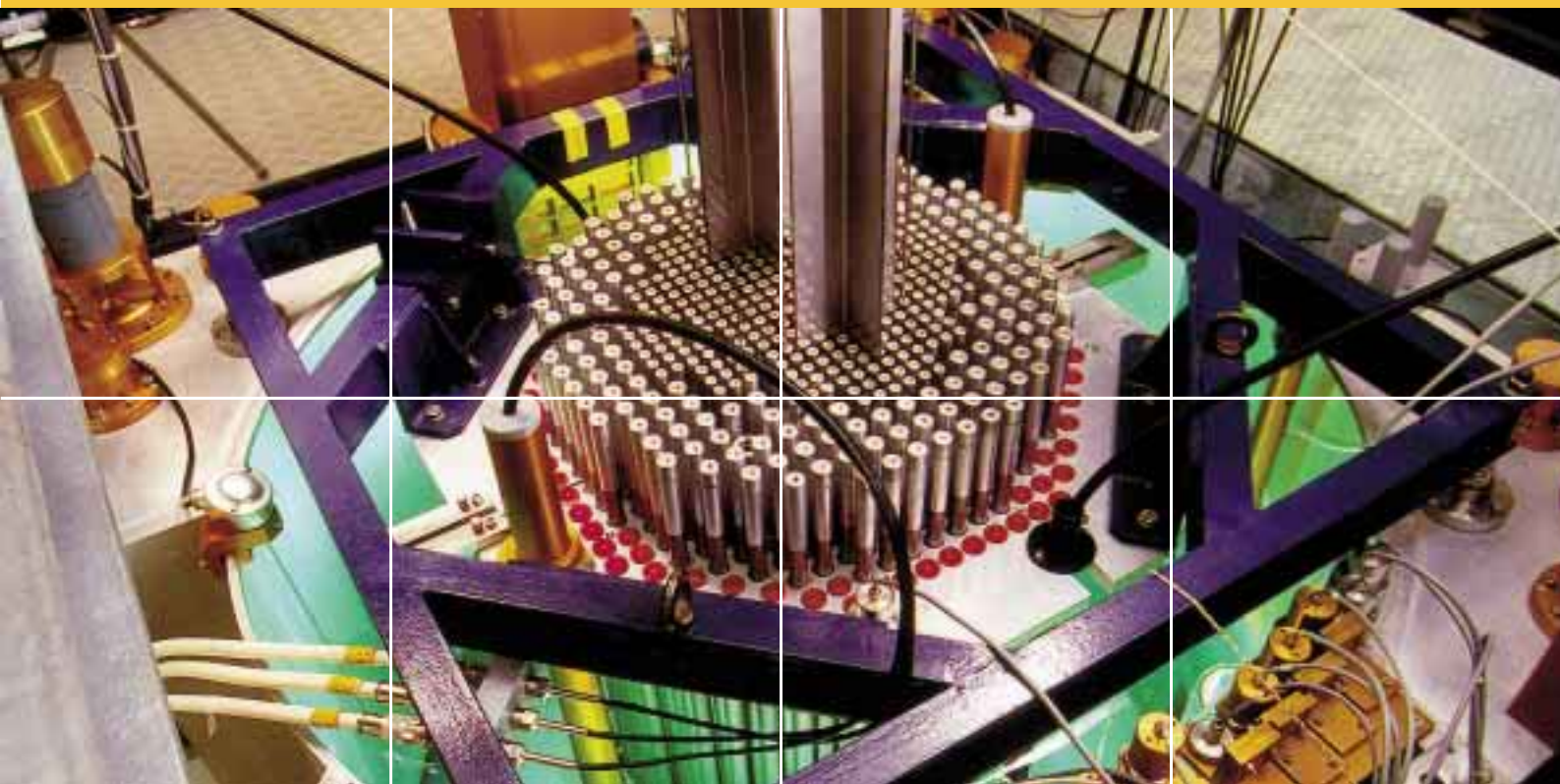


Novembre 2003

ENET NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique



OFEN
L'horizon temporel remis en question

Énergie nucléaire
La sécurité : une obligation !

