exemple, l'évolution de la rentabilité. En outre, on s'est basé sur le potentiel novateur d'une technologie donnée.

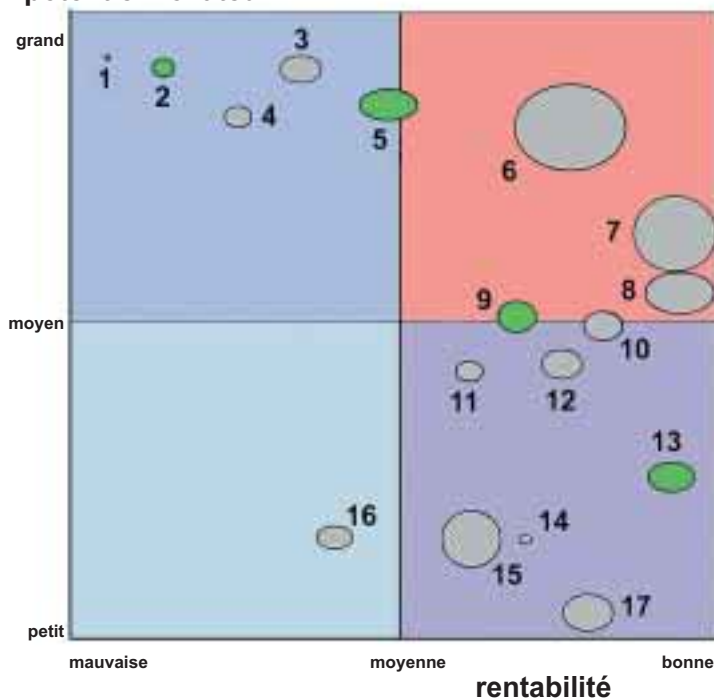
Les technologies énergétiques examinées dans l'étude ont été sciemment sélectionnées à partir de différentes positions afin de pouvoir analyser efficacement toutes les données. Elles ont ensuite été placées dans un diagramme fonctionnel "potentiel novateur/rentabilité".

Étude :
Technologie-Monitoring, 2003,
H. Eicher, W. Ott,
R. Rigassi, 2003
N° ENET : 230192

Réduction des coûts grâce à l'expérience acquise

Les coûts des technologies examinées, tant en ce qui concerne leur évolution passée que future, ont été analysés sur la base de facteurs de réduction de coût. Ceux-ci indiquent comment les coûts se modifient en cas de doublement de la production cumu-

potentiel novateur



Des technologies tirillées entre potentiel novateur et rentabilité. Exemples sélectionnés pour l'étude : piles à combustibles (CCF), isolation thermique de haute performance, pompes à chaleur et couplage chaleur-force (classique).

- | | | |
|--|---|--------------------------------|
| 1 photovoltaïque | 6 procédés industriels (en grandes quantités) | 12 ventilation / climatisation |
| 2 piles à combustible CCF | 7 système de bâtiment | 13 CCF |
| 3 fenêtre à vide d'air | 8 appareils électr. | 14 bois-énergie |
| 4 géothermie | 9 PAC | 15 chaudières à bois |
| 5 isolation thermique de haute performance | 10 éclairage | 16 capteurs solaires |
| | 11 énergie éolienne | 17 rejets thermiques |

lée d'un produit. Ils sont donc aussi une mesure des effets d'échelle obtenus et de celui de l'expérience acquise. Ces effets sont interdépendants : les baisses de coûts stimulent la demande, ce qui permet d'accumuler une expérience toujours plus grande. Il s'est avéré toutefois que, à côté de ces effets, les structures existantes du marché pouvaient également être responsables de la réduction des coûts.

Exemples de développements avec des historiques différents

Dans les années 90, les coûts des modules pour le couplage chaleur-force (CCF) ont baissé de 60% environ. Cette diminution est surtout imputable à la politique de prix des fournisseurs et à une certaine expérience acquise. En conséquence, le coût de l'électricité produite a aussi baissé. Ces prochaines années, il faut s'attendre à la poursuite, quoique plus lente, de cette évolution, si l'on admet que les prix des agents énergétiques alimentant ces modules resteront constants.

La technologie des piles à combustible d'une puissance inférieure à 10 kW, pour des maisons individuelles ou à plusieurs appartements, en est encore au début de la commercialisation. Un facteur de réduction de coût de 0,75 devrait être possible d'ici au démarrage d'une production en série, de manière à atteindre l'objectif de 3'000 CHF/kW.

Dans les années 90, les coûts des pompes à chaleur ont baissé de 35% environ. Simultanément, le coefficient de performance annuel a été amélioré d'environ 20%. Les développements en matière de technologie et de qualité ont exercé ici une influence décisive. Il semble vraisemblable que les coûts de production du kWh thermique continuent de baisser à l'avenir, pour des prix de l'électricité inchangés.

L'isolation thermique de haute performance, à poser à l'intérieur des bâtiments existants, n'a pas encore atteint le seuil de rentabilité. À l'avenir, toutefois, les coûts de tels panneaux isolants sous vide (PIV) pourront être nettement abaissés grâce à une production automatisée.

Le vent et l'eau se complètent

Les centrales hydroélectriques à accumulation et à pompage-turbinage suisses sont importantes pour l'approvisionnement du pays en électricité et pour l'exportation d'énergie de pointe. Avec la libéralisation des marchés de l'électricité dans les pays membres de l'Union Européenne et avec l'utilisation de plus en plus fréquente de l'énergie éolienne, elles peuvent toutefois jouer un rôle nouveau et attractif au sein du réseau interconnecté européen. Une étude de l'OFEN a traité des questions qui s'y rapportent.

Une production qui s'adapte rapidement

Parce que les centrales hydroélectriques à accumulation et à pompage-turbinage peuvent adapter très rapidement leur production, elles sont en mesure de compenser facilement les variations imprévues de la consommation ou de la production d'énergie, notamment de celle des éoliennes, par la fourniture d'énergie dite de réglage.

En participant aux futurs marchés européens de cette énergie, les centrales hydroélectriques suisses pourront commercialiser avec profit la puissance qu'elles tiendront en réserve pour la produire. Elles entreront alors toutefois en concurrence avec d'autres installations produisant, elles aussi, de l'énergie de réglage, telles que les centrales à gaz à démarrage rapide.

Une exploitation rentable grâce à la fourniture d'énergie de réglage

L'étude a montré que les exploitants de centrales hydroélectriques à accumulation et à pompage-turbinage étaient à même de proposer leur énergie de réglage à des prix inférieurs à ceux des producteurs utilisant d'autres technologies, tout en couvrant leurs frais. Cela signifie, d'une part, que les

centrales hydroélectriques à accumulation et à pompage-turbinage suisses pourront négocier des contributions de couverture qui leur permettront de conserver leurs installations, voire même de les développer (notamment : augmentation de la puissance des pompes et des turbines). D'autre



Avec l'extension du parc d'éoliennes en Europe, d'intéressantes perspectives économiques s'ouvrent aux centrales hydroélectriques suisses à accumulation pour la fourniture d'énergie de réglage. (Photo : VA-Tech Hydro SA)

part, grâce à la participation des centrales hydroélectriques suisses aux futurs marchés de l'énergie de réglage, les acheteurs d'énergie éolienne (laquelle est encore relativement chère et donc subventionnée) pourront acquérir en principe à meilleur compte l'énergie de compensation nécessaire.

Dans ces conditions, la participation des centrales hydroélectriques à accumulation et à pompage-turbinage suisses aux futurs marchés de l'énergie de réglage apportera une contribution à la promotion des deux sources d'énergie renouvelables les plus importantes en Europe : l'énergie hydraulique et l'énergie éolienne. Toutefois, il faudra au préalable créer toute une série de conditions favorables, tant techniques qu'institutionnelles.

Étude :
Windenergie und schweizerischer Wasserkraftpark : **ecconcept** SA, Zurich ;
 Consentec Sàrl., Aix-la-Chapelle ; Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW) der RWTH, Aix-la-Chapelle ;
 2004
 N° ENET : 240004

Turbiner avant de boire

Une petite centrale hydroélectrique complète avantageusement les installations d'approvisionnement en eau potable

Peter Michel

Projektleiter
Chef de projet
Etron Sàrl
CH-3855 Brienz

Bruno Guggisberg

Responsable du
domaine Petits
aménagement
hydroélectriques à
l'OFEN

Manuel Buser

Chef du programme
(P+D) Petits aména-
gements hydroélec-
triques de l'OFEN
c/o entec ag
CH-9000 St. Gallen

Le turbinage de l'eau potable des infrastructures communales d'approvisionnement représente une production d'énergie intéressante. Faisant sienne cette réflexion, le syndicat des eaux Hohfluh à Hasliberg (BE) a équipé le réservoir Bieli d'une centrale hydroélectrique fonctionnant à l'eau potable. En 2001, une étude préliminaire, soutenue par l'OFEN, avait montré qu'une exploitation rentable était tout à fait réalisable. Depuis lors, cette installation a été construite et raccordée au réseau en 2003.

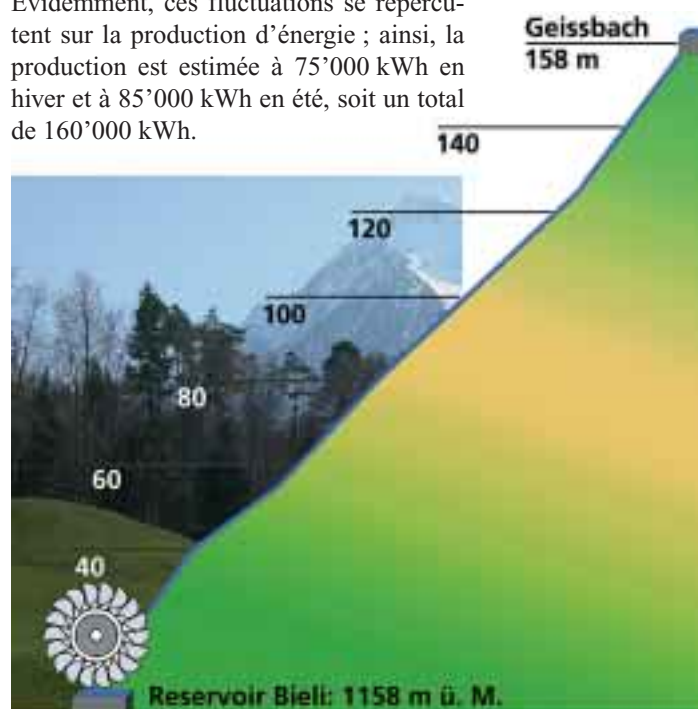


Moyennes mensuelles des quantités d'eau turbinées.

Le débit d'eau présente des fluctuations saisonnières

Le captage de l'eau se trouve à l'altitude de 1'316 m, et la dénivellation jusqu'au réservoir Bieli est de 158 m. Quelque 573 m, sur les 630 m que compte la conduite à haute pression, ont été rénovés et optimisés pour l'alimentation d'une turbine. Le débit moyen se situe à 17 l/s; on constate toute-

fois des fluctuations saisonnières importantes. Ainsi, on relève en janvier un débit de 11 l/s, alors qu'il atteint 21 l/s en mai. Évidemment, ces fluctuations se répercutent sur la production d'énergie; ainsi, la production est estimée à 75'000 kWh en hiver et à 85'000 kWh en été, soit un total de 160'000 kWh.



La petite centrale électrique a été construite à côté du réservoir existant. Elle est équipée d'une turbine Pelton de 24 kW et d'un générateur Bartholdi. Le flux est réglé par un pointeau. L'eau est déviée lors d'incidents techniques ou de travaux d'entretien. Le rendement global avait été estimé à plus de 70%.

Profil en long du captage d'eau au réservoir Bieli.

Les mesures confirment les estimations

L'investissement total de la petite centrale hydroélectrique s'est élevé à 340'000 CHF. Les productions mensuelles mesurées jusqu'à maintenant ont dépassé toutes les attentes, car, durant les premiers mois, les quantités d'eau utilisées ont été plus importantes que prévu.

La Suisse se présente

Le Comité exécutif du programme Bioénergie de l'AIE visite nos installations

Bruno Guggisberg
Responsable du
domaine Biomasse
à l'OFEN

Daniel Binggeli
Responsable du
domaine Bois à
l'OFEN

En 1978, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) lançait le programme "Bois-énergie". Huit ans plus tard, celui-ci a été rebaptisé "Bioénergie", après l'extension de ses activités aux autres formes de biomasse. Aujourd'hui, il compte plus de 20 pays participants.

Une délégation internationale rend visite aux chercheurs suisses

À intervalles réguliers, les responsables du programme et les chefs de projets se rencontrent pour définir et coordonner les objectifs, les agendas et les budgets. Au début de mai a eu lieu en Suisse, "ExCo53", la 53^e réunion du Comité exécutif. Soutenue et organisée par l'OFEN, cette rencontre de trois jours a réuni quelque 40 personnes à Lucerne.

Au cours d'une série de visites précédant cette réunion, les participants ont pu s'informer sur l'état actuel de l'exploitation de la biomasse et sur les projets de recherche de l'Institut Paul Scherrer (PSI). Parmi ces derniers, la gazéification du bois par les procédés hydrothermiques et thermocatalytiques a retenu tout spécialement l'attention des visiteurs.

L'intérêt des responsables du programme Bioénergie de l'AIE s'est focalisé sur les axes prioritaires et les conditions-cadres propres à chaque pays.

La communication comme point de départ d'une utilisation accrue

Lors de la visite de l'installation compacte de biogaz d'un agriculteur près de Reiden (LU) et de celle du centre d'information sur le gaz de compost (*Kompogas*) à Otelfingen (ZH), les discussions ont porté sur les conditions-cadres propres à la production d'énergie d'origine biogène, ainsi que sur les possibilités de faire connaître l'emploi du biogaz comme carburant. La dernière visite de la série a été celle de la laiterie biologique Biedermann, à Bischofszell (TG); un chauffage au bois a été présenté aux participants, qui a bénéficié d'un soutien à l'investissement sous la forme d'un crédit Lothar.

Au cours de la réunion de deux jours qui a suivi, les délégués suisses ont eu l'occasion de présenter les programmes "Biomasse" et "Bois-énergie" de l'OFEN.

Les participants ont visité l'Institut Paul Scherrer, à Villigen.

Liens Internet

Informations de l'OFEN :
www.suisse-energie.ch
(Faits, chiffres → Energies renouvelables → Biomasse/Bois)

Le programme Bio-énergie de l'AIE :
www.ieabioenergy.com

La recherche du PSI au LEM :
http://lem.web.psi.ch

Le gaz de compost (*Kompogas*) :
www.kompogas.ch



Une installation pilote convaincante

La gazéification du bois, une autre manière de réaliser un couplage chaleur-force efficace

Herbert Gemperle
Pyroforce Energie-technologie SA
CH-6020
Emmenbrücke

Daniel Binggeli
Responsable du domaine Bois à l'OFEN

Depuis deux ans, le Laboratoire de Spiez, spécialisé dans la protection ABC, utilise pour son chauffage une installation pilote de production d'électricité par gazéification du bois, à côté d'une chaudière à mazout. Depuis sa mise en service, l'installation, réalisée par la société Pyroforce Energietechnologie SA, d'Emmenbrücke (LU), a d'ores et déjà dépassé les 5'000 heures de service.

Chaleur et électricité grâce au génie chimique

À côté de la force hydraulique, le bois est la source d'énergie renouvelable la plus importante dont dispose la Suisse. En règle générale, le bois-énergie est utilisé directement pour la production de chaleur. La gazéification du bois permet cependant de réaliser un couplage chaleur-force, grâce auquel il est possible de produire de l'électricité en plus de la chaleur.

Pour la gazéification du bois, il existe en principe deux procédés, le premier utilisant un réacteur à lit fluidisé et le second un réacteur à lit fixe. L'installation de Spiez est équipée d'un réacteur à lit fixe à flux continu, une technique adaptée aux petites puissances. Par un sas quasi étanche, du bois déchiqueté sec est introduit dans le réacteur. La chaleur traverse ce matériau en montant et le sèche encore davantage. Puis commence la pyrolyse, c'est-à-dire la décomposition du combustible en l'absence d'air sous l'effet de la chaleur. Les produits de cette réaction chimique passent ensuite dans la zone d'oxydation située plus bas, dans laquelle est introduite la quantité d'air nécessaire à l'oxydation des substances gazeuses. Dans la partie la plus basse du réacteur s'opère ensuite une réduction. À partir d'eau et de carbone, de l'hydrogène et du monoxyde de carbone sont produits. Le gaz brut, d'une température d'environ 600 °C, est alors purifié, puis refroidi.