Transports
Ne pas perdre le but de vue

www.energieforschung.ch

 **suisse énergie**

OFEN

L'horizon temporel remis en question.....4

Énergie

La diversification est urgente.....5

Les glaces de l'Antarctique confirment
l'origine des changements climatiques6**CORE**

À la recherche de solutions pragmatiques ..7

Les technologies qui innovent
sont intéressantes pour les PME8**Photovoltaïque**

Des embarcations solaires9

ENET

Radicale ou progressive.....10

Fondements de l'économie énergétique

L'efficacité énergétique du rail.....11

Technologies solaires

Summer School – Solar Energy 2003.....12

**Biomasse**

La mobilité issue des plantes14

Du méthane tiré de la biomasse aqueuse..15

Petits aménagement hydroélectriques

La première vis hydraulique est montée....16

SEARCH LHT16

GéothermieCampagnes de mesures sur des pieux
énergétiques.....17**Énergie éolienne**

C'est plus dur en montagne.....18

Recherches sur les conditions de froid18

Chaleur ambiante

Exploitation de l'inertie du système20

Points forts de la recherche20

Le nouveau Centre d'essai des PAC22

**Énergie nucléaire**

La sécurité : une obligation !.....23

La DSN, division principale de l'OFEN24

Recherche : NES 200525

L'AGNEB, le Groupe de travail de la Confé-
dération pour la gestion des déchets.....26

CENS : La sécurité nucléaire en

Europe de l'Est.....27

Historique de la surveillance des
installations nucléaires28

Physique des réacteurs et sécurité29

Comprendre la gestion des déchets30

La fusion arrive31

Électricité

L'efficacité d'abord !33

Bâtiment

Libre accès34

Situation paradisiaque à Wil.....34

La campagne pour le bâtiment
commence bientôt.....35**Transports**

Ne pas perdre le but de vue36

MODULTEC mis en pratique.....36

Le *prix pegasus* attribué à un projet alpin..37**Piles à combustible**

Rendez-vous à Lucerne38

PAC-Car utilise PowerPac38

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

ENET-NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique

Novembre 2003 / N° 56

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

Éditeur

Office fédéral de l'énergie OFEN

Worblentalstrasse 32

CH-3063 Ittigen

Adresse postale

OFEN

CH-3003 Berne

Rédaction

ENET Communication

Jürg Wellstein

Parkstrasse 15

CH-4106 Therwil

Tél. +41 61 726 92 18

Téléfax +41 61 726 92 11

enet.kommunikation@bro.ch

Traduction française

Jean-Marc Suter

Suter Consulting

Postfach 130

CH-3000 Bern 16

Reproduction autorisée seulement avec
l'indication de la source.Papier : papier recyclé Cyclus Print, mat,
couché deux faces.

Imprimé en Suisse.

Photo de couverture

Le Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes (LRS) de l'EPFL de Lausanne exploite trois installations nucléaires. Le réacteur de recherche CROCUS sert principalement à la formation des étudiants en physique de l'EPFL et de l'EPFZ et des participants aux cours de l'École des réacteurs du PSI. Il est aussi à la disposition des étudiants de l'École d'ingénieurs de Genève.

<http://lrs.epfl.ch/crocus.html>

Le temps est venu pour plus de créativité

L'entrée en ce XXI^e siècle marque l'avènement d'une société dans laquelle la connaissance s'affirme comme le facteur clé pour le bien-être et la compétitivité des nations. La production, l'utilisation ou la dissémination des savoirs ne peut avoir lieu que grâce à un approvisionnement énergétique suffisant, durable et écologique, qui assure l'autonomie du pays : l'or gris a besoin de l'or blanc.

Inversement, l'or blanc a besoin de l'or gris : la garantie de cet approvisionnement, le renouvellement des sources d'énergie, l'utilisation rationnelle de l'énergie se nourrissent des découvertes scientifiques et des développements technologiques les plus récents. Les efforts des politiques énergétique et scientifique vont donc main dans la main.