Excellente collaboration dans le projet pilote

Après avoir développé le réacteur de gazéification, Pyroforce SA a conclu, en 1999, un contrat de collaboration avec les entreprises CTU Concepte Technik Umwelt SA, à Winterthur, et GE Jenbacher Sàrl., à Jenbach (Autriche), dans le but de réaliser des installations industrielles de gazéification du bois. Une première installation, d'une puissance électrique de 220 kW, a été installée à Spiez.

Un projet de recherche de deux ans, soutenu par l'OFEN, a permis la mesure des paramètres d'exploitation en charge partielle de cette installation. Le PSI a effectué sur place des mesures de la composition du gaz et de sa teneur en goudron.

Pour obtenir un rendement élevé, il est important que le dimensionnement du réacteur de gazéification et celui de l'isolation thermique soient parfaitement accordés.

Liens Internet

Pyroforce Energie-technologie SA
www.pyroforce.ch

CTU Concepte Technik Umwelt SA
www.ctu.ch

GE Jenbacher Sàrl.
www.gejenbacher.com



Une installation de gazéification du bois et une chaudière à mazout ont remplacé, pour le chauffage, trois grandes chaudières à mazout.



Le bois déchiqueté est stocké dans un silo souterrain.

Réduction de la température et des émissions

La purification et le refroidissement du gaz créent les conditions nécessaires au fonctionnement fiable du moteur à gaz, à un meilleur rendement et à des émissions moindres de gaz d'échappement. L'appareillage correspondant conçu par l'entreprise CTU comprend, pour commencer, un cyclone à gaz brûlants dans lequel les particules de cendre et de suie sont éliminées. La température est ensuite abaissée à 150 °C dans un refroidisseur à tubes. Le filtre qui termine le traitement des gaz est prévu tant pour du bois vert que pour du bois de récupération ; il assure donc aussi l'élimination des métaux lourds et du chlore (provenant de la gazéification de restes de PVC).

D'une cylindrée de 16 litres, le moteur à gaz de 8 cylindres de GE Jenbacher Sàrl. fournit 180 à 250 kW, selon les émissions de NO_x admises.

L'expérience confirme les attentes

Le bois déchiqueté provient d'un fabricant de panneaux de coffrage. La chaleur produite par l'installation de gazéification du bois sert au chauffage des bâtiments du Laboratoire de Spiez ; l'électricité produite alimente le réseau public.

Le rendement global de l'installation se situe aux environs de 60%. Les mesures effectuées ont permis d'optimiser la technique de mesure, la commande et la régulation de l'installation, l'alimentation en combustible et la purification du gaz.

La technique de la gazéification du bois permet de produire de la chaleur et de l'électricité à partir du bois-énergie de manière efficace. Cette technique a manifestement sa chance, car la puissance peut être augmentée et l'automatisation toujours plus poussée améliore la rentabilité.

Un label de qualité grâce aux essais

Aujourd'hui, la branche du chauffage au bois en Suisse affronte divers défis. Les immeubles à isolation thermique poussée et à ventilation mécanique douce nécessitent un chauffage indépendant de l'air ambiant ; les libertés architectoniques commandent aux constructeurs de poêles de faire preuve de flexibilité ; les prescriptions plus sévères

Haute École spécialisée des deux Bâle (FHBB), à Muttens, a été accrédité par le Service d'accréditation suisse (SAS) en janvier 2004. Ainsi, après l'arrêt des essais effectués par le LFEM/EMPA, les fabricants et les importateurs disposent à nouveau d'un centre d'essai en Suisse. Sa mise sur pied a eu lieu en collaboration avec les par-

Le Centre d'essai de la FHBB, à Muttens. Thomas Moritz surveille les mesures de puissance.



Le Centre d'essai est également équipé pour la mesure d'émissions diverses (CO, CO₂, NO, NO₂, hydrocarbures, poussières).

en matière d'hygiène de l'air influencent directement la construction et l'exploitation des chauffages. Le label de qualité pour chaudières à bois est attribué à celles qui ont un rendement élevé et des émissions polluantes limitées, tout en permettant un service d'entretien aisé. Seuls les produits d'une technologie avancée doivent pouvoir répondre aux exigences introduites depuis le début de l'année par Énergie-bois Suisse. Les valeurs limites exigées sont inférieures à celles du nouveau catalogue de mesures du Canton de Zurich (MAPLA-ZH), ainsi qu'à celles de l'actuelle Ordonnance sur la protection de l'air (OPair 92).

Créé sur la base d'un réseau

Le label de qualité est décerné à la suite d'essais certifiés. Le Centre d'essai, créé à la

tenaires du réseau de compétences national des Hautes Écoles spécialisées (BRENET) et, plus particulièrement, avec le Centre écologique de Langenbruck (BL) qui poursuivra activement ses recherches dans le domaine de la combustion de la biomasse et de la technique des systèmes.

Équipé pour toutes sortes de chaudières

Des foyers (cheminées de salon, fourneaux, etc.), aussi bien que des chaudières pour bûches, bois déchiqueté ou granulés, d'une puissance allant jusqu'à 300 kW, peuvent y être testés selon les normes EN et DIN. Les examens comprennent tant des essais individuels et des homologations que des mesures spéciales ; on y mesure la puissance de chauffage, le rendement, la sécurité et les émissions.

Pour de plus amples informations :

* Centre d'essai des chauffages au bois de la FHBB à Muttens :

www.fhbb.ch/maschinenbau

(→ Dienstleistungen → Akkreditierte Prüfstellen)

* Énergie-bois Suisse et label de qualité pour chaudières à bois

www.energie-bois.ch

À intégrer aux éléments de construction

Des éléments de construction conçus pour la production d'électricité solaire incitent à repenser l'intégration au bâtiment

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

Plus de 200 spécialistes ont participé au 5^e *Symposium photovoltaïque national* qui a eu lieu à l'EPF de Zurich les 25 et 26 mars 2004. À côté des actualités de la recherche, de la mise en œuvre et de la politique en Suisse, les présentations étaient consacrées à l'évolution observée à l'étranger, en particulier en Allemagne et au Japon qui sont les deux pays à la pointe du photovoltaïque.

Urs Wolfer
Responsable du domaine des Technologies solaires à l'OFEN

Les souhaits de la CORE

Le programme photovoltaïque suisse jouit d'une assise très large. Il concerne toute la chaîne de production, de la recherche appliquée à la mise sur le marché de produits et de procédés, en passant par la mise en

réduit la problématique de "l'arrosage" indifférencié.

- On souhaite davantage d'innovations.
- Il faut être prêt à prendre à nouveau plus de risques.

Mise en œuvre des contributions des chercheurs suisses

C'est grâce à une orientation précoce des activités de recherche et de développement, vers les systèmes photovoltaïques considérés dans leur ensemble et vers les possibilités d'intégration au bâtiment, que de nombreux produits ont été créés, puis exportés avec succès. Les onduleurs, les connecteurs enfichables, les systèmes de cadres modulaires et les installations de production en sont quelques exemples.

Dans le secteur de la fabrication des cellules solaires, mentionnons les deux projets de transfert technologique à l'origine desquels se trouve l'Institut de Microtechnique (IMT) de l'Université de Neuchâtel: le développement, par Unaxis, d'installations pour le dépôt de couches minces, d'une part, et la production de cellules photovoltaïques souples de ce type sur un film de matière plastique, par VHF-Technologies, d'autre part.



Le cadre modulaire suisse Solrif a aussi été utilisé lors du montage de l'installation de 5 MW_c sur les toits de l'entreprise ttc Global Logistics, à Bürstadt (Allemagne).
(Photo: www.sonnenfleck.com)

œuvre. La coordination est assurée dans le cadre de la recherche énergétique de l'OFEN. La partie Recherche est basée sur le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, élaboré par la CORE.

Louis Schlapbach, directeur du LFEM/EMPA, qui représentait la CORE, a formulé quatre souhaits à l'intention des protagonistes de la recherche:

- La continuité est nécessaire à la recherche énergétique.
- Une évaluation approfondie de toutes les activités de recherche proposées, suivie de la sélection des projets sur cette base,

Une nouvelle branche est née

Au cours des six dernières années, la croissance mondiale du photovoltaïque a été en moyenne de 36 % par an. La puissance des installations raccordées au réseau dépasse 1,5 GW_c. La part de ces dernières a considérablement augmenté par rapport aux installations autonomes. On s'attend à ce que l'expérience acquise et l'augmentation des quantités produites entraînent une baisse du prix des modules photovoltaïques au-dessous du seuil de 1 Euro par watt-crête (1 €/W_c) aux environs de 2020.

La prochaine étape sera la production d'éléments de construction intégrant des composants photovoltaïques, ce qui confèrera à l'intégration au bâtiment une dimension nouvelle.
(Photo: BSI/Ecofys)

Le ministère japonais de l'industrie (METI) a lancé le projet Sunshine d'encouragement de l'utilisation du photovoltaïque et donc,

Liens Internet

Le Programme photovoltaïque suisse :
www.photovoltaiic.ch

PV-Tour IV – CD ROM sur les installations photovoltaïques suisses intégrées au bâtiment :
www.tnc.ch

La loi allemande régissant l'injection d'électricité dans le réseau public (EEG) :
www.eeg-aktuell.de

En Suisse, la construction d'installations photovoltaïques s'est poursuivie, certes, sans relâche, mais d'une manière modeste, dictée par les conditions-cadres. Les surfaces des toits et des façades représentent un potentiel considérable. Une partie des grandes installations est réalisée par les entreprises électriques. L'exemple le plus récent est celle qui sera intégrée à la toiture du nouveau Stade de Suisse, au Wankdorf à Berne. Le début des travaux sur cette toiture est planifié pour la fin 2004. La première étape prévoit le montage de 800 kW_c. En fonction de la demande de la clientèle des entreprises électriques, l'installation

pourrait être ultérieurement complétée et agrandie à plus de 1 MW_c.

Une question de proportions

Malgré tous les efforts louables faits en Suisse, la production d'électricité solaire reste encore marginale. Son impact à court terme est souvent surestimé, alors que ses perspectives à long terme sont sous-estimées.

Le parc photovoltaïque suisse installé s'accroît actuellement de l'ordre de 1,5 à 2 MW_c par année, et ne représente même pas 0,5 % de l'augmentation annuelle de la consommation d'électricité. En Suisse, la quote-part de l'électricité issue du solaire se situe toujours en dessous d'un pour-mille de la production totale. Le *Symposium* a cependant une nouvelle fois confirmé que les conditions technologiques et les chances de modifier cette situation à moyen terme existent bel et bien, et sont encore meilleures à long terme. Mais la situation économique et les conditions-cadres empêchent, pour l'instant, une accélération progressive de la production d'électricité solaire.

Le courant doit provenir des éléments de construction

Depuis des années, l'intégration des installations photovoltaïques à l'architecture bénéficie d'un important soutien et a déjà conduit à la réalisation de nombreux bâtiments remarquables. Daniel Kündig, président de la SIA, a souligné l'adhésion de la



Le Symposium photovoltaïque national, à l'EPF de Zurich, a été l'occasion bienvenue d'échanger des informations et des idées sur l'évolution future de cette technologie.

SIA à l'objectif à long terme d'une "Société à 2000 watts". Il a également formulé la thèse suivante concernant l'intégration au bâtiment : l'architecture forme un tout, mais le photovoltaïque devrait être considéré toujours plus comme l'un des éléments de construction que les architectes devraient intégrer à leur réflexion sur les matériaux de construction. De cette façon, une nouvelle conception de l'intégration, qui ouvrirait des perspectives intéressantes, pourrait voir le jour.



indirectement, de la production nationale, au milieu des années 90 déjà. Depuis 2000, malgré des ventes considérables dans le pays même, le Japon produit beaucoup plus de panneaux photovoltaïques (environ 250 MW_c) qu'il n'en installe chez lui.

En Allemagne, le succès du photovoltaïque est dû au programme "100'000 toits", qui a débuté en 1999, et à la loi régissant l'injection d'électricité dans le réseau public (EEG), introduite un an plus tard. En 2003, ce sont environ 130 MW_c qui ont été nouvellement installés, ce qui fait que la puissance totale installée dans ce pays a atteint à peu près

400 MW_c. Ce chiffre devrait passer à 600 MW_c environ d'ici la fin de l'année 2004. La version remaniée (amendement) de la loi EEG a été acceptée par le *Bundestag* le 2 avril dernier et est entrée en vigueur au début de juin. Elle permettra à l'évolution en cours de se poursuivre et offrira à la nouvelle branche de l'économie ainsi créée, avec ses 120'000 emplois environ, des perspectives prometteuses.



Des conditions cadres tempétueuses

La grande éolienne du Gütsch a été arrêtée –
Son remplacement devra tenir compte des connaissances acquises

Markus Russi

Entreprises électriques d'Ursern
CH-6490 Andermatt

Robert Horbaty

Chef du programme
Énergie éolienne de
l'OFEN
c/o ENCO Energie-
Consulting SA
CH-4416 Bubendorf

Markus Geissmann

Responsable du
domaine Énergie
éolienne à l'OFEN

Avec le projet d'une turbine éolienne sur le Gütsch, à l'altitude de 2332 m, les Entreprises électriques d'Ursern (EWU) ont concrétisé une idée visionnaire: jusqu'alors, aucune éolienne de 800 kW_c n'avait été installée à une telle altitude. Comment allaient réagir le rotor, le générateur et l'électronique face aux rafales de vent, au froid et au givrage? Les EWU ont joué un rôle de pionnier, non seulement quant au choix du site, mais également au niveau de la technique utilisée. L'installation comprend une génératrice à entraînement direct, à aimant permanent et à vitesse de rotation variable, ainsi qu'une électronique de puissance spécialement étudiée pour l'injection de courant dans le réseau public.

Des fissures dans les pales du rotor

Depuis janvier 2004, le rotor de la turbine du Gütsch ne tourne plus. Dès le début, cette installation pilote a souffert de diverses "maladies d'enfance". Finalement, des fissures dans les pales du rotor ont mis un terme à son exploitation. Fin mars, les EWU et ABB, le fournisseur du système qui assumait également le rôle d'entreprise générale lors du montage de l'installation, ont trouvé un accord quant aux prestations couvertes par la garantie et aux modalités du démontage.

Finalement, c'est un enchaînement de circonstances malheureuses qui a conduit à la

décision d'interrompre l'exploitation. Le fabricant de turbines Lagerwey et, plus récemment, le constructeur de génératrices Bartholdi ont fait faillite. L'entreprise Technocon SA éprouve également des difficultés et ABB a pratiquement quitté le secteur des éoliennes. Les EWU n'avaient donc plus de partenaire à même de les soutenir face aux problèmes rencontrés par l'installation.

Une production appréciable de courant écologique

Selon les indications des EWU, cette installation pilote a malgré tout produit environ 800'000 kWh de courant écologique certifié depuis sa mise en service à la fin de l'automne 2002. De plus, les expériences faites au Gütsch ont apporté des connaissances essentielles. L'installation a prouvé, d'une part, que le régime des vents prédit par des mesures et des simulations était réellement exploitable et que, d'autre part, le montage et l'exploitation d'une installation de forte puissance étaient réalisables, également en conditions difficiles dans les Alpes. Un autre point positif a été l'accueil favorable rencontré par l'installation dans le domaine skiable voisin.

Dans le milieu professionnel international, l'installation fait également figure de pionnière de la mise en valeur de l'énergie

En été 2002, lorsque les pales du rotor étaient installées, personne ne pouvait deviner que l'apparition de fissures serait la cause de l'arrêt de l'installation.

Les expériences faites au Güttsch ont vraiment de quoi impressionner

Quels sont les enseignements que l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) tire des expériences faites avec la centrale éolienne du Güttsch ? Hans Ulrich Schärer, chef de la section Énergies renouvelables à l'OFEN, prend position.

Depuis janvier, le rotor de la turbine du Güttsch est arrêté. L'objectif de l'OFEN, de produire 50 à 100 GWh d'électricité éolienne par année d'ici à 2010, est-il toujours valable ?

Hans Ulrich Schärer: Nous n'avons aucune raison de dévier de cet objectif. Le fait que cette installation pilote a dû être remplacée ne remet pas en cause l'énergie éolienne en général. Des milliers d'installations dans le monde, tout comme les turbines en service en Suisse aujourd'hui, nous confortent dans notre conviction qu'une extension raisonnable se justifie.

L'accord trouvé entre l'exploitant et ABB, le fournisseur du système, représente justement un signal positif. Quels enseignements la branche suisse de l'énergie éolienne peut-elle tirer du projet du Güttsch ?

Manifestement, on a voulu en faire trop en une seule fois avec cette installation pilote. Le fait de construire pour la première fois dans une zone de haute montagne revêtait déjà un caractère expérimental en soi – avec tous les risques que cela comportait. La leçon à tirer est que la combinaison d'une technologie éprouvée et de composants adaptés aux conditions suisses (glace, neige, vents turbulents, etc.) devrait permettre de réduire considérablement les risques encourus.

Selon le Plan directeur de l'énergie éolienne en Suisse, le Güttsch, avec ses trois turbines possibles, fait partie des 40 sites favorables identifiés. L'OFEN continue-t-il de soutenir ce site ?

Les expériences faites – et les installations pilotes sont justement prévues à cette fin – démontrent clairement que l'on peut espérer une installation fiable et une production élevée. L'électricité d'origine éolienne est relativement avantageuse. En outre, l'engagement extraordinaire des Entreprises électriques d'Ursern joue en faveur du site du Güttsch.

Les EWU ont l'intention d'installer une nouvelle turbine en automne. Qu'en pensez-vous ?

Il est tout à fait raisonnable de mettre à profit les expériences faites – même si elles ont été mauvaises et ont donc coûté cher – et de tenter de compenser le préjudice financier par une installation économiquement rentable. De plus, on ne tardera pas à voir que la confiance en l'énergie éolienne est tout à fait justifiée. Si la production d'électricité est réalisable sur des sites aussi extrêmes que le Güttsch, elle l'est à plus forte raison à des endroits moins exposés.

En deux mots, comment pourrait-on caractériser le premier essai de production d'énergie éolienne au Güttsch ?

Dans l'absolu, ce fut un *"learning by doing"* ! Tant les exploitants et les ingénieurs du projet que la branche suisse de l'énergie éolienne tout entière, et même la communauté internationale, ont énormément appris. Après tout, le Güttsch est aussi un projet de recherche de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) qui a suscité un intérêt considérable.

La nouvelle installation éolienne utilisera également une génératrice à entraînement direct, capable de supporter les puissantes rafales de vent du Güttsch.



éolienne en climat froid. Grâce aux données recueillies et à leur accès facilité, l'installation a rempli son rôle de projet pilote hors du commun. L'expérience acquise au cours de son exploitation est mise à la disposition d'un programme de recherche international, dans le cadre duquel est élaboré, entre autres, un manuel pour les constructeurs et les exploitants de telles installations.

Vers une nouvelle installation au Güttsch

Markus Russi, chef d'exploitation des Entreprises électriques d'Ursern, est toujours convaincu des potentialités du site du Güttsch, au vu de l'excellence du régime des vents, avec ses 7 m/s en moyenne annuelle à 45 m de hauteur. La nouvelle installation, probablement une Enercon E-40, devra cependant mettre en œuvre un produit qui a fait ses preuves sur de nombreux sites, y compris en climat froid. Elle devra également être à entraînement direct et à vitesse de rotation variable. De cette manière, il sera possible de mettre aussi à profit les

vents faibles et les puissantes rafales. Avec ses pales de rotor légèrement plus courtes, elle conviendra également aux vents turbulents qu'on rencontre souvent sur le Güttsch. Comme pour la première version, un chauffage des pales est prévu au titre de protection contre le givre.

Il est vrai qu'avec 600 kW_e, la puissance de l'installation projetée est inférieure à celle de la première turbine. Toutefois, comme le rotor se met en mouvement à une vitesse du vent plus faible déjà et que la turbine ne se déclenche qu'à 35 m/s, la production annuelle envisagée restera identique, c'est-à-dire environ 1,5 GWh.

C'est le Conseil d'administration des EWU qui décidera en dernier ressort de l'achat d'une nouvelle turbine.

Pour de plus amples informations : www.ew-ursern.ch

Simuler chauffage et refroidissement

Les sondes géothermiques du projet "Wollerau" servent de base au calcul de l'énergie de refroidissement

Daniel Pahud

Chef de projet
LEEE-SUPSI
CH-6952 Canobbio

Jean-Christophe Hadorn

Chef du programme
Stockage de chaleur
de l'OFEN
CH-1035 Bournens

Harald Gorhan

Chef du programme
Géothermie de
l'OFEN
Neudörfli 10
CH-5600 Lenzburg

Dans l'immeuble industriel "Wollerau", une pompe à chaleur et 32 sondes géothermiques de 135 m de longueur chacune sont utilisées pour le chauffage et le refroidissement. Ce projet P+D a servi de base pour le développement d'un modèle de simulation qui a été calibré à l'aide d'une série de deux ans de mesures.

Définition des paramètres

Le projet Wollerau a servi à déterminer l'efficacité géothermique de cette installation et à définir les paramètres de simulation. Il a permis d'identifier des facteurs d'intégration et des paramètres de dimensionnement. Les premiers servent à évaluer les performances du système énergétique dans cet immeuble et les seconds au dimensionnement technique et à l'analyse du comportement à long terme.

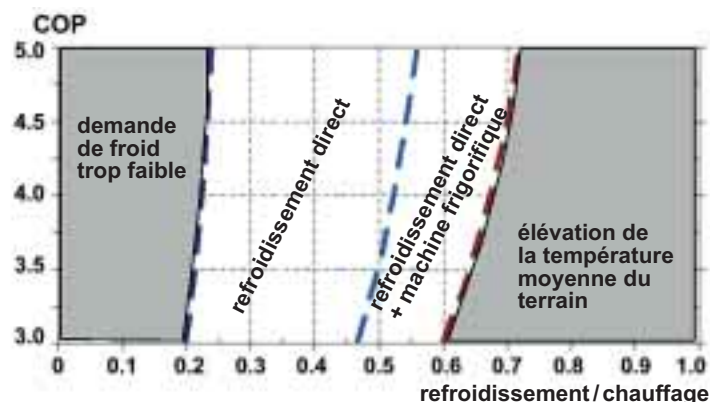
Les paramètres d'intégration ont une influence significative sur les indices de performance du système et déterminent son efficacité énergétique. Cela concerne avant tout l'intégration des sondes géothermiques au concept énergétique global de l'immeuble. Une intégration optimale permettra de chauffer avec la plus basse température possible dans le circuit de distribution de la chaleur et de refroidir avec la température la plus haute possible.

Les paramètres de dimensionnement doivent garantir que la température du fluide circulant dans les sondes reste toujours dans des limites déterminées; en particulier, dans le cas de sondes placées sous un bâtiment, cette température ne doit pas descendre sous la barre du 0 °C. Cette condition doit être remplie aussi bien à court terme, à cause de l'évolution dynamique du système, qu'à long terme après stabilisation de la température moyenne du terrain dans la zone de forage. En l'absence de circulation d'eau souterraine, les effets à long terme sont conditionnés uniquement par le rapport des demandes annuelles

d'énergie de refroidissement et de chauffage.

Un refroidissement sans installation frigorifique est possible

L'étude a démontré que la possibilité de refroidir l'immeuble, sans installation frigorifique, dépend du niveau de température de la distribution de froid. Lorsque les conditions sont favorables, la puissance



frigorifique maximale (c'est-à-dire la puissance d'injection maximale) peut varier entre 40 et 50 watts par mètre linéaire de sonde. Les valeurs moyennes sont nettement plus basses : elles se situent entre 10 et 13 W/m. Quant à l'injection annuelle de chaleur, elle varie de 20 à 35 kWh/m, selon les cas. Elle doit être inférieure à l'extraction annuelle de chaleur. Cette dernière et la puissance thermique que peut fournir le terrain ont été estimées à 60 kWh/m et à 40 W/m, respectivement.

L'outil de simulation développé peut être couplé au modèle TRNSYS de simulation du bâtiment. On dispose ainsi d'un outil performant de simulation, permettant une étude plus fiable et précise des grandes installations géothermiques destinées au chauffage et au refroidissement.

Type de production de froid avec des sondes, en fonction de la demande d'énergie de refroidissement relative à la demande d'énergie de chauffage, et en fonction du COP de la pompe à chaleur (système avec distribution de "froid" à 22 °C).

Rapport final :
Optimisation par simulation calée de l'installation de stockage Wollerau, Laboratorio Energia Ecologia ed Economia (LEEE), Dipartimento Ambiente, Costruzioni e Design (DACD), Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI), Trevano-Canobbio, Daniel Pahud, 2003, N° ENET : 230282 et 230283

Toujours plus, toujours mieux !

Pompes à chaleur : le succès commercial grâce à une meilleure mise en œuvre des résultats de la recherche

Au cours des dernières années, les pompes à chaleur ont volé de succès en succès. Il y a plusieurs raisons à cela, dont la moindre n'est pas l'encouragement à la recherche et au développement fourni par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), ni d'ailleurs le *marketing* efficace dont ont fait preuve les fabricants. Les responsables actuels du programme de recherche :

- **Thomas Kopp**, Chef du programme Chaleur ambiante (R+D) de l'OFEN c/o HSR, CH-8640 Rapperswil,
- **Max Ehrbar**, Chef du programme Chaleur ambiante (P+D) de l'OFEN c/o NTB, CH-9470 Buchs, et
- **Fabrice Rognon**, Responsable du domaine Chaleur ambiante à l'OFEN

Les priorités de la recherche selon la CORE

Étant donné que la moitié environ de la consommation d'énergie en Suisse est destinée au chauffage des locaux et à la préparation d'eau chaude sanitaire, la CORE accorde une grande importance à la technique des pompes à chaleur. Celle-ci pourrait permettre d'abaisser rapidement la consommation de combustibles fossiles, entraînant ainsi une réduction considérable des émissions de CO₂.

La priorité de la recherche va à une nouvelle amélioration de l'efficacité, associée à une réduction simultanée des coûts, avec notamment, en point de mire, le marché de la rénovation. La recherche devrait également continuer à étudier l'optimisation globale des systèmes pour la production de chaleur et de froid.

Le nouveau *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2004–2007* :

www.suisse-energie.ch

(→ Recherche et formation → Stratégie de la recherche énergétique)

Rétrospectivement, quels ont été les développements qui, par le passé, ont ouvert la voie ?

Max Ehrbar : Pour moi, le plus important est celui qui a abouti à la grande fiabilité des pompes à chaleur (PAC). L'analyse de près de 250 installations dans le cadre du projet FAWA (*Feldanalyse von Wärmepumpen-Anlagen*) montre que la probabilité de panne d'une PAC n'est que de 0,3–0,7%. Un autre développement important est pour moi l'amélioration des coefficients de performance (COP) et le

Fabrice Rognon : Pour autant que la conception, la fabrication, le montage et le service soient de qualité, il n'y a aucun inconvénient ni risque. Je ne vois donc pas de revers à la médaille.

Max Ehrbar : À l'heure actuelle, on utilise malgré tout encore des fluides de travail (frigorigènes) qui présentent un certain risque d'effet de serre. Mais tant que la pompe à chaleur reste étanche et qu'elle est entretenue et, en fin de vie, éliminée dans les règles, cela ne fait pas vraiment problème; en outre, de nouveaux procédés utilisant des fluides neutres pour l'environ-



Thomas Kopp (à gauche) est responsable pour la partie R+D du programme chaleur ambiante de l'OFEN; Max Ehrbar en est responsable pour la partie P+D.

passage à des fluides de travail respectueux de la couche d'ozone.

Fabrice Rognon : C'est un fait que l'obligation d'utiliser de nouveaux fluides de travail a conduit à revoir complètement la palette des produits.

Thomas Kopp : Ces dernières années, des PAC extrêmement compactes ont été développées. L'emploi d'échangeurs de chaleur à plaques, et surtout celui du compresseur *scroll*, ont permis d'abaisser les coûts de production et d'augmenter les coefficients de performance.

Quels sont les inconvénients des PAC, les risques liés à cette technologie, en un mot, quel est le revers de la médaille ?

nement se profilent à l'horizon d'un futur proche.

Thomas Kopp : Oui, de nouveaux fluides sont en vue, mais il y a encore trop peu de composants qui soient actuellement disponibles sur le marché pour des PAC travaillant avec des fluides neutres pour l'environnement. Cela concerne surtout les équipements de faible puissance.

Que pensez-vous de la discussion sur la production combinée de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude par des PAC ?

Thomas Kopp : Le meilleur moyen de produire de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude avec une PAC fait encore

l'objet de recherches à l'heure actuelle. Dans les bâtiments modernes, les niveaux de température requis par les deux applications sont différents. Et le fluide de travail utilisé joue aussi un rôle.

Max Ehrbar : La production d'eau chaude sanitaire au moyen de la pompe à chaleur, peu gourmande en énergie, se justifie vraiment. Dans les habitations modernes bien isolées, la demande de chaleur se déplace



Le responsable du domaine à l'OFEN, Fabrice Rognon, coordonne les activités du programme Chaleur ambiante.

de plus en plus du chauffage des locaux vers la production d'eau chaude.

Fabrice Rognon : Les résultats des mesures du projet FAWA ont aussi montré l'intérêt qu'il y a à couvrir l'ensemble des besoins thermiques d'un bâtiment avec une seule PAC. À l'avenir, les choses pourraient toutefois changer, avec l'arrivée sur le marché de PAC utilisant le CO₂ comme fluide de travail et spécialement conçues pour la préparation d'eau chaude.

L'association du CCF à la PAC est le système le plus efficace théoriquement. Comment peut-on le réaliser aussi sur de petites installations ?

Fabrice Rognon : Il faut garder à l'esprit qu'il n'y a de sens à installer des centrales de couplage chaleur-force (CCF) que là où l'on peut utiliser de grandes quantités de

chaleur. Pour l'utilisation décentralisée, des PAC individuelles sont plus appropriées.

Thomas Kopp : Du point de vue thermodynamique, l'association CCF/PAC est imbattable lorsqu'il s'agit d'utiliser un combustible comme source d'énergie mécanique. Toutefois, du fait qu'il s'agit ici du chauffage domestique, la durée de fonctionnement du moteur à combustion interne de l'installation CCF sera beaucoup plus longue que celle du moteur d'une automobile. Les frais d'entretien du moteur du CCF sont plus élevés que pour un brûleur classique.

Max Ehrbar : L'association CCF/PAC est aussi possible en principe pour les petites installations, comme le confirment certains produits. Dans le domaine du chauffage à faible puissance, je verrais plutôt la pompe à chaleur à absorption, qui peut fonctionner avec n'importe quelle source de chaleur, que ce soit le mazout ou le gaz, et même le bois. De telles PAC produisent une chaleur utile de 1,3 à 1,7 fois supérieure au pouvoir calorifique du combustible utilisé, donc nettement plus que les chaudières.

Des schémas hydrauliques standard ont été introduits. Quelles sont vos premières impressions ? Qu'en a-t-on retiré jusqu'ici ?

Fabrice Rognon : La branche a visiblement intégré les résultats dans la documentation sur les produits et dans les documents techniques, mais sans l'annoncer à haute voix. Les schémas hydrauliques standard ont ainsi été intégrés discrètement.

Thomas Kopp : J'ai enregistré un petit nombre de critiques venant du marché. Dans un projet de recherche en cours, toute une série de résultats de mesures sur des installations en service, dotées de schémas hydrauliques standard, sont mis à jour et rendus accessibles au public.

Comment le marché des grandes installations évolue-t-il ? Quels défis technologiques présentent ces installations ? De nouveaux développements sont-ils nécessaires ?

Max Ehrbar : En raison des effets d'échelle, on peut s'attendre à des COP encore un

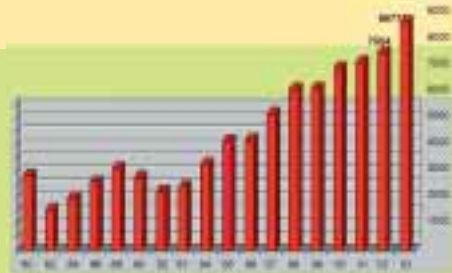
Une courbe ascendante

8'677 pompes à chaleur ont été vendues en Suisse en 2003, ce qui correspond à une augmentation de 14,9 % par rapport à l'année précédente. Cette constatation encourageante ressort de la statistique publiée par le GSP. Comme précédemment, les installations réalisées dans des constructions nouvelles dominent la statistique, bien que le nombre de celles réalisées lors de rénovations ait nettement augmenté. Les pompes à chaleur de grande taille, dans la gamme des 300 à 900 kW, ont également enregistré une augmentation considérable, de l'ordre de 40 % environ.