La recherche et le développement en énergie bénéficient non seulement des compétences des Hautes Écoles, particulièrement des Écoles polytechniques fédérales et de l'Institut Paul Scherrer, du savoir-faire d'ingénieurs et de spécialistes bien formés et motivés, mais aussi du soutien public à la recherche par le biais du Fonds national suisse de la recherche scientifique, de la Commission pour la technologie et l'innovation et de l'Office fédéral de l'énergie.

Les contraintes budgétaires imposent, là aussi, des choix qui s'orientent selon le principe de subsidiarité : la Confédération investit là où ni l'économie ni les milieux académiques ne peuvent déployer leur action,

notamment en raison de l'horizon temporel trop long, ou d'investissements initiaux trop importants et trop risqués.

La fusion nucléaire, qui propose une alternative raisonnable aux sources d'énergie actuelles, est une voie dans laquelle nous plaçons nos espoirs et nos investissements. Effort trop important même pour les États, elle ne peut être explorée que par une collaboration internationale intense, dans le cadre d'Euratom, ou par des projets d'envergure mondiale, comme ITER.

Outre ces infrastructures lourdes, les équipements légers et l'utilisation des sources d'énergie renouvelables bénéficient aussi des progrès de la science et de la technologie et méritent un soutien.

Déjà, l'attitude et la consommation de la société d'aujourd'hui conduisent à des modifications insidieuses et lentes de l'écosystème global. Il est temps de focaliser les forces et de "faire bouillonner" la créativité pour léguer un monde viable à nos enfants et petits-enfants.

Charles Kleiber

Secrétaire d'État à la science et à la recherche

L'horizon temporel remis en question

La stratégie à long terme de la recherche énergétique ouvre la voie à une utilisation plus durable de l'énergie

Marco Berg

Factor Consulting +
Management SA
CH-8045 Zurich

Gerhard Schriber

Chef de la section
Développement
des programmes
et Controlling
de l'OFEN
CH-3003 Berne

Le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, élaboré par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), constitue le fil conducteur de la recherche énergétique qu'entend mener la Confédération. Reformulé tous les quatre ans, ce Plan directeur fixe aussi bien l'orientation stratégique que les priorités à respecter dans les divers secteurs de la recherche. L'aggravation de nombreux aspects de la production et de la consommation d'énergie, d'une part, et les problèmes structurels liés aux possibilités de financement, d'autre part, rendent de plus en plus importante la nécessité de formuler les questions avec clairvoyance et de prendre en conséquence des décisions efficaces à long terme. La *7^e Conférence suisse sur la recherche énergétique* va se pencher sur ce thème les 11 et 12 novembre 2003 et élaborer des réponses aux quatre questions abordées dans les paragraphes qui suivent.

Mesures propres à assurer la durabilité

De quelle recherche énergétique avons-nous besoin pour parvenir à la durabilité ? En 2050, il faudrait atteindre un besoin en énergie primaire de seulement 2 kW par personne (contre 6 kW aujourd'hui), ce qui correspond à la vision de la "Société à 2000

watts". La recherche énergétique ne peut toutefois s'orienter vers cet objectif de manière satisfaisante que si les voies du développement technologique sont tracées. Ce n'est qu'alors que les fonds publics pourront être employés de manière plus ciblée. Pour atteindre ce niveau de durabilité, il faudra se concentrer sur des secteurs qui peuvent apporter une contribution décisive, tant au niveau national que global, ainsi qu'un avantage économique à la Suisse.

Conditions nécessaires à la mise en œuvre

Comment créer des conditions cadres favorables à l'application judicieuse des résultats de la recherche énergétique ? Cette question porte sur les conditions requises, tant économiques et sociales que politiques. Aujourd'hui, par exemple, on accorde souvent trop peu d'attention aux mesures politiques à prendre pour améliorer les chances des technologies durables sur le marché. La pondération judicieuse des fonds publics investis dans la recherche, d'une part, et dans les projets de mise en œuvre de ses résultats, d'autre part, est donc déterminante ; leur utilisation doit être la plus efficace possible. Pour qu'on recoure plus souvent aux technologies durables, il faudrait tout à la fois des arguments économiques convaincants et d'autres frappants pour susciter un changement d'attitude dans la population. Il serait par conséquent nécessaire d'intensifier les efforts au niveau de l'information, de la communication et de la formation afin d'accélérer et de généraliser ce processus d'apprentissage.

Une recherche encore plus efficace

Comment rendre la recherche énergétique encore plus efficace ? L'OFEN participe directement ou

À côté de la dimension technologique, la durabilité comporte aussi des aspects sociaux qu'il ne faut pas oublier de prendre en compte dans les considérations globales à l'échelle du monde.

Liens Internet

Office fédéral de l'énergie (OFEN)
www.suisse-energie.ch

Plans directeurs, élaborés par la CORE
www.suisse-energie.ch
(→ Recherche → Stratégie)

Factor Consulting + Management SA
www.factorag.ch (→ Projekte)



indirectement à environ 90 % des projets de recherche énergétique financés par les pouvoirs publics. Sa fonction de coordination est donc évidente. De nombreux instituts des Hautes Écoles universitaires, des Hautes Écoles spécialisées, des centres de recherche du secteur privé et des bureaux d'architecture et d'ingénieurs sont les acteurs de cette recherche. Il est clair qu'il faudrait concentrer les capacités et les compétences afin de ne pas disperser les sujets et les moyens de la recherche. Jusqu'à quel point est-il urgent de faire des efforts supplémentaires en matière d'interconnexion, de stratégies et d'études à long terme, ainsi que de suivi intensif des processus de développement pour que la recherche énergétique puisse être appliquée avec succès ? Une répartition mieux définie des tâches entre la recherche publique et celle de l'économie privée pourrait aussi engendrer une plus grande efficacité.

Recherche au niveau national et international

Faut-il focaliser la recherche énergétique au niveau national ou au niveau international ? Il est tout à fait évident que la plupart des pays industrialisés désirent emprunter une voie énergétique plus durable, et nombreux sont ceux en voie de développement ou d'industrialisation qui luttent déjà aujourd'hui sur le front écologique. La problématique de l'énergie est devenue le parfait exemple d'un thème global. On est cependant en droit de se demander s'il n'existe pas un décalage entre les moyens dépensés en Suisse et le bénéfice global de la recherche ainsi financée. Car nous essayons d'accroître la durabilité dans notre pays, tout en renforçant nos possibilités d'exportation. Ici aussi, la recherche énergétique devra donc tenir compte – dans un rapport approprié – des effets au niveau national et des possibilités au niveau international.

On attend de la Conférence sur la recherche énergétique des éléments de concrétisation de la démarche à suivre, qui seront intégrés au *Plan directeur de la recherche énergétique* élaboré par la CORE et mis en œuvre par les chefs de programme des domaines de recherche.

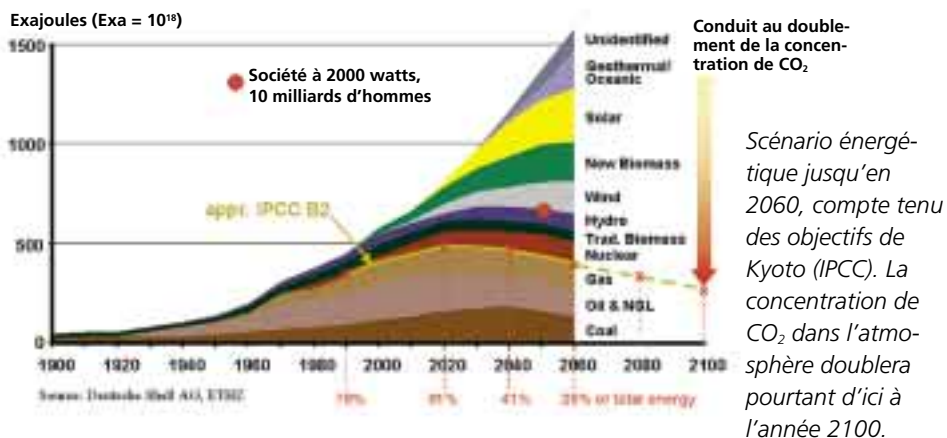
La diversification est urgente

La consommation croissante d'énergie accentue les tensions sociales et pèse sur l'économie