Pompes à chaleur vendues en 2003, classées selon le type, c'est-à-dire la source froide utilisée :

- 1 Air-eau (59,5 %)
- 2 Saumure-eau (37,3 %)
- 3 Eau-eau (3,2 %)

(Source: GSP)



L'augmentation constante des ventes de pompes à chaleur reflète, d'une part, l'impact des mesures prises en matière de marketing et de promotion de la qualité et, d'autre part, une meilleure prise de conscience en faveur de l'utilisation de la chaleur ambiante.



peu plus élevés avec les grandes installations de pompes à chaleur qu'avec les petites. De nouveaux développements seront nécessaires pour atteindre des COP nettement plus grands et des solutions encore plus intéressantes économiquement.

Fabrice Rognon : Ce marché est cependant plus difficile, car les clients sont des investisseurs professionnels; on calcule donc au plus juste et il n'y a pas place pour



Thomas Kopp: On devrait entreprendre quelque chose partout où l'on observe des pertes d'exergie élevées.

l'idéalisme. Au plan technique, il faut améliorer la standardisation. Pour le financement des équipements, c'est le *contracting* qui offre aujourd'hui les meilleures perspectives.

Les PAC sont une "histoire à succès". Pourquoi faut-il encore de la R&D ?

Thomas Kopp : La PAC traditionnelle avec un fluide de travail classique a atteint un niveau très élevé. Si l'on compare toutefois la performance d'une PAC moyenne avec ce que prévoit en théorie la thermodynamique, il y a encore place pour une amélioration notable du COP. À cet effet, les pertes d'exergie doivent être localisées et réduites à un minimum, tandis que la PAC, en tant que système, doit être mieux intégrée au système physique qu'est le bâtiment tout entier.

Max Ehrbar : Sous la "pression" des homologations de PAC effectuées par le Centre d'essai WPZ de Töss, les COP, et donc aussi leur moyenne annuelle au niveau du système, ont nettement augmenté au cours des dix dernières années. Pourtant, on pourrait faire encore beaucoup mieux.

Fabrice Rognon : Nous avons encore besoin de recherches et de développements parce que la technologie n'a parcouru que la moitié du chemin qui nous attend. Les meilleures installations n'atteignent aujourd'hui que 45% de leur capacité théorique; à court terme, il sera possible d'atteindre 60%, mais ensuite, les progrès seront pénibles et coûteux. En outre, de nouvelles technologies font leur apparition, encouragées par les progrès enregistrés dans d'autres domaines. Un exemple typique en est l'utilisation du CO₂ comme fluide de travail.

Sur quels secteurs de la technologie les efforts de R&D doivent-ils se porter ?

Thomas Kopp : Les fluides de travail respectueux de l'environnement que l'on connaît aujourd'hui exigent des adaptations par rapport à la construction traditionnelle des PAC. Aux pressions élevées, le CO₂ circule à l'état supercritique, tandis que l'ammoniac requiert l'introduction d'éléments de sécurité adéquats. En règle générale, on devrait entreprendre quelque chose partout où l'on observe des pertes d'exergie élevées.

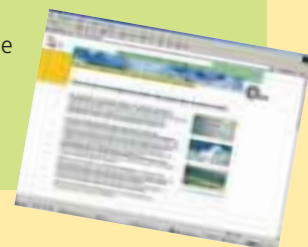
Max Ehrbar : Nous avons aussi besoin de poursuivre la recherche dans le domaine des composants; cela est toutefois quelque peu en dehors de notre sphère d'influence, dès l'instant où la plupart des composants importants viennent de l'étranger.

Fabrice Rognon : Comme je l'ai déjà signalé, l'Office fédéral de l'énergie, lui aussi, accorde la priorité, pour les futurs travaux de recherche, aussi bien aux fluides de travail naturels qu'à l'intégration de technologies de régulation modernes. Nous avons besoin de systèmes de régulation qui, en cours de fonctionnement, permettent d'optimiser les systèmes et d'effectuer des diagnostics.

Le GSP veille à la qualité

Le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP) a été fondé en 1993, à l'initiative de l'OFEN. Il a pour objectif de promouvoir de façon ciblée l'utilisation des pompes à chaleur en Suisse, dans le respect de la qualité du système complet et de ses composants. C'est dans cette optique qu'une collaboration suivie a été mise en place dès le début avec le Centre d'essai des pompes à chaleur WPZ de Töss, pendant dix ans, puis avec le nouveau Centre d'essai WPZ de Buchs, depuis l'automne 2003. Le label de qualité pour les pompes à chaleur existe depuis 1999; il est également reconnu en Allemagne et en Autriche (D-A-CH). Un label de qualité pour les sondes géothermiques a été introduit en 2001. Toutes ces mesures encouragent la qualité, la fiabilité opérationnelle et donc la compétitivité de la technique des pompes à chaleur, ce qu'a confirmé récemment la publication des résultats d'une campagne de mesures sur des installations de pompes à chaleur (FAWA).

Informations sur le label de qualité :
www.pac.ch
(→ Info GSP → Certificats)



Que pensez-vous des résultats des mesures faites sur le terrain, dans le cadre du projet FAWA ?

Max Ehrbar : La campagne de mesures FAWA a été un projet unique au niveau mondial; car c'était la première fois que des PAC en fonctionnement étaient systématiquement mesurées. Ses résultats permettent de tirer des conclusions quant aux besoins en matière de recherche et de formation. Cette analyse sur le terrain a montré que les PAC sont extrêmement fiables et que les maîtres d'ouvrage sont satisfaits de ces "machines à chauffer".

Fabrice Rognon : Avec la FAWA, d'une part, nous avons pu accumuler beaucoup d'expérience, confirmer un certain nombre d'affirmations et les étayer par des données statistiques. Nous avons, d'autre part, découvert de nouveaux aspects de la question,

surtout sur les installations de PAC considérées comme des systèmes.

Que pensez-vous de la façon dont l'industrie applique les résultats de la recherche?

Fabrice Rognon : L'industrie fait preuve de plus en plus de professionnalisme, comme le confirme clairement la présentation dans le marché. Il y a là matière à se réjouir.

Thomas Kopp : La tâche de l'industrie n'est pas simple. Son objectif majeur est de fournir des produits fiables afin de ne pas mettre en danger la bonne réputation de la pompe à chaleur. Les nouveautés issues de la recherche exigent la plupart du temps de modifier les procédures internes à l'entreprise, ce qui augmente plutôt les coûts. L'industrie pourrait s'attaquer encore un peu plus rapidement aux sujets identifiés par les chercheurs, comme, par exemple, dans le cas de la régulation. Un autre problème réside, une fois de plus, dans l'étude d'ensemble d'un bâtiment, dans laquelle un trop grand nombre de personnes sont encore aujourd'hui impliquées. Chaque maillon de la chaîne accorde sa préférence à une solution qui a déjà donné de bons résultats; mais cette façon de procéder ne conduit pas encore à une solution optimale à tout point de vue pour l'installation complète.

Max Ehrbar : Pourquoi nous fixer sur les PAC pour le chauffage et l'eau chaude? Il existe en fait d'autres domaines où les PAC peuvent être employées: des applications industrielles, comme les procédés de séchage, la production de denrées alimentaires et, d'une manière générale, des applications du génie chimique.

Que faudrait-il – mise à part une augmentation du prix du mazout – pour avoir une plus grande diffusion dans le marché de la rénovation?

Max Ehrbar : Au plan technique, les solutions existent. Il faut toutefois créer des conditions favorables, pour pouvoir travailler à une température de départ suffisamment basse. Lors des rénovations, il ne faudrait pas seulement réhabiliter le chauffage, mais aussi isoler l'enveloppe du bâtiment.

Normalisation des procédures d'essai

Dans le cadre du Comité européen de normalisation (CEN), des normes définissant les procédures applicables aux essais de pompes à chaleur et de climatiseurs sont en train d'être élaborées. Des groupes de travail du Comité technique TC 113 ont préparé un projet de norme sur les mesures à effectuer à charge partielle sur les pompes à chaleur, ont révisé la norme EN 255 appliquée jusqu'ici et ont abordé la question de la mesure des émissions sonores des PAC. En Suisse, les essais sont basés sur cette norme EN 255. Sa révision conduira à la nouvelle norme EN 14511, qui sera déterminante dans toute l'Europe pour ce qui concerne la certification et l'obtention du label de qualité; elle touchera ainsi directement tant les fabricants que les laboratoires d'essai. Max Ehrbar, directeur du Centre d'essai des pompes à chaleur (WPZ) de Buchs (SG), vient d'être nommé délégué suisse au sein de ces groupes de travail.

Renseignements complémentaires sur les normes et les directives:

www.waermepumpe.ch

Présentation du CEN et du TC 113:

www.cenorm.ce

Fabrice Rognon : On doit, en outre, travailler le marché sans rupture de la chaîne, du fabricant au client final. L'interlocuteur du client, l'installateur, devrait maîtriser le sujet, ce qui ferait de lui une "mini-entreprise générale". Et pour la pompe à chaleur, il faut viser l'efficacité la plus élevée possible pour une grande différence de température entre source froide et condenseur. La *Swiss Retrofit Heat Pump* (SRHP) représente un pas important dans cette direction.

Thomas Kopp : Les aspects importants ont été cités: différence de température entre source froide et condenseur la plus faible possible et réduction de la demande de chaleur. La physique le dit clairement: une pompe à chaleur *Retrofit* parfaite dans un bâtiment mal isolé, ce n'est pas l'idéal.

Que pensez-vous de l'efficacité des mesures financières d'encouragement pour les PAC dans le secteur de la maison individuelle?

Fabrice Rognon : L'octroi de subventions directes a fait l'objet d'une évaluation; on a trouvé que plus de 80% des personnes qui y ont recouru l'ont fait par opportunisme. Les mesures d'encouragement "indirectes" proposées depuis dix ans environ montrent un effet plus durable. Je pense ici au "Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur" (GSP), qui est actif au niveau de la communication, des expositions et des conférences, etc. Ses activités *marketing* sont empreintes de professionnalisme, jouissent d'une large assise et atteignent les buts fixés.

Max Ehrbar : Plus largement, je souhaiterais qu'on insiste encore davantage, dans la communication, sur la question du futur de l'approvisionnement en énergie. La raréfaction des énergies fossiles et l'augmentation de la consommation de chaleur au niveau mondial exigent même que l'on passe à la pompe à chaleur.

FAWA: la campagne prése

Le traditionnel *Symposium de Berthoud sur les pompes à chaleur* est souvent l'occasion de présenter les principaux résultats de la recherche et du développement. Il y a peu, les résultats du projet FAWA ont constitué le thème central de ce onzième *Symposium* du programme de recherche de l'OFEN consacré à la chaleur ambiante. C'est sous la direction de Fabrice Rognon, responsable de ce domaine à l'OFEN, que divers sujets ont été présentés, parmi lesquels une vue d'ensemble de la campagne de mesures FAWA, la situation actuelle du nouveau Centre



Où nous situons-nous en ce qui concerne la R+D et la situation du marché en comparaison internationale ?

Thomas Kopp : Le programme R+D de la Suisse soutient bien la comparaison internationale. Par l'intermédiaire de la Haute École spécialisée des deux Bâle (FHBB), notre pays dirige actuellement la *Tâche 28*



Max Ehrbar: Sous la "pression" des homologations de PAC, les COP ont nettement augmenté.

du programme "Pompes à chaleur" de l'AIE. Dans ce projet, dix pays travaillent au développement d'une méthode permettant, avec un minimum de mesures, de comparer différentes PAC pour le chauffage et la préparation d'eau chaude sanitaire. Déjà dans le passé, la Suisse a participé à des projets internationaux, par exemple en 2001 avec le développement d'un compresseur à CO₂.

Max Ehrbar : Pour les PAC de chauffage, la Suisse est bien présente. Nous sommes – par rapport à la population – les "vice-champions du monde", juste derrière la Suède, pour la vente de PAC, avec une tendance continue à la hausse. À l'heure actuelle, 40% environ des nouvelles constructions sont équipées de PAC, et c'est le Canton du Jura qui figure nettement en tête de liste.

Fabrice Rognon : Nous disposons d'excellents instruments, comme l'expertise des types de PAC, le label de qualité pour PAC et sondes géothermiques, le *Wärme-pumpendoktor*, le programme de formation PENTA et le système complet d'assurance qualité.

Un nouveau secteur d'exportation est-il en train de se dessiner ?

Fabrice Rognon : Non, pas encore. Le marché suisse est encore si grand que même des sociétés étrangères y sont attirées.

Max Ehrbar : Pourquoi pas d'exportations ? Nous avons pour ce secteur des fabricants capables. Puisque des pays comme la Suède, l'Allemagne, l'Autriche, qui ont des niveaux de salaires comparables, sont capables d'exporter des pompes à chaleur, ce devrait être aussi possible pour nos fabricants nationaux ; toutefois, ceux-ci devraient mieux collaborer afin d'atteindre une "masse critique" plus grande pour le développement et la production.

Quelles perspectives d'avenir aimeriez-vous formuler pour les PAC ?

Thomas Kopp : Puisque, du point de vue thermodynamique, la pompe à chaleur est capable de produire de la chaleur à basse température, elle trouvera encore d'autres usages. Bien qu'en Suisse aussi, la pompe à chaleur ait besoin le plus souvent d'électricité – une énergie de haute valeur – pour

Les activités de l'AIE dans le domaine des pompes à chaleur

Plusieurs pays collaborent au programme Pompes à chaleur de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) ; ils effectuent ensemble et de manière coordonnée des travaux de recherche et de développement dans le domaine de la technique des pompes à chaleur et dans certains secteurs apparentés. L'un des quatre projets en cours, la *Tâche 28*, définit des méthodes d'essai et de calcul des performances saisonnières des pompes à chaleur combinées. La Suisse en assume la direction.

Pour de plus amples informations sur le programme des pompes à chaleur de l'AIE : www.heatpumpcentre.org
Projet de recherche (*Tâche 28*) sous direction suisse
www.annex28.net

son entraînement, nous avons le grand avantage que les 60% de notre production électrique proviennent de la force hydraulique, qui est respectueuse de l'environnement. Les systèmes de chauffage à résistance électrique qui, malheureusement, sont toujours en service doivent être remplacés par des pompes à chaleur. Cela libérera de l'électricité pour d'autres PAC sans qu'il faille construire de nouvelles centrales électriques.

Max Ehrbar : La pompe à chaleur gagnera d'autres parts de marché, avant tout dans la rénovation. Une importante voie à suivre est l'installation de grandes PAC, non seulement dans les grands immeubles, mais aussi dans les réseaux locaux de chauffage à distance. Et puis je vois aussi l'interconnexion de réseaux de chauffage de quartier de grandes dimensions. Ce qui permettrait de réaliser des solutions techniques qui seraient trop compliquées et trop chères à petite échelle.

Fabrice Rognon : J'aimerais dire tout simplement que la pompe à chaleur devrait devenir la règle en matière de chauffage, la chaudière à mazout étant alors seulement la solution de rechange.

ntée à Berthoud

d'essai WPZ de Buchs et les enseignements à tirer du projet FAWA à propos du montage des équipements et de l'information de la clientèle. Les nombreux participants à la manifestation ont eu l'occasion de prendre part aux débats relatifs à d'autres aspects importants de l'utilisation des pompes à chaleur.



Cette année, les résultats du projet FAWA étaient le thème central du Symposium de Berthoud sur les pompes à chaleur.

Ne pas perdre de vue l'installation complète

La recherche dans le domaine des pompes à chaleur veut améliorer l'efficacité globale du système

De même que l'isolation de l'enveloppe du bâtiment et l'intégration judicieuse de l'énergie solaire à l'architecture, la pompe à chaleur joue un rôle important dans la réduction de la consommation des combustibles fossiles utilisés pour produire de la chaleur. Au cours des dernières années, grâce aux résultats significatifs de la recherche, des PAC encore plus performantes au plan énergétique ont été développées. Dans le domaine de la chaleur ambiante, l'OFEN encourage de manière ciblée les travaux de recherche qui visent les objectifs suivants :

- Amélioration de l'efficacité, par le perfectionnement des composants, des appareils et des régulateurs
- Utilisation de fluides de travail naturels pour les pompes à chaleur
- Intégration au bâtiment, grâce à une vision globale du système.

Des projets de développement ciblés pour les composants

La façon dont la compression est réalisée influence grandement les performances des pompes à chaleur. Les turbocompresseurs présentent un rendement supérieur par rapport aux compresseurs à piston. C'est pourquoi l'OFEN a soutenu un projet qui vise le développement d'un micro-turbocompresseur à paliers à gaz, conçu pour les pompes à chaleur de petites dimensions. Les travaux théoriques préparatoires ont donné des résultats encourageants. Actuellement, la société OFTech SA, une entreprise issue de l'EPF de Lausanne, prépare la construction d'un turbocompresseur à un étage et les dispositifs de mesure y relatifs.