Compte tenu de l'accroissement de la population mondiale et du produit national brut de chaque pays, les besoins en énergie vont également continuer à progresser, probablement d'environ 1,5 % par an. Il est généralement admis que les agents énergétiques fossiles resteront la principale source d'énergie pendant plusieurs décennies encore, même si les sources d'énergie renouvelables gagnent lentement du terrain. L'énergie reste le moteur de l'économie mondiale et la politique internationale y est étroitement liée. Les changements climatiques qui commencent à se manifester,

sante pour abaisser la consommation d'énergie, éliminer les obstacles à l'introduction des sources d'énergie renouvelables et réduire ainsi la dépendance vis-à-vis du pétrole.

Le scénario possible – mais à vrai dire assez optimiste – d'ici à l'année 2060, montre, en tireté, la baisse de consommation du pétrole, du gaz naturel et du charbon, telle qu'elle est souhaitée d'ici à 2100 par l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Si cette évolution se réalisait, nous devrions quand même nous attendre à



ainsi que les tensions sociales naissantes éveillent cependant des craintes. Nous devrions donc – plus rapidement que prévu – changer le cours des choses et réduire en conséquence la consommation d'énergie primaire. Mais le voulons-nous vraiment ? Et que nous réservera l'avenir si nous refusons le changement et continuons sur notre lancée ?

La teneur en CO₂ de l'atmosphère témoigne du problème de fond

Les agents énergétiques fossiles ne sont disponibles qu'en quantités limitées, même s'il y en a encore pour des décennies. Mais la pénurie due à des taux d'extraction en baisse devrait provoquer une augmentation massive des prix. Voilà une raison suffi-

ce que la concentration de gaz carbonique (CO₂) dans l'atmosphère soit finalement deux fois plus élevée (550 ppm) qu'à l'époque préindustrielle. Ce doublement peut être considéré comme l'option supportable maximale, dans le sens d'une élévation de température certainement problématique à long terme, mais non pas catastrophique.

Des alternatives en vue pour les transports

Le gaz naturel prend de l'importance dans le domaine des transports, car sa combustion génère moins de polluants et de CO₂ que celle de l'essence ou du diesel. Mais le gaz naturel représente aussi un point de départ intéressant pour le procédé de Fischer-

Tropsch, qui permet de produire des carburants de synthèse. Ce procédé est déjà exploité par certaines compagnies en Indonésie (Shell) et aux USA (ExxonMobil), et est présenté comme une nouveauté par ces entreprises.

Il est en revanche possible d'obtenir du biogaz de deux manières différentes, soit par la fermentation de biomasse, soit par la gazéification du bois. Mais ces technologies ne peuvent être employées que de manière décentralisée et avec des installations d'une puissance de quelques mégawatts au plus. Les potentialités existantes sont connues. En Suisse, le gaz de compost montre la voie à suivre.

La production décentralisée convient aussi à la fabrication d'hydrogène, qu'il serait souhaitable de ne produire qu'avec des sources d'énergie renouvelables. Aujourd'hui, l'hydrogène représente une option à long terme, car les conditions cadres économiques sont défavorables à brève échéance.

Des exigences résultant de considérations globales

Les carburants liquides devraient à l'avenir être réservés aux transports et bannis comme combustibles pour le chauffage. Il faut pour cela promouvoir d'autres techniques, telles que l'isolation de l'enveloppe des bâtiments, les pompes à chaleur combinées avec des installations de couplage chaleur-force, etc.

On peut enfin conclure que les pays industrialisés doivent radicalement réduire leur consommation d'énergie et aspirer, à long terme, à une réelle diversification, chacun selon ses propres conditions. Il est évident que les sources d'énergie renouvelables (biomasse, vent, chaleur solaire, etc.) doivent jouer ici un rôle essentiel.