Le Laboratoire d'énergétique industrielle (LENI) de l'EPF de Lausanne a étudié la migration de l'huile dans une installation bi-étagée comprenant deux compresseurs *scroll* en ligne. Des mesures effectuées en continu, à l'aide d'un procédé spectrométrique à infrarouge, ont confirmé la présence d'un écoulement d'huile de l'étage à

haute pression vers celui à basse pression. Le recours à un appareil à deux étages, s'il présente des avantages au plan énergétique, augmente la complexité de la construction.

En général, les petites pompes à chaleur ne sont réglées que d'après leur courbe caractéristique et la température extérieure. C'est pourquoi, jusqu'à présent, l'inertie thermique des bâtiments et des systèmes de distribution de la chaleur, ainsi que la mise à profit de périodes pendant lesquelles l'électricité est disponible à un tarif avantageux, n'ont jamais été prises en considération de manière optimale. C'est ici qu'intervient le projet de recherche sur la modulation de la durée de fonctionnement, dont l'objectif est une régulation optimisée sur la base de la quantité de chaleur à fournir et du prix de revient de celle-ci. Des essais effectués avec une régulation industrielle ont confirmé l'efficacité de cette solution,

Liens Internet

Le résumé des activités de recherche et de développement de l'OFEN :

www.suisse-energie.ch

(→ Recherche et formation → Rapports de synthèse des chefs de programme)

La recherche et le développement dans le domaine de la chaleur ambiante :

www.waermepumpe.ch/fe

Les rapports du domaine Chaleur ambiante :

www.energieforschung.ch

(→ ENET → Publications)

L'Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement :

www.umwelt-schweiz.ch/produkte

WPZ de Buchs : tout va pour le mieux, les essais ont

Inauguré au début de l'année, le nouveau Centre d'essai des pompes à chaleur (WPZ) de la NTB, à Buchs (SG), a commencé les tests officiels. Sur la base de l'expérience acquise, depuis le milieu des années 70, au Laboratoire de thermodynamique et de technique du froid, grâce à la recherche et aux applications, les installations existantes ont été complétées en fonction des exigences du nouveau Centre d'essai WPZ de Buchs. Les premières mesures, qui servent de référence, ont été effectuées sur des pompes à chaleur déjà testées auparavant à l'ancien Centre d'essai WPZ de Töss. La concordance est réjouissante. L'équipement moderne du Centre d'essai WPZ de Buchs permet dorénavant la poursuite des essais au plus haut niveau technique. Les bases de

l'attribution du label de qualité pour pompes à chaleur continuent ainsi à être assurées.

Deux appareillages d'essai pour des modèles différents

Au milieu du Centre d'essai WPZ de Buchs se trouve une double chambre climatisée, pour les essais des pompes à chaleur air-eau. Dans la plus grande des deux, il est possible d'obtenir des températures allant de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$



Le banc d'essai du Centre WPZ de Buchs (SG) pour les pompes à chaleur eau-eau et saumure-eau est utilisé depuis le début de l'année.

Utilisation du CO₂ dans les pompes à chaleur

Le projet visant le développement d'une pompe à chaleur utilisant du CO₂ comme fluide de travail est en cours de réalisation. Le COP global pour le chauffage et la préparation d'eau chaude devrait atteindre 4,5. Dans un premier temps, la faisabilité technique a été vérifiée; cet essai comprenait une analyse thermodynamique et l'élaboration de solutions proposées pour l'intégration d'une telle pompe à chaleur à une installation usuelle de chauffage. Depuis lors, un modèle de simulation a été créé, qui a permis de définir un système de pompe à chaleur approprié; celui-ci servira maintenant de point de départ à la construction d'un prototype.

Pour plus de renseignements : www.awtec.ch (→ Projekte)

si bien que sa commercialisation peut maintenant débiter.

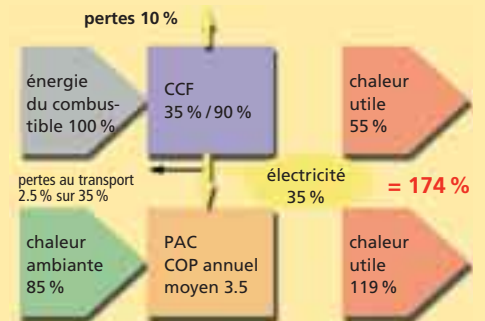
Suite à des projets relatifs à l'amélioration de la mesure du COP annuel moyen des installations combinées de pompe à chaleur, destinées au chauffage et à la préparation d'eau chaude sanitaire, la HES des deux Bâle (FHBB), à Muttens, a abordé le calcul et la validation du COP annuel moyen d'appareils compacts de ce type et a pris en

charge la direction d'un projet du programme "Pompes à chaleur" de l'AIE, la *Tâche 28*, allant dans le même sens.

Vers des fluides de travail naturels

Depuis des années déjà, le remplacement des fluides de travail synthétiques par des fluides naturels dans les pompes à chaleur constitue une problématique des plus importantes. L'objectif est de réduire les

La manière la plus efficace de produire de la chaleur utile est une combinaison judicieuse de pompes à chaleur et du couplage chaleur-force. C'est sur ce principe que l'OFEN axe le soutien des activités de recherche.



quantités utilisées des substances susceptibles d'augmenter fortement l'effet de serre. Les nouvelles dispositions de l'Ordonnance fédérale sur les substances dangereuses pour l'environnement, entrées en vigueur début 2004, vont dans ce sens.

Jusqu'à présent, les études menées à la HES de Winterthur avec du gaz carbonique (CO₂) ont donné d'excellents résultats. Cependant, le fait de changer de fluide de travail a un impact direct sur la construction, aussi bien de l'installation que du système de chauffage.

L'ammoniac est un autre produit naturel, qui est la règle dans les installations de

débuté

à +80 °C avec une hygrométrie pouvant atteindre 95 %, alors que la petite chambre permet de simuler des températures jusqu'à -50 °C. Les pompes à chaleur à tester et leurs condenseurs ou leur arrivée d'air sont répartis en conséquence dans les deux chambres.

Le Centre d'essai WPZ de Buchs est à même de tester 14 pompes à chaleur air-eau par année, car la durée des mesures est de trois semaines par machine. La double chambre climatisée affiche d'ores et déjà complet pour 2004.

Les tests des pompes à chaleur eau-eau et saumure-eau sont effectués sur un autre site, équipé de sa propre infrastructure. Ils durent généralement une semaine. La capacité du Centre d'essai WPZ de Buchs est donc ici d'environ 42 machines par année.

Un concept de mesure moderne

Avant les essais, les interfaces sont définies avec les fabricants et les derniers détails tech-

Max Ehrbar (à droite) dirige le nouveau Centre d'essai des pompes à chaleur (WPZ) installé dans le Laboratoire de thermodynamique de la NTB, à Buchs.



niques discutés avec eux. Après le montage de la pompe à chaleur sur le banc d'essai, son fluide de travail est chargé, avec la quantité déclarée par le fabricant. Le programme de mesures peut alors commencer. Afin de vérifier la reproductibilité des résultats, certains points de fonctionnement de la pompe à cha-

leur sont mesurés à plusieurs reprises. L'équipement de mesure permet d'enregistrer la pression, la pression différentielle, la température, l'humidité, le débit volumique, le débit massique, etc. Afin de garantir un niveau de qualité élevé, les mesures sont répétées en appliquant des procédés différents, ce qui

grandes dimensions. Son utilisation pendant des années dans des réfrigérateurs a aussi donné de bons résultats. Toutefois, un prototype de pompe à chaleur, muni d'un compresseur à palettes rotatives coulissantes et d'un *économiseur*, a donné des valeurs du COP trop basses. Afin d'ouvrir la voie à de nouvelles solutions, l'Institut des Techniques énergétiques de la HES de Rapperswil cherche à développer d'autres façons de réaliser la compression.

Objectif: intégration complète

L'année dernière, des circuits hydrauliques standard ont été définis et publiés afin d'assurer le succès de l'installation des pompes à chaleur. Cet ensemble de directives a pour but de permettre l'intégration optimale de la PAC au système de distribution de chaleur du bâtiment et sa combinaison judicieuse avec d'autres sources de chaleur comme, par exemple, des capteurs solaires. L'objectif à long terme est l'intégration énergétique totale au bâtiment, dont font aussi partie l'exploitation du stockage saisonnier de chaleur et l'entraînement des pompes à chaleur à l'aide d'énergie produite par des agents renouvelables.

permet des recoupements. L'automatisation des programmes d'essai permet des mesures 24 heures sur 24, ce qui s'est avéré être un avantage dès les premiers mois.

Prêt à répondre aux exigences futures

En ce qui concerne la certification attestée par le label de qualité, les tests se font sur au moins deux pompes à chaleur de puissances différentes, et cela pour chaque gamme de produits. Le Centre d'essai WPZ de Buchs s'attend à une augmentation prochaine du nombre des demandes d'essai en charge partielle. Des développements nouveaux concernant les fluides frigorigènes et les modifications qui en résultent dans la construction des pompes à chaleur, conduiront à une augmentation du nombre des essais commandés, qui s'ajouteront à l'utilisation routinière de l'infrastructure existante pour certains travaux de recherche.

Pour de plus amples informations :

www.wpz.ch
www.ntb.ch
www.pac.ch

Conçue pour la rénovation

Des entreprises bernoises construisent une pompe à chaleur destinée au marché de la rénovation des bâtiments

Les potentialités de la technique des pompes à chaleur pour le marché de la rénovation des bâtiments ont été reconnues depuis longtemps. Mais pour avoir autant de succès dans ce secteur que dans celui des constructions nouvelles, durant ces dernières années, il faut disposer d'une pompe à chaleur plus efficace et moins chère. Le projet *Swiss Retrofit Heat Pump* (SRHP) a été lancé et soutenu par l'OFEN vers le milieu des années 90. Il a débuté par l'élaboration d'un cahier des charges, lequel a permis la réalisation d'un concours pour encourager des développements nouveaux.

Sur la voie de la coopération

L'idée de créer une entreprise commune pour la conception et la production d'une telle pompe à chaleur a été proposée dès la première phase en 1997. Toutefois, le concours a eu pour effet de lancer des développements dans plusieurs entreprises industrielles, si bien qu'il a fallu abandonner la première idée d'un travail collectif de développement.

Depuis lors, avec le soutien de l'OFEN et du Transfert de technologie de Berne en matière d'énergie (TRANSTECH-Énergie), trois entreprises spécialisées se sont accordées pour unir leurs forces et mettre sur le marché une version perfectionnée de la pompe à chaleur de KWT SA, à Belp, lauréate du concours. Ainsi, le soutien de l'OFEN a finalement engendré une réalisation dont on ne peut que se réjouir.

Des appareils optimisés et une conception novatrice

Trois entreprises bernoises, Steinmann Apparatebau SA, FRIAP SA et KWT Kälte-Wärme-Technik SA, développent,

construisent, commercialisent et assurent le suivi de la nouvelle pompe à chaleur *Swiss-Top* pour le marché de la rénovation.

Daniel Trüssel, de KWT SA, rapporte : "Nous nous sommes consacrés de manière intensive à ce développement ; nous avons étudié de nouvelles approches ; nous avons évalué divers composants ; enfin, par des examens au Centre d'essai WPZ de Töss et sur le terrain, nous avons mené la pompe à chaleur ainsi conçue au succès."

Un critère essentiel pour les pompes à chaleur destinées au marché de la rénovation est de pouvoir fournir de la chaleur à la température de 65 °C au moins, la température de départ de nombreux chauffages centraux. L'élévation considérable de la température dans la pompe à chaleur est réalisée à l'aide d'un port intermédiaire d'injection de vapeur et d'un *économiseur*. Un compresseur *scroll* optimisé pour cette



Swiss-Top : la nouvelle pompe à chaleur pour le marché de la rénovation des bâtiments.

Liens Internet

Swiss-Top est le produit de la coopération de trois entreprises bernoises :

www.kwt.ch

www.friap.ch

www.steinmann-appag.ch

Soutien du projet :

www.teve.ch

www.energie-cluster.ch

tâche a largement contribué à cette percée technologique.

Flexibilité dans le choix de la chaleur ambiante

Le concept d'une pompe à chaleur air-eau avec une tour de refroidissement à air (échangeur de chaleur) séparée et placée à l'extérieur du bâtiment, offre des avantages lors du montage de la pompe à chaleur ; en effet, il ne nécessite pas le percement d'orifices de grandes dimensions pour l'aspiration de l'air. En cas d'agrandissement ultérieur, il est tout à fait possible d'ajouter des sondes géothermiques. Ce type de pompe à chaleur laisse une grande flexibilité dans la conception et offre des avantages économiques.

Roland Wittwer, de FRIAP SA, ajoute : "Nous développons deux modèles *Swiss-Top* : un de 10 kW pour maisons individuelles et un autre de 20 kW pour maisons jumelées. Notre présence sur tout le territoire suisse, en tant que fournisseur de systèmes écologiques pour les installations techniques du bâtiment, nous permet d'assurer un conseil ciblé, de même que le service après-vente."

Ces pompes à chaleur sont produites par Steinmann Apparatebau SA, le plus important fabricant suisse, qui construit environ 1'000 appareils par an. C'est le seul fournisseur à proposer tous les types d'équipements, que ce soit à air, à eau et/ou à saumure. Manfred Beerhalter, de Steinmann Apparatebau SA, précise : "Notre gamme de produits comprend des pompes à cha-

leur compactes, d'une puissance de 7 à 30 kW, ainsi que des installations conçues pour l'industrie, qui atteignent 1'000 kW."

Grâce à la collaboration avec une Haute École spécialisée, la conception de la tour de refroidissement (échangeur de chaleur eau-air), placée à l'extérieur, a été améliorée et le bruit produit a été réduit à un minimum.

Concurrencer le traditionnel

Afin de s'imposer dans la concurrence qui l'oppose aux techniques traditionnelles de chauffage utilisant des énergies fossiles, le groupe d'industriels doit mettre en évidence les avantages supplémentaires de ses nouvelles pompes à chaleur. Aujourd'hui, le refroidissement joue – à côté du chauffage – un rôle de plus en plus important.



À l'occasion de l'édition 2002 du Symposium de Berthoud sur les pompes à chaleur, les participants ont pu examiner les deux prototypes de la *Swiss Retrofit Heat Pump* et l'appareil de KWT SA.

C'est pourquoi, on s'efforce d'utiliser les appareils *Swiss-Top* conjointement pour ces deux applications.

En ligne de mire se trouvent les bâtiments datant des années 80, dont les installations de chauffage doivent être rénovées. Les installateurs et les concepteurs seront les principaux protagonistes de la commercialisation de la nouvelle pompe à chaleur.

Chronologie de la *Swiss Retrofit Heat Pump* (SRHP)

L'exemple du développement de la *Swiss Retrofit Heat Pump* (SRHP) montre tout le temps nécessaire à la conception et à la mise en œuvre d'un projet lorsque des instituts de recherche et des entreprises industrielles y participent et qu'il faut utiliser des structures de communication complexes.

1992

On fait le point sur les expériences faites avec des pompes à chaleur lors de projets de rénovation. C'est le moment du départ du financement des projets suivants.

1997

Martin Zogg, alors chef du programme de l'OFEN, prend contact avec des experts et des entreprises pour définir le cahier des charges de la SRHP.

1997

L'appel d'offre public de l'OFEN connaît un grand succès. Les trois meilleures études sont sélectionnées.

2000

Choix d'une installation expérimentale pour des essais *in situ*.

2000

Deux pompes à chaleur remplissent les conditions imposées par le secteur de la rénovation : le modèle de KWT avec refroidissement indirect à air et le modèle de SATAG.

2002

L'atelier du Transfert de technologie de Berne en matière d'énergie (TRANSTECH-Énergie) donne l'impulsion nécessaire à la réalisation d'une base de production et de commercialisation pour les pompes à chaleur destinées à la rénovation.

2003

Début de la coopération des trois entreprises bernoises KWT SA, FRIAP SA et Steinmann Apparatebau SA.

2004

Développement et production du nouveau modèle *Swiss-Top*, ainsi que son lancement sur le marché.