Meinrad K. Eberle

Konstantinos Boulouchos

Laboratoire des moteurs à combustion interne et des techniques de combustion (LVV)

ETH-Zentrum

CH-8092 Zurich

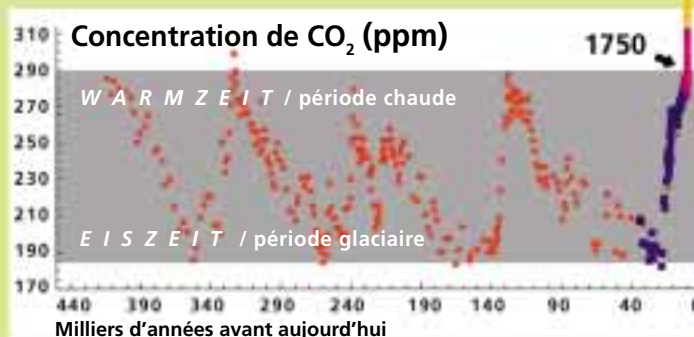
Les glaces de l'Antarctique confirment l'origine des changements climatiques

La tendance au réchauffement global se confirme, comme l'ont aussi montré le printemps et l'été 2003. De son côté, le professeur Thomas Stocker, de l'Institut de Physique du climat et de l'environnement de l'Université de Berne, a présenté des études, portant sur de longues périodes, qui confirment la corrélation entre le réchauffement climatique et l'augmentation de la concentration du gaz carbonique (CO₂) dans l'atmosphère. C'était à l'occasion d'une réunion d'information sur la géothermie, organisée en juin 2003 par les Forces motrices de Bâle-Campagne (EBL).

Les archives climatiques offrent un regard sur le passé

Les anneaux des arbres sont des archives climatiques, connues depuis fort longtemps, qui permettent d'avoir une vue d'ensemble de l'évolution des températures au cours du dernier millénaire. On y reconnaît clairement le réchauffement qui a débuté vers le milieu du dix-neuvième siècle.

Mais, depuis une quarantaine d'années, les couches de glace du Groenland et de l'Antarctique sont également utilisées comme archives climatiques. Au Groenland, la glace présente à 3 km de profondeur est vieille d'environ 100'000 ans, tandis qu'en Antarctique, elle a approximativement un million d'années à la même profondeur.



Reconstruction de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère au cours des 420'000 dernières années, sur la base de mesures effectuées sur des carottes de glace. Les variations naturelles indiquent quatre cycles de glaciation.

(Université de Berne)

Grâce à des instruments de mesure extrêmement précis, il est possible de déterminer la composition de l'air contenu dans les bulles les plus petites et d'y identifier les principaux gaz à effet de serre (dioxyde de carbone CO₂, méthane CH₄ et protoxyde d'azote N₂O). Il s'est avéré que la concentration de CO₂ est, aujourd'hui, de 30 % supérieure à ce qu'elle était au cours des 420'000 dernières années, et qu'il y a une corrélation manifeste entre cette augmentation et la montée de la température.

Les calculs laissent présager des événements extrêmes

Il est dorénavant possible de calculer le réchauffement probable à l'aide de modèles climatiques. D'ici à 2100, la température devrait augmenter de 2,5 °C si les émissions sont modérées, mais cette augmentation pourrait atteindre 5,8 °C si les agents énergétiques

fossiles continuent à être utilisés sans modération. Le niveau de l'eau commence à monter sur les côtes océaniques et l'on constate déjà des changements évidents dans les régions continentales : les saisons se décalent, la limite du permafrost recule vers le Nord et les versants des montagnes deviennent moins résistants. Le retrait des glaciers tout comme la fonte des champs de neige de leur zone d'alimentation à 4'000 m d'altitude sont manifestes. Le réchauffement climatique engendre également des phénomènes météorologiques extraordinaires. La courbe de la probabilité de ces événements subit une métamorphose évidente : la valeur moyenne se déplace vers le haut et la variance augmente. Une stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est donc nécessaire, ce qui ne peut être atteint que par une réduction considérable des émissions de CO₂.