Étudier les pieds au chaud

L'installation de pompes à chaleur du Centre d'études de Gerzensee exploite la chaleur du terrain pour chauffer et refroidir

Il y a 20 ans, huit pompes à chaleur air-eau avaient été installées au Centre d'études de la Banque nationale suisse à Gerzensee (BE). Destinées à chauffer trois immeubles, elles étaient complétées par un chauffage au mazout pour couvrir les pointes de consommation. Au cours d'une rénovation, cette installation vient d'être remplacée par deux pompes à chaleur saumure-eau et un champ de sondes géothermiques.

Remplacement des anciennes PAC

Plusieurs des anciennes pompes à chaleur, défectueuses, avaient dû être progressivement mises hors service, ce qui occasionnait une augmentation substantielle de la consommation de mazout ; il devenait indispensable de trouver une solution de rem-



Pour son chauffage et son eau chaude sanitaire, le Centre d'études de Gerzensee mise avant tout sur des pompes à chaleur utilisant la chaleur du sol et du courant écologique.

placement. L'objectif était de réduire la consommation globale d'énergie du Centre d'études, d'augmenter la quote-part de la chaleur ambiante et de pouvoir désormais refroidir au besoin la salle polyvalente.

Actuellement, deux pompes à chaleur saumure-eau CTA, d'une puissance de 132 kW chacune, sont installées dans la salle des machines. Il a ainsi été possible de réduire d'un quart la consommation annuelle d'électricité ; plus de la moitié des besoins actuels sont couverts par du cou-

rant écologique. L'ensemble des besoins, tant en énergie de chauffage qu'en eau chaude sanitaire (température: 35 à 50 °C), est couvert par les pompes à chaleur. Si des températures plus élevées sont nécessaires (une fois par semaine comme protection contre la légionellose), ou si des températures extérieures extrêmes créent occasionnellement un besoin de pointe, c'est le

valente, selon le principe du *free-cooling*. Un échangeur de chaleur a été ajouté à la ventilation de la salle et une pompe de circulation supplémentaire a été posée, permettant ainsi d'utiliser les sondes pour le refroidissement, la puissance étant d'environ 96 kW. La chaleur de la salle est donc transférée dans le sol pour y être stockée.



Chacune des deux pompes à chaleur saumure-eau fournit une puissance de 132 kW.

chauffage à mazout, également modernisé, qui est mis à contribution. Les grands ballons d'eau chaude sont chargés durant la nuit et, en règle générale, n'ont pas besoin d'être rechargés pendant la journée.

La chaleur et le froid extraits du sol

Actuellement, le sol est utilisé comme source d'énergie en remplacement de l'air ambiant. Le projet prévoyait 32 sondes géothermiques d'une longueur de 150 m chacune. En raison de quelques difficultés géologiques rencontrées lors du forage et de la mise en place des sondes, une installation de 33 sondes d'une profondeur allant de 110 à 160 m, au total 4'785 m, a finalement été réalisée. La température à la sortie du champ de sondes se maintient aux alentours de 8 °C pendant presque toute l'année. En été, les sondes géothermiques servent au refroidissement de la salle poly-

Des mesures sont en cours

Depuis environ deux ans, la nouvelle installation de pompes à chaleur de Gerzensee fournit de l'énergie pour le chauffage des 4'900 m² de surface utile et de l'eau chaude du Centre d'études. Un programme de mesures, soutenu par l'OFEN, permet le contrôle de cette installation. (Rapport de la campagne de mesures : ENET n° 240047).

Liens Internet

Centre d'études de Gerzensee :
www.szgerzensee.ch

Renseignements sur le projet :
www.fws.ch

(→ Downloads → Pompes à chaleur-News)

Un acheteur futé

Les responsables des achats disposent d'une nouvelle plate-forme Internet consacrée aux meilleures techniques énergétiques du bâtiment

Hanspeter Eicher
Jürg Weilenmann
Urs Kaufmann

Dr. Eicher + Pauli SA
CH-4410 Liestal

Robert Tresch
CH-3186 Düringen

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

Andreas Eckmanns
Responsable du domaine Bâtiment à l'OFEN

Le rôle des maîtres d'ouvrage et de leurs représentants est primordial lorsqu'il s'agit d'appliquer une technique de construction moderne et optimisée. Mais pour cela, ils doivent être au fait des commandes et des prestations nécessaires à la réalisation de bâtiments exemplaires du point de vue énergétique, qu'il s'agisse de constructions nouvelles ou de transformations. Les maîtres d'ouvrage, les concepteurs et les entreprises qui exécutent le travail doivent pouvoir utiliser des instruments adaptés. C'est le seul moyen de passer des commandes judicieuses, bien formulées, lors du choix des équipements de chauffage, ventilation et climatisation ou d'installations sanitaires. Une nouvelle plate-forme, créée avec le soutien de l'OFEN, a été présentée il y a quelques jours aux professionnels intéressés, à l'occasion de diverses réunions d'information; elle a pour objectif d'améliorer la compétence des responsables des achats.

Tenir compte de toutes les phases, de l'étude, du projet à l'exploitation

Cette plate-forme a été développée sur une base Internet. Elle guide les responsables des achats et les mandants par toutes les phases du modèle de prestations SIA. Celles-ci vont de l'étude stratégique des installations techniques à leur exploitation, en passant par l'élaboration du projet et sa réalisation. Les principales activités sont décrites pour chacune de ces phases et les outils de travail nécessaires mis à disposition. Cela permet au responsable des achats de définir assez tôt les objectifs énergétiques visés et de surveiller l'évolution du projet et sa réalisation.

Mise à jour en fonction de l'écho rencontré

La première mise à jour du site Internet est prévue à court terme. Ce sera aussi l'occasion d'introduire des améliorations pour tenir compte des remarques des utilisateurs. Un formulaire *ad hoc* permet de demander un mot de passe, qui donnera ensuite accès à ce nouvel instrument.

www.bestellerkompetenz.ch



Le site Internet offre une plate-forme pour réaliser des bâtiments exemplaires du point de vue énergétique.

Davantage de lumière du jour dans les bâtiments commerciaux

Une bonne partie de l'énergie électrique consommée dans les immeubles commerciaux est destinée à l'éclairage. Dans le cadre d'un programme de l'AIE, le Laboratoire d'Énergie solaire et de Physique du bâtiment (LESO-PB) de l'EPF de Lausanne étudie, dans un projet, intitulé *Daylighting Buildings in the 21st Century*, les possibilités d'utilisation de la lumière du jour; le but est de réduire la consommation d'électricité. Des travaux de recherche effectués avec un simulateur de lumière permettent notamment de faire des mesures à l'intérieur d'un modèle à échelle réduite du bâtiment étudié. Actuellement, des efforts sont faits pour appliquer les connaissances acquises, avec l'aide de concepteurs du secteur du bâtiment et de fabricants de composants. Pour que les architectes tiennent mieux compte de l'éclairage naturel, on essaie aussi de leur faciliter l'accès à des outils spécifiques de conception et d'aide à l'élaboration du projet.



<http://lesomail.epfl.ch>
(→ Research → Daylighting)

En fonctionnement fixe et mobile

Les batteries ZEBRA emportent l'adhésion par leur technologie et leur vaste champ d'application

Cord-Heinrich Dustmann

MES-DEA SA
CH-6855 Stabio

Martin Pulfer

Responsable du domaine Transports, Batteries, Supercaps à l'OFEN

Les batteries ZEBRA permettent de satisfaire aux exigences techniques d'un véhicule électrique. Le rayon d'action jusqu'à 100 km est garanti; puissance et fiabilité sont assurées, tout comme la durée de vie, à un niveau appréciable, plus de 10 ans. Pourtant, MES-DEA SA, à Stabio (TI), ne parvenait toujours pas à faire travailler à sa pleine capacité la chaîne de production des batteries ZEBRA. Les handicaps pénalisant les véhicules électriques sont trop gros. Entre temps, un travail de développement sur deux ans, soutenu par l'OFEN, a permis de porter la capacité de stockage de la batterie à 120 Wh/kg. Les essais sur des applications fixes ont été un succès, permettant ainsi l'ouverture de nouveaux marchés potentiels.

Utilisation d'éléments naturels

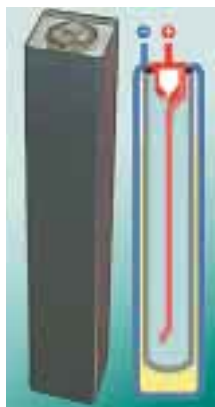
Le fonctionnement de chaque cellule de la batterie ZEBRA fait appel à du nickel et à du sel (NaCl). Ces substances sont isolées l'une de l'autre par une gaine en céramique. Lors de la charge, il y a transformation chimique en chlorure de nickel et en sodium; lors de la décharge, c'est la réaction inverse qui a lieu. Une isolation entre la gaine de céramique et le boîtier en acier rend la pile hermétique; ainsi son utilisation ne requiert-elle aucun entretien.

Les cellules, en nombre variable, sont reliées entre elles en parallèle ou en série, en fonction des applications envisagées. On combine normalement 20, 100 ou 216 cellules, couvrant ainsi une gamme de capacités qui va de 34 à 225 Ah et des tensions

pouvant atteindre 557 V. Les plus grandes unités offrent une puissance de 32 kW.

Des économies de poids aux effets positifs

En effectuant une analyse détaillée des données caractéristiques de chaque composant de la cellule, on a cherché, ces derniers mois, à économiser du poids. Cord-Heinrich Dustmann, directeur de la division Batterie ZEBRA de MES-DEA SA, explique: "En rendant plus légères, et par là-même plus économiques, les batteries nécessaires aux véhicules électriques, nous voudrions que le public accepte mieux ce nouveau mode de déplacement. C'est pourquoi nous avons travaillé sur l'épaisseur de paroi des boîtiers, sur la gaine de céramique intégrée, sur le diamètre des raccordements électriques et sur la composition du granulat à l'intérieur de la batterie, ainsi que sur tous les composants du boîtier et de l'électronique. Pour notre batterie standard Z5, nous avons ainsi pu réaliser une économie de poids de 8 % environ, de sorte qu'elle pèse aujourd'hui moins de 180 kg pour un contenu énergétique de 21,2 kWh."



Les batteries ZEBRA fonctionnent au nickel et au sel (séparés l'un de l'autre par un électrolyte en céramique) à une température de travail située entre 270 et 350 °C.



MES-DEA SA, à Stabio (TI), s'est spécialisée dans le perfectionnement et la production de la batterie ZEBRA.

Utilisation fixe dans les télécommunications

Assurer la réserve de courant d'un central téléphonique s'est révélé être une application fixe intéressante pour la batterie ZEBRA. L'exigence est ici qu'un jeu de batteries complètement chargées soit en mesure de prendre immédiatement le relais en cas de coupure de courant, ceci en tout temps et pendant 15 ans. Par rapport aux



Prêtes à être expédiées, les batteries ZEBRA sont disponibles sous différentes capacités et sous différentes puissances et ne requièrent aucune maintenance.

batteries au plomb utilisées généralement aujourd'hui, les batteries ZEBRA ont plusieurs avantages, comme de pouvoir travailler dans des environnements de n'importe quelle température (la batterie ZEBRA a une température interne de travail de 270 °C environ), de fonctionner sans entretien et de permettre le diagnostic à distance.

Cord-Heinrich Dustmann entrevoit encore d'autres applications: "À côté de cette utilisation dans le secteur des télécommunications, nous sommes d'avis que les batteries ZEBRA pourront contribuer au réglage du réseau nécessité par certains systèmes basés sur des sources d'énergie renouve-

lables (installations éoliennes et photovoltaïques). Dans les applications mobiles, par contre, il reste encore du travail à faire pour convaincre le public, avant que les véhicules électriques ne s'imposent définitivement. Notre capacité de production atteint aujourd'hui 2'000 batteries environ par an; le bâtiment est toutefois déjà prévu pour des quantités beaucoup plus grandes."

Extension des activités de MES-DEA

MES-DEA a mené jusqu'à présent ses travaux de développement avec le soutien de l'OFEN. Elle a, en contrepartie, activement encouragé les projets VEL (véhicules électriques légers) dans le Canton du Tessin.

Avec une recherche sur des piles à combustible PEM jusqu'à 5 kW destinées aux deux-roues, le développement vers la mobilité alternative trouve un complément judicieux.



MES-DEA SA adapte aussi des véhicules à la propulsion électrique et réalise des exécutions spéciales.

VEL2 aborde la dernière ligne droite

En 2001, le programme de mobilité du Canton du Tessin VEL2 a pris la relève de VEL1, qui avait été lancé à Mendrisio et soutenu par l'OFEN. Le but poursuivi par le Canton est d'encourager l'utilisation de véhicules à 2, 3 ou 4 roues, plus économes en énergie, et cela sur tout le territoire cantonal. Un réseau d'agences régionales InfoVEL favorise la diffusion des informations en rapport avec des solutions durables dans le domaine de la mobilité. Le projet vise à réduire les atteintes à l'environnement, les nuisances sonores et les émissions de CO₂ et à réaliser des économies d'énergie. Ainsi, le territoire cantonal est devenu un champ idéal pour l'expérimentation de technologies nouvelles.



Jusqu'à mi-avril, VEL2 avait enregistré plus de 1'700 véhicules. Parmi ceux-ci, près de 750 fonctionnent avec une propulsion électrique, 500 à l'essence, plus de 400 au diesel et quelque 25 d'entre eux sont des véhicules hybrides.

VEL2 cherche à promouvoir une mobilité durable qui repose également sur des synergies avec les transports publics; ce qui lui confère ainsi un rôle de pont avec VEL3. Ce dernier programme devrait être lancé en 2005, l'objectif étant de renforcer l'influence sur la branche de l'automobile du Canton et de favoriser ainsi l'intégration au marché.

www.vel2.ch

Plus que jamais décentralisée

Les installations de production décentralisée d'énergie ont un impact sur l'exploitation des réseaux de distribution d'électricité

Roland Brüniger

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

Felix Frey

Responsable du domaine Électricité à l'OFEN

Quels sont les problèmes auxquels les opérateurs des réseaux de distribution d'électricité seront confrontés lorsque les installations de production décentralisée d'énergie (IDE) alimenteront en plus grand nombre leurs réseaux? Telle était la question examinée par une étude soutenue par l'OFEN et quelques autres organisations. Son objectif était de déterminer les mesures techniques éventuelles à prendre et leurs conséquences économiques.

Des techniques variées

Par production décentralisée, on entend les installations qui peuvent alimenter les réseaux à basse et à moyenne tension et dont la puissance ne dépasse donc pas les 500 kW et 20 MW, respectivement. Les raccordements au réseau de telles installations varient de l'une à l'autre : les équipements photovoltaïques et à pile à combustible produisent toujours du courant continu ; il faut donc passer par un onduleur pour les relier au réseau à basse tension. Par contre, dans les autres types d'installations (centrales éoliennes et hydroélectriques, installations combinées chaleur-force, etc.), les convertisseurs d'énergie sont des machines électriques, par exemple, des génératrices asynchrones ou synchrones.

Actuellement, des installations décentralisées, avec des puissances et des stratégies

de régulation diverses, sont raccordées à différents niveaux de tension. Leur quote-part à la production d'électricité est encore modeste et, en conséquence, leur impact sur l'exploitation des réseaux de distribution reste limité. Cependant, leur utilisation va augmenter dans le futur, ce qui influencera durablement tant l'extension que l'exploitation des réseaux.

Des simulations répondent aux questions soulevées

Trois points forts étaient au centre de l'étude. Dans le domaine des impacts directs sur le réseau, on a examiné entre autres la qua-



Raccordement au réseau d'installations décentralisées de production d'énergie de différents types.



Les installations photovoltaïques fournissent du courant continu qui est injecté dans le réseau après transformation en courant alternatif par un onduleur.

Utilisation de limiteurs supraconducteurs de courant

Outre les aspects novateurs du développement technologique des limiteurs supraconducteurs de courant (LSC), une étude s'est intéressée à leur marché potentiel. Après avoir examiné les possibilités d'utilisation et la situation économique, les auteurs ont interviewé des opérateurs de réseaux et effectué des calculs.

Des caractéristiques particulières pour la limitation du courant

Les LSC tirent parti du changement de phase de l'état supraconducteur à l'état normal de conduction, afin de limiter au besoin l'intensité du courant. La faible impédance (résistance apparente) d'un LSC à l'état supraconducteur, c'est-à-dire dans les conditions normales de fonctionnement, permet d'obtenir tout à la fois une impédance de réseau faible et de petits courants de court-circuit.

Dans ses développements de supraconducteurs, ABB Suisse SA travaille sur le type dit résistif, c'est-à-dire traversé directement par le courant du réseau à protéger.

Des avantages économiques uniquement pour certaines applications de niche

Dans le cadre du projet, trois applications possibles ont été examinées :

- LSC couplant deux réseaux
- LSC couplant un générateur (soit une installation de production décentralisée d'énergie, IDE) au réseau

Rapport final :

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen, (avec 9 annexes), 2003

G. Schnyder, P. Mauchle, Schnyder

Ingénieurs SA; M. Höckel, P. Lüchinger,

HES de Bienne; O. Fritz, C. Häderli, E. Jaggy,

ABB Suisse SA

ENET n° 230260–230269

Pour télécharger :

www.electricity-research.ch

lité et les fluctuations de la tension, ainsi que les harmoniques produits par les installations décentralisées. Au niveau des exigences de sécurité, l'étude a porté sur l'impact d'une déconnexion des installations décentralisées, les techniques de protection et l'identification sélective des pannes. Finalement, dans le domaine de la structure du réseau et de la régulation, ce sont la modélisation des charges, l'optimisation et la sécurité de l'approvisionnement qui ont été étudiées.

Des simulations ont été effectuées sur la base de données de consommation, de réseaux de distribution réels et de points d'alimentation possibles pour des installations décentralisées de production. Afin d'étudier l'impact de ces dernières sur le réseau à moyenne tension, on a modélisé une partie de réseaux appartenant à des entreprises électriques, en supposant des charges à des niveaux différents. Les com-

- LSC à la sortie des sous-stations des réseaux à moyenne et à haute tension.

Le réseau à moyenne tension apparaît comme un domaine d'application privilégié, par exemple, pour le couplage de plusieurs réseaux dans une sous-station, afin d'augmenter la puissance ou d'améliorer la disponibilité. Toutefois, l'analyse économique a démontré que les économies de coûts réalisables restent modestes dans les applications en rapport avec des transformateurs, des tableaux de commande ou des câbles. En revanche, dans les nouvelles installations à moyenne tension et dans les extensions de celles-ci, ainsi que pour les câbles à haute tension, les économies potentielles existent bel et bien, et, par là, également des débouchés sur le marché. L'installation d'un prototype devrait permettre de mieux évaluer les chances de cette technologie.

Rapport final:
Marktpotenzial von supraleitenden Strombegrenzern, 2003
 M. Lakner, D. Braun, ABB Suisse SA;
 G. Schnyder, P. Mauchle, Schnyder
 Ingénieurs SA
 ENET n° 230292
 Pour télécharger:
www.electricity-research.ch

paraisons ont porté sur les tensions régnant aux barres omnibus, sur les puissances actives et réactives, ainsi que sur le taux de charge des lignes, chaque fois avec et sans injection de puissance en provenance des installations décentralisées.

La production décentralisée d'électricité nécessite des interventions dans le réseau à basse tension

Dans les réseaux à moyenne tension, il est possible de maîtriser les conséquences d'un nombre plus élevé d'installations décentralisées de production, grâce aux concepts de réseau et aux composants de protection existants.

Cependant, dans les réseaux à basse tension, il faut prêter attention au maintien de la tension nominale. En raison des caractéristiques de production des différentes installations (variations dans le temps, puissance et point d'alimentation), les variations de tensions sont d'autant plus importantes que le nombre de ces installations est élevé. Afin de maintenir les tensions dans les limites de tolérance, une gestion de la puissance réactive dans le réseau à basse tension est nécessaire.

Dans les réseaux à basse tension, la plupart des IDE sont raccordées par l'intermédiaire d'un onduleur. En raison de la conception des onduleurs, qui sont munis de filtres de sortie, des problèmes peuvent survenir avec les harmoniques; des résonances des filtres ou du réseau peuvent, en particulier, conduire à une surcharge et même à la destruction de certains composants.

Une forte augmentation du nombre d'IDE dans les réseaux de distribution peut rendre nettement plus complexe leur optimisation en ce qui concerne les pertes de réseau, le maintien de la tension nominale et éventuellement les suites d'une déconnexion d'IDE. Il pourrait s'avérer indispensable de revoir les concepts de commande et de réglage et d'installer en conséquence des équipements de régulation supplémentaires et des moyens de communication.



Démontrer l'effet de serre

Le CO₂ présent dans l'atmosphère limite le rayonnement thermique de la Terre vers le vide cosmique; il est ainsi à l'origine de l'effet de serre. Comprendre ce phénomène, sans en faire quotidiennement l'expérience directe, est visiblement difficile. Des recherches scientifiques ont démontré que l'effet de serre est souvent mal expliqué et mal compris; c'est donc vraiment un sujet difficile à comprendre sans explication adéquate.

Utilisé pendant des années lors de manifestations publiques en Suisse comme à l'étranger, l'appareil de démonstration de la société DemoEx Sàrl. a fait ses preuves. D'un point de vue didactique, il permet une excellente présentation du principe de l'effet de serre. Actuellement, l'OFEN soutient le développement d'une version plus économique de cet appareil, qui soit mieux adaptée aux moyens financiers des écoles (objectif: 1'200 CHF).

Au cours de la démonstration, les trois "acteurs", à savoir le Soleil, la Terre et l'atmosphère, sont représentés, les rapports entre eux étant respectés. La surface d'un modèle réduit de la Terre, qui tourne avec un anneau métallique, est réchauffée, puis émet un rayonnement thermique. Du côté non éclairé, le rayonnement thermique traverse un récipient en matière plastique pour être ensuite enregistré par un appareil de mesure fixe. Du CO₂ est, par la suite, insufflé dans ce même récipient transparent. L'appareil de mesure détecte aussitôt une diminution du rayonnement thermique qu'il reçoit. La relation entre la concentration de CO₂ et la diminution du rayonnement thermique de la Terre devient alors absolument évidente pour l'observateur, qui peut comprendre qu'il s'agit là d'une relation de cause à effet.

Pour de plus amples informations:
 DemoEx Sàrl, CH-6030 Ebikon

Sous la loupe: le taux de combustion élevé

Prolongation de la durée d'utilisation des éléments de combustible = contraintes plus sévères pour certains composants du réacteur

Gerhard Bart

Laboratoire d'étude du comportement des matériaux (LWV) Institut Paul Scherrer CH-5232 Villigen

Konstantin Foskolos

Chef du programme Énergie nucléaire de l'OFEN c/o Institut Paul Scherrer CH-5232 Villigen

Christophe de Reyff

Responsable du domaine Énergie nucléaire à l'OFEN

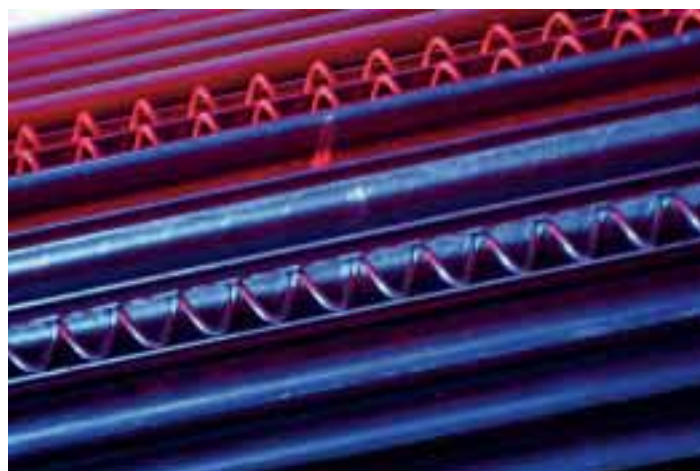
Alors que, vers 1980, un élément de combustible, enrichi au taux de 3.5 à 4% d'uranium 235 (^{235}U), passait environ trois ans dans la cuve d'un réacteur nucléaire, des perfectionnements ont désormais rendu possibles des durées d'utilisation presque doubles. Cette nouvelle donne réduit considérablement le coût de l'acquisition des éléments de combustible, ce qui veut dire tout à la fois une rentabilité améliorée et un volume de déchets réduit. Ce concept de l'utilisation prolongée des éléments de combustible, baptisé concept du taux de combustion élevé, occupe une place de choix dans le programme de recherche du Département "Énergie et sûreté nucléaires (NES)" du PSI. Ses chercheurs traitent de sujets relevant de la physique des réacteurs et du domaine des matériaux, avec le soutien des centrales nucléaires suisses et des fabricants d'éléments de combustible.

Des taux de combustion élevés mettent à rude épreuve la gaine des "crayons"

Pour obtenir un taux de combustion élevé, on augmente aujourd'hui la concentration d'uranium 235 (^{235}U) dans le combustible enrichi, qui passe de 0.7% dans l'uranium naturel à 4.5, voire à 5%, dans le combustible prêt à l'emploi. Ce nouveau combustible destiné à une utilisation prolongée rend nécessaire le recours à des techniques compliquées pour l'examen et la prédiction de ses caractéristiques opérationnelles.

Conséquence directe du taux de combustion élevé: plus la durée d'utilisation s'allonge, plus l'écart entre les prévisions des différents modèles numériques s'accroît.

La gaine tubulaire d'un "crayon" de combustible est un composant tout spéciale-



La gaine tubulaire d'un "crayon" de combustible est l'un des composants concernés en tout premier lieu par le taux de combustion élevé.

ment concerné par le taux de combustion élevé. Chaque élément de combustible compte de 100 à 250 de ces "crayons", qui sont soumis à des conditions d'exploitation extrêmes. L'irradiation neutronique, tout comme les paramètres physiques et chimiques à l'intérieur du réacteur, ont un impact sur la stabilité à long terme du matériau. C'est pourquoi les chercheurs du *Hotlabor* du PSI examinent la microstructure de "crayons" de combustible en provenance de centrales nucléaires et utilisent des modèles numériques pour l'interprétation des phénomènes de vieillissement qu'ils observent.

Les réponses de la physique des réacteurs

À l'aide de son réacteur expérimental PROTEUS, le Laboratoire de physique des réacteurs et du comportement des systèmes (LRS) du PSI étudie expérimentalement des éléments de combustible destinés aux réacteurs à eau légère, de manière à dispo-

Nouveau chef du NES

Succédant à Wolfgang Kröger le 1^{er} avril 2004, Jean-Marc Cave-don a pris ses fonctions comme nouveau chef du Département de recherche "Énergie et sûreté nucléaires (NES)" du PSI et également en tant que membre de la direction de cet Institut. Il a commencé sa carrière dans la recherche fondamentale en physique nucléaire, puis s'est occupé de technique des accélérateurs. En dernier lieu, il a travaillé à la division Énergie du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), à Paris, dont la gestion des déchets nucléaires et la recherche dans le domaine des matériaux étaient les principales activités.

ser des données de base nécessaires à la sûreté d'exploitation. À côté de l'analyse de différents combustibles, comme, par exemple, le MOX (*Mixed Oxide fuel*), tirés d'éléments de combustible, les chercheurs simulent le taux de combustion élevé de façon à accompagner par des dispositions sécuritaires la réalisation d'un taux de combustion élevé. Il s'agit notamment de préciser la géométrie du cœur sur la base de considérations de physique des réacteurs, de réduire la réactivité en cours de combustion et de modifier en conséquence la composition du combustible. Dans le réacteur expérimental PROTEUS, il est possible d'utiliser des "crayons" de combustible de longueur originale en provenance de la pratique et de les soumettre à des analyses.

Par ses tests relevant de la technique des matériaux, le Laboratoire d'étude du comportement des matériaux (LWV) soutient aussi bien les exploitants des centrales nucléaires que les fabricants dans le développement des "crayons" de combustible et des gaines tubulaires destinées à une utilisation prolongée dans les réacteurs. Suivant les caractéristiques qu'il s'agit de déterminer, les mesures concernent l'épaisseur de la couche d'oxyde à la surface du matériau constitutif de la gaine – un alliage à base de zirconium – la structure de cette couche, la concentration de l'hydrogène ou la distribution de ce dernier. Ces paramètres ont un impact sur la résistance mécanique des gaines et donc sur la fiabilité de fonctionnement du réacteur.

Au *Hotlabor*, on procède aussi à des tests de rupture pour étudier le comportement des matériaux actuels et futurs constituant les gaines, en fonction de leur irradiation, de la corrosion et de leur hydrogénation. On y fait en outre des recherches fondamentales, en particulier pour étudier l'effet de la constitution de l'alliage sur la formation de couches d'oxyde.

Plusieurs questions à propos du zirconium

Les alliages à base de zirconium constituant les gaines tubulaires des "crayons" de combustible sont caractérisés par une faible absorption neutronique et par une grande résistance mécanique et à la corrosion.

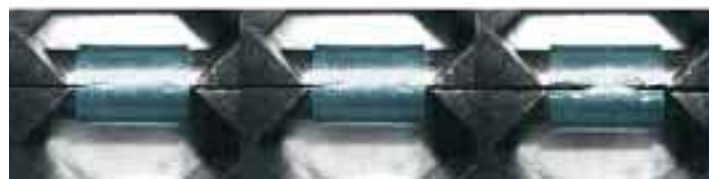
Comme pour l'aluminium, une fine couche compacte d'oxyde à la surface du métal protège le zirconium contre une nouvelle attaque. Cependant, on ne sait qu'en partie comment se déroule la protection contre la corrosion à l'interface oxyde/métal de la gaine. La couche d'oxyde affecte les propriétés mécaniques. Par l'intermédiaire de cette couche, le métal sous-jacent capte l'hydrogène, ce qui contribue à sa fragilisation. C'est pourquoi on a défini des valeurs limites pour la concentration en hydrogène et pour l'épaisseur de la couche d'oxyde. C'est le vieillissement des gaines (corrosion et caractéristiques de plus en plus défavorables) qui détermine le plus grand taux de combustion admissible.



Le *Hotlabor* du PSI (en haut) étudie les caractéristiques des matériaux des éléments de combustible. Essai d'éclatement d'une section de gaine (à droite).

ces derniers est de diminuer les tensions internes si l'on veut se prémunir contre les effets secondaires indésirables.

Les paramètres thermomécaniques de la fabrication des gaines sont donc en interaction avec les propriétés du matériau, avec le comportement des gaines et avec les caractéristiques du réacteur. L'objectif principal des recherches du LWV est l'étude de ces propriétés, la modélisation des nouveaux composants de ces alliages et la prévision de leur comportement. À titre d'exemple, relevons que des sections de gaine tubulaire irradiée sont employées pour réaliser des essais de rupture à l'aide d'appareillages hydrauliques destinés aux essais d'éclatement; ceux-ci ont lieu au *Hotlabor* tant à température ambiante qu'à 350°C. On s'intéresse à la déformation plastique à la périphérie et au comportement à la rupture.



À part leur composition chimique, la qualité des gaines est déterminée en grande partie par le travail mécanique et par les traitements thermiques subis au cours de la fabrication des tubes. La structure du réseau de zirconium métallique et le diagramme de phase – précisant l'effet de l'oxygène à différentes températures – expliquent les propriétés du matériau qui sont déterminantes pour son emploi dans les gaines. La structure du réseau cristallin change à 863 °C. Il faut en tenir compte lors du travail du matériau et lors des traitements thermiques subséquents. Le but de

Les techniques les plus modernes de "Beam line" sont employées pour l'étude du mécanisme de la corrosion. On examine, par exemple, la croissance cristalline de la couche d'oxyde à l'aide d'un microscope électronique à transmission, dont le pouvoir de résolution va jusqu'à l'échelle atomique. Ces différentes études permettent aussi au PSI d'acquérir les connaissances nécessaires pour pouvoir contribuer au développement des nouveaux réacteurs de la 4^e génération, au travers de la coopération internationale.

Modèles d'installations de production en *batch*

Une réduction de la consommation d'énergie est aussi possible dans la production des spécialités chimiques et pharmaceutiques

Patric S. Bieler

Institut des Sciences chimiques et biologiques de l'ingénieur
EPFZ Hönggerberg
CH-8093 Zurich

Martin Stettler

Responsable du domaine Technologie des procédés (VTP) à l'OFEN

Les matières premières utilisées par l'industrie chimique et pharmaceutique sont le plus souvent fabriquées par des procédés en continu. Les spécialités chimiques, par contre, et les produits finis sont souvent issus de procédés par lots de faible tonnage, utilisant des installations fonctionnant en *batch*.

Dans le passé, les coûts de l'énergie et les coûts de production des procédés en *batch*, comparés à la valeur marchande des produits fabriqués, n'incitaient pas à utiliser plus efficacement l'énergie. Aujourd'hui, la baisse des prix des spécialités, l'augmentation des coûts de production et, enfin, des lois plus rigoureuses protégeant l'environnement ont modifié la situation. Il devient de plus en plus impérieux de réduire la consommation d'énergie.