À la recherche de solutions pragmatiques

Dans la recherche aussi, l'énergie nucléaire est un élément important, en association avec d'autres technologies

L'énergie nucléaire est partie intégrante du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, élaboré par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE). Membre de cette commission, Kurt Rohrbach, président de la Direction générale de la société BKW FMB Energie SA, à Berne, a la charge de la partie du programme de recherche "Énergie nucléaire" relative à la fission ; antérieurement, il s'occupait aussi de la fusion nucléaire. Dans l'interview qui suit, il parle du rôle de l'énergie nucléaire et des expériences faites par les FMB dans le domaine des sources d'énergie renouvelables.

Selon le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2004-2007*, élaboré par la CORE, le développement durable doit être un objectif primordial aussi bien au niveau de la recherche que de l'utilisation de l'énergie. Comment jugez-vous la situation actuelle ?

Kurt Rohrbach : À l'avenir, nous aurons besoin d'une utilisation plus durable de l'énergie, d'où l'importance de cette orien-

"L'intégration de la recherche nucléaire dans un contexte international crée également des synergies."

tation stratégique dans la recherche. Nous sommes plus proches d'un développement durable dans l'approvisionnement en électricité que, par exemple, dans les transports. Il est bien connu que les énergies hydraulique et nucléaire ne produisent pas de CO₂. Mais lorsqu'on s'occupe d'approvisionnement durable en énergie, il faut aussi prendre en compte d'autres aspects, notamment la réduction de la dépendance exclusive envers des sources d'énergie particulières.

D'après vous, à part le développement durable, quelles autres visions des membres de la CORE ont-elles été à la base du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* ?

La recherche énergétique doit contribuer, par exemple, à une diversification de l'ap-

dérable de nos besoins en énergie. Les améliorations constamment apportées aux installations et à la sécurité de l'exploitation n'ont été possibles que grâce aux recherches intensives effectuées dans le monde entier. Dans ce sens, la part du budget qui lui est réservée est certainement justifiée. Toutefois, il ne faut pas oublier que ce

Kurt Rohrbach : "La durabilité est une orientation stratégique importante pour la recherche énergétique."



provisionnement en énergie, ainsi qu'à une utilisation plus sûre et fiable des technologies développées. Ce faisant, la mise en œuvre de réalisations suisses revêt une importance particulière et bénéficie d'une promotion spéciale qui devrait créer une incitation économique en leur faveur. Mais c'est un fait que les progrès que nous avons enregistrés jusqu'ici ont souvent été réalisés à l'aide de technologies lourdes ; donc celles-ci ne doivent pas être exclues.

Aujourd'hui, le budget de l'ensemble des projets de recherche nucléaire équivaut presque à celui attribué aux recherches consacrées aux sources d'énergie renouvelables ou à celui dévolu à une utilisation plus rationnelle de l'énergie. Est-ce justifié ?

L'énergie nucléaire est une technologie importante, car elle couvre une partie consi-

budget a quand même été constamment réduit et que cette tendance à la baisse se poursuivra. Évidemment, nous contrôlons régulièrement comment les activités de recherche sont intégrées aux programmes internationaux et si des résultats obtenus à l'étranger pourraient être utilisés pour apporter une réponse à des questions se posant en Suisse. La recherche nucléaire est un modèle de coopération internationale. Car il s'agit d'éviter des doublons dans la recherche, ce qui est une évidence dans le domaine de l'énergie nucléaire, mais pas dans d'autres domaines.

Quelle est votre appréciation de l'importance de la recherche nucléaire en Suisse ?

Sur la base de ma fonction d'observateur des programmes de recherche, je constate que le tableau d'ensemble est positif. En ce

qui concerne la fission, ce sont la sécurité, la gestion des déchets et le perfectionnement des réacteurs actuels qui occupent le premier plan. Pour ce qui est de la fusion, nous sommes en présence de travaux visionnaires appliqués à une technologie très prometteuse. Les instituts suisses travaillent avec succès dans ces deux domaines.

Nous connaissons la situation actuelle du “panier” énergétique de l’approvisionnement en électricité. Qu’en sera-t-il dans 50 ans ?