Avec le développement de deux modèles différents d'analyse et de calcul, il est possible désormais d'examiner de près les énergies mises en jeu dans ces procédés par lots. À partir de là, on fait appel à des techniques d'optimisation et à des modifications de la régulation des procédés, pour améliorer de manière notable le bilan énergétique.

Les réacteurs sont les récipients centraux d'une production en batch et donc une cible privilégiée des efforts d'économie d'énergie.



Un modèle *top down* linéaire se prête bien aux installations de production en *batch* dans les entreprises qui ne produisent qu'un produit ou dans celles dont la palette de produits fabriqués est stable. Les recherches sur des installations de production correspondantes ont montré, par exemple, que la consommation d'électricité pour l'infrastructure est importante (env. 50 %) et qu'il existe un lien entre le degré d'automatisation et la consommation spécifique d'énergie.

Parallèlement, pour les entreprises travaillant en *batch* à usages multiples, avec des changements réguliers dans les procédés de fabrication et dans la palette de produits, on a développé un modèle *bottom up*. Dans celui-ci, il est tenu compte des spécifications des réactifs et des installations, ainsi que de facteurs temporels et des données de consommation de base. À partir d'exemples et de chiffres concrets, on a pu identifier les consommateurs d'énergie les plus importants parmi les procédés examinés.

Les calculs, pour une source d'énergie donnée, ont fourni des renseignements détaillés sur chaque procédé. On a ainsi déterminé, par exemple, la consommation de vapeur sur un intervalle de temps pouvant atteindre un mois. On a constaté que les pertes de vapeur étaient élevées dans les réacteurs et dans les unités de séchage. En ce qui concerne la consommation d'électricité, on observe, d'une part, que les économies d'énergie possibles au niveau de l'infrastructure sont importantes, et que, d'autre part, il faudrait que les pompes à vide, les moteurs, etc. soient arrêtés lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

L'étude, effectuée avec le soutien de l'OFEN, a montré que les efforts visant à réduire la consommation d'énergie des procédés en *batch* à l'aide de ces modèles de calcul pouvaient être efficaces.

VTP

Le programme de recherche Technologie des procédés (VTP) de l'OFEN est à la base de l'optimisation énergétique de ces procédés dans les secteurs de la chimie, des denrées alimentaires, du papier et des métaux.

Rapport final:
Analysis and Modeling of the Energy Consumption of Chemical Batch Plants;
Patric S. Bieler, Institute for Chemical and Bioengineering, EPF Zurich, 2004
ENET n° 240033

CETE (Centrales à énergie totale équipées)

Installation et suivi d'un couplage chaleur-force (CCF) sur le site de l'ORT à Anières; Rapport final; Conti & Associés Ingénieurs SA; 02.2004; FR; 40 p.; P&D; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 240030

Biomasse (bois)

Dioxin- und PAK-Emissionen der privaten Abfallverbrennung; Umwelt-Materialien Nr. 172. Luft; Literaturstudie und Situationsanalyse; Nussbaumer Thomas; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL); 01.2004; DE; 88 S.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 240001

Biomasse (sans le bois)

Systemvergleich Trolley-, Diesel- und (Bio-)Gasbus; Studie für die Buslinie 4 in Winterthur; Ernst Basler + Partner AG; Winterthurer Verkehrsbetriebe; 12.2002; DE; 71 S.; P&D; Sfr. 35.00; ENET-Nr. 220361

Membranevaluation zur Vergärung von Gülle im Membranreaktor (UF-Membran); Schlussbericht; Viriden Karl, Ammann Thomas, Hartmann Peter, Huber Heinrich, Naef René, Hersener J.-L.; 11.2003; DE; 38 S.; F&E; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 230158

Électricité

Kaltgetränke- und gekühlte Warenautomaten; Merkblatt für Betreiber von Automaten; Huser Alois; Encontrol GmbH; 11.2003; DE; 2 S.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 230097

Druckluft Kompetenzzentrum; Machbarkeitsstudie; Schlussbericht; Eigen Stefan; Hochschule für Technik+Architektur Luzern; 12.2003; DE; 31 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230255

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen; Schlussbericht: Hauptteil; Schnyder G., Mauchle P., Höckel M., Lüchinger P., Fritz O., Häderli Ch., Jaggy E.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 56 S.; F&E; Sfr. 35.00; ENET-Nr. 230260

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Aktuelle und mögliche zukünftige Situation; Schlussbericht: Anhang 1; Schnyder G., Mauchle P.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 14 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230261

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Rahmenbedingungen; Schlussbericht: Anhang 2; Schnyder G., Mauchle P.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 13 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230262

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Grundlagen der dezentralen Energieerzeugungsanlagen; Schlussbericht: Anhang 3; Höckel M., Haldi Rudolf; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 58 S.; F&E; Sfr. 35.00; ENET-Nr. 230263

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Grundlagen der Speicher; Schlussbericht: Anhang 4; Lüchinger Philipp; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 11 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230264

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Simulationen im 400 V Niederspannungsnetz des ewz; Schlussbericht: Anhang 5; Höckel M., Lüchinger P.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 124 S.; F&E; Sfr. 63.00; ENET-Nr. 230265

Recherche énergétique en général

Konzept der Energieforschung des Bundes 2004–2007; Konzept; CORE; 01.2004; DE; 64 S.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 240007

Fondements de l'économie énergétique

Förderung von Energieeffizienz in Unternehmen; Förderinstrumente mit und ohne Bezug auf Umweltmanagementsysteme; Bericht; Beltrani Guido, Schelske Oliver, Peter Daniel, Oetli Bernhard; Ernst Basler und Partner AG / Infrac; 07.2003; DE; 142 S.; F&E; Sfr. 17.20; ENET-Nr. 230248

Géothermie

Wärmenutzung aus dem Rickentunnel; Mehrzweckhalle Kaltbrunn; Schlussbericht; Cotting René; Gemeinde Kaltbrunn; 12.2000; DE; 21 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 200402

Geothermische Karte Tessin; Wärme aus Boden und Wasser – Kanton Tessin; Schlussbericht; Thüring Manfred; Università della Svizzera Italiana; 12.2003; DE; 25 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230293

Photovoltaïque

Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen 2 (LZPV2); Schlussbericht, Hauptteil; Renken C., Häberlin H.; FH Burgdorf/Abt. Elektrotechnik; 09.2003; DE; 81 S.; F&E; Sfr. 46.00; ENET-Nr. 230256

Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen 2 (LZPV2); Schlussbericht, Anhang 1: Normierte Jahresstatistiken; Renken C., Häberlin H.; FH Burgdorf/Abt. Elektrotechnik; 09.2003; DE; 114 S.; F&E; Sfr. 63.00; ENET-Nr. 230257

Komfortberechnungsprogramm für Holz-Speicheröfen; Schlussbericht; Gaegauf Christian, Zumsteg Hanspeter, Huber Heinrich, Schütz Bendicht, Friedlin Rolf, Chiquet Claude; Oekozentrum Langenbruck; 02.2004; DE; 60 S.; F&E; Sfr. 35.00; ENET-Nr. 240029

Evaluation of Biomass Combustion based Energy Systems by Cumulative Energy Demand and Energy Yield Coefficient; Final report; Nussbaumer Thomas, Oser Michael; Ing. Büro Verenum; 01.2004; EN; 47 p.; F&E; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 240015

LUPO AG; Biogasverwertung mit BHKW; Schlussbericht; Büchler F., Gabriel M.; Lupo-Getränke AG; 02.2004; DE; 16 S.; P&D; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 240023

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Simulationen im 16 kV Mittelspannungsnetz des AEW; Schlussbericht: Anhang 6; Höckel M., Lüchinger P.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 47 S.; F&E; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 230266

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Erkenntnisse aus dem Projekt; Schlussbericht: Anhang 7; Schnyder G., Mauchle P.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 23 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230267

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Parallelschaltung von DEA; Schlussbericht: Anhang 8; Häderli C.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 31 S.; F&E; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 230268

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen: Literatur; Schlussbericht: Anhang 9; Gottsponer O., Mauchle P.; Schnyder Ingenieure AG; 12.2003; DE; 23 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230269

Aufbau Greenlight National Contact Point; Schlussbericht; Schneiter Paul, Nussbaumer Beat; S.A.F.E.; 12.2003; DE; 13 S.; P&D; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230286

Auswirkungen von periodischem Ein- und Ausschalten auf die Server-Hardware-Zuverlässigkeit; Schlussbericht; Held Marcel; EMPA; 12.2003; DE; 34 S.; F&E; Sfr. 20.00; ENET-Nr. 230287

Marktpotential von supraleitenden Strombegrenzern; Schlussbericht; Lakner M., Braun D., Schnyder G., Mauchle P.; ABB Consulting AG; 12.2003; DE; 76 S.; F&E; Sfr. 35.00; ENET-Nr. 230292

Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2004–2007; Plan directeur; CORE; 01.2004; FR; 68 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 240008

Windenergie und schweizerischer Wasserkraftpark; Bericht; Ott Walter, Baur Martin, Fritz Wolfgang, Zimmer Christian, Feldmann Jörg, Haubrich Hans-Jürgen, Dany Gundolf, Schmoller Hagen, Hartmann Thomas; Arbeitsgemeinschaft econcept AG, Zürich und Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW) RWTH, Aachen; 02.2004; DE; 217 S.; F&E; Sfr. 27.70; ENET-Nr. 240004

Wärmepumpen-Anlage Chestonag Automation AG, Seengen (AG); Schlussbericht; Eberhard Mark; Chestonag Automation AG; 02.2004; DE; 48 S.; P&D; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 240010

Automatisation et télétransmission des données pour les tests de réponse du terrain; Rapport final; Laloui Yessse, Steinmann Gilbert; EPFL DGC - LMS Lab. de mécan; 03.2004; FR; 50 p.; P&D; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 240025

Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen 2 (LZPV2); Schlussbericht, Anhang 2: Normierte Monatsstatistik; Renken C., Häberlin H.; FH Burgdorf/Abt. Elektrotechnik; 09.2003; DE; 192 S.; F&E; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 230258

Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen 2 (LZPV2); Schlussbericht, Anhang 3: Untersuchungen an PV-Anlagen; Renken C., Häberlin H., Rasmussen J.; FH Burgdorf/Abt. Elektrotechnik; 09.2003; DE; 24 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230259

Chaleur solaire

Construction et test d'un réfrigérateur solaire à adsorption transportable; Rapport final; Mayor Julien, Dind Philippe; EIVD Yverdon; 12.2002; FR; 26 p.; P&D; SFr. 18.00; ENET-Nr. 220362

Qualitätssicherungssystem für Solaranlagen; Methode zur permanenten Funktionskontrolle thermischer Solaranlagen; Schlussbericht; Grossenbacher Urs; Synetrum AG; 12.2003; DE; 70 S.; P&D; SFr. 35.00; ENET-Nr. 230273

Coatings for Colored Glazed Thermal Solar Collectors and Solar Active Glass Facades; Article; Schüler Andreas M., Roecker Christian, Boudaden Jamila, Oelhafen Peter, Scartezzini Jean-Louis; EPFL - LESO-PB; 12.2003; EN; 6 p.; F&E; SFr. 15.00; ENET-Nr. 230275

Towards coloured glazed thermal solar collectors; Article; Boudaden J., Ho S-C., Oelhafen P., Schüler A., Roecker C., Scartezzini J.-L.; EPFL - LESO-PB; 12.2003; EN; 8 p.; F&E; SFr. 15.00; ENET-Nr. 230276

Optimisation de la gestion d'installations de chauffage; Rapport final à l'attention des Services Industriels de la Ville de Lausanne; Prud'homme T., Gillet D.; EPFL/DGM/IA Institut d'automation; 06.2003; FR; 31 p.; F&E; SFr. 15.00; ENET-Nr. 230277

Colored Solar Collectors; Capteurs solaires en couleur; Final Report Phase I; Schüler Andreas M., Roecker Christian, Scartezzini Jean-Louis; EPFL - LESO-PB; 12.2003; EN; 3 p.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230280

SoDa; IST-1999-12245; Integration and exploitation of networked Solar radiation; Databases for environment monitoring; Final report; Wald Lucien; Meteotest; 05.2003; EN; 39 p.; P&D; SFr. 20.00; ENET-Nr. 230281

Nanostructure Materials for Solar Energy Conversion; Article; Oelhafen P., Schüler A.; EPFL - LESO-PB; 12.2003; EN; 12 p.; F&E; SFr. 15.00; ENET-Nr. 230285

Programme „Solaire actif – Chaleur et Stockage de chaleur“, Activités et projets en 2003; Programm „Solar aktiv – Wärme und Speicherung der Wärme“ Aktivitäten und Projekte im 2003; Berichte, Rapports; Hadorn Jean-Christophe, Renaud Pierre, et al.; 12.2003; DE, FR; 216 S., 216 p.; F&E; SFr. 100.00; ENET-Nr. 230289

Transfert de technologie / systèmes

ENET-NEWS, März 2004, Nr. 57 deutsch; 03.2004; DE; 40 S.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 240011

ENET-NEWS, Mars 2004, No 57 français; 03.2004; FR; 40 p.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 240012

Stockage thermique

Analytical characterisation of amplitude dampening and phase shifting in air/soil heat-exchangers; Report; Hollmüller Pierre; Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie CUEPE; 11.2003; EN; 35 p.; P&D; SFr. 20.00; ENET-Nr. 230274

Optimisation par simulation calée de l'installation de stockage Wollerau; Rapport final; Pahud Daniel; Laboratorio di energia, ecologia ed economia LEEE; 12.2003; FR; 47 p.; F&E; SFr. 25.00; ENET-Nr. 230282

Optimisation par simulation calée de l'installation de stockage Wollerau; Annexe 1: Modèle de simulation pour l'installation de Wollerau; Rapport final: Annexe 1; Pahud Daniel; LEEE; 12.2003; FR; 34 p.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230283

Solare Wärmeversorgung mit saisonalem Speicher für die Wohnsiedlung Heumatt, Zürich-Seebach; Schlussbericht und Anhänge; Hartmann Peter, Jüzi Heinz; Zürcher Hochschule Winterthur; 12.2003; DE; 155 S.; P&D; SFr. 30.00; ENET-Nr. 230284

COSTEAU; Préchauffage et rafraîchissement par collecteurs souterrains à eau; Etude de cas (bâtiment Perret à Satigny, GE) et généralisation; Rapports de recherche du CUEPE; Hollmüller Pierre, Lachal Bernard; CUEPE; 12.2003; FR; 93 p.; P&D; SFr. 40.00; ENET-Nr. 230288

Chaleur ambiante

Wärmepumpen: Wo sind die Grossen?; Tagungsband; Rognon Fabrice (Hrsg.); 06.2002; DE, FR; 84 S., 84 p.; F&E; SFr. 46.00; ENET-Nr. 220358

Wärmepumpen – noch effizienter und leiser; Tagungsband; Kopp Thomas (Hrsg.); 06.2003; DE; 102 S.; F&E; SFr. 50.00; ENET-Nr. 230249

Force hydraulique

Kleinwasserkraftwerk Hegi / Grüntal in Aadorf (TG); Vorprojekt-Bericht; Schlussbericht; Schmid Roland, Bonato Fernando; Solargenossenschaft Aadorf; 04.2003; DE; 25 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230205

Vorstudie Kleinwasserkraftwerk J. Dürsteler & Co AG Wetzikon ZH; Revitalisierungsvorhaben des Kraftwerkes mit seinen 80-jährigen Francis-Doppelturbinen; Bericht; Stiftung Revita; 03.2004; DE; 15 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 240024

PrixEnergie Suisse

Participer, se profiler

Le meilleur bâtiment, les meilleures installations, les meilleurs talents.

Le PrixEnergie Suisse veut récompenser des projets, des personnes et des institutions qui innovent en terme d'utilisation rationnelle d'énergie, d'efficacité énergétique et d'application exemplaire dans le domaine des sources d'énergie renouvelables.

Le concours s'adresse à toute personne intéressée, aux groupes, aux organisations, aux institutions, aux écoles ou aux entreprises suisses.

Délai pour le dépôt des candidatures:
2 août 2004.

Les formulaires de candidature ainsi que les documents utiles sont disponibles sur le site

www.prixenergie.ch et à l'adresse suivante :
Office fédéral de l'énergie, PrixEnergie Suisse, Mireille Fleury, CH-3003 Berne, tél: 031 322 56 64, fax: 031 323 25 10, mireille.fleury@bfe.admin.ch.

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