Dans le domaine de l’énergie, puisque la planification, l’exploitation et l’amortissement durent longtemps, nous devons, aujourd’hui déjà, avoir une idée des techniques qui seront utilisées à cette date. Sous

cet éclairage, l’énergie hydraulique jouera un rôle central aussi en 2053, tandis que nous ne pourrons pas renoncer entre temps à une nouvelle génération de réacteurs

“L’année 2053 est tout à la fois proche et lointaine.”

nucléaires. À cela s’ajoutera une quote-part plus importante des sources d’énergie renouvelables. Dans l’ensemble, je considère que les efforts réalisés pour obtenir une utilisation plus rationnelle de l’électricité constituent une mesure importante afin de contrôler la consommation et d’offrir des solutions intelligentes à la clientèle. 50 ans – donc 2053 – c’est tout à la fois proche et lointain.

Est-ce que la fusion nucléaire deviendra – à temps – une alternative valable à la fission ?

Difficilement à grande échelle. La fusion étant une technologie lourde, il faudra du temps avant d’obtenir des résultats concrets. Toutefois, elle présente des potentialités immenses et il serait faux de n’effectuer ni recherches ni développements dans ce secteur. Au cas où nous assisterions à une percée spectaculaire en matière de fusion, nous serions naturellement heureux *a posteriori* d’y avoir apporté une contribution importante. Il est d’ailleurs difficile de faire des prévisions sans anticiper les effets que pourrait avoir, par exemple, une taxe élevée sur le CO₂.

Les technologies qui innovent sont intéressantes pour les PME

C’est depuis décembre 2002 que Nicolas Wavre, directeur de l’entreprise ETEL SA à Môtiers, est aussi membre de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE).

Qu’attendez-vous du travail de la CORE ?

Nicolas Wavre: À ce jour, je n’ai participé qu’à deux séances et je manque encore de recul. Cependant je suis impressionné par la complexité des thèmes abordés et par l’effort à fournir pour avoir une vue d’ensemble. Le thème de l’énergie est très vaste et pour moi, la CORE doit se concentrer sur les problèmes d’exploitation des énergies actuelles et sur les énergies futures en les plaçant toujours en perspective avec le tissu économique suisse. Nous devons optimiser l’utilisation de l’énergie en Suisse avec un objectif de réduction de la consommation et des nuisances, mais sans jamais perdre de vue la réalité économique du pays. Je reconnais qu’il est extrêmement difficile de suivre tous les dossiers d’où la nécessité d’avoir des membres complémentaires. Compte tenu de ma formation d’ingénieur électricien et de mon activité professionnelle dans les

moteurs électriques, je serai particulièrement intéressé par les thèmes liés à l’amélioration du rendement énergétique des entraînements réglés, thèmes qui seront abordés à la CORE au cours des deux prochaines années.

Quelle est votre impression au sujet des activités de recherches sur la fusion ?

Avant de rejoindre la CORE, j’avais l’impression que le futur de la fusion restait aléatoire et avec des échéances trop lointaines pour pouvoir se présenter comme une alternative sérieuse au pétrole. Je me suis rendu compte que la recherche effectuée ces trente dernières années avait fait des progrès remarquables et qu’il devenait possible d’imaginer l’utilisation de la fusion nucléaire comme alternative au pétrole pour la production de chaleur et d’électricité d’ici 50 ans. La recherche a fait un énorme travail de fond pour comprendre les problèmes et pour les poser en termes techniques et technologiques très clairs. On sait maintenant dans quels domaines des progrès doivent être acquis, en particulier dans les matériaux et dans la supraconductivité. Or ces deux domaines sont en ligne avec l’intérêt et le savoir-faire historique de la Suisse. La recherche dans la phy-

sique des plasmas a déjà conduit à de nombreuses applications industrielles non liées à la production d’énergie, comme les CD et DVD, par exemple. Si l’on peut imaginer que seules de très grandes sociétés pourront construire les futures centrales, toutes les



Nicolas Wavre: Je suis impressionné par la complexité des thèmes.

technologies connexes nécessaires pourront intéresser de plus petites entreprises spécialisées et pointues dont la Suisse est bien pourvue. D’où l’intérêt à long terme de la Suisse à poursuivre ses efforts dans la fusion pour que l’industrie soit impliquée assez tôt dans le développement des technologies connexes pour obtenir un avantage technologique et une position forte sur un marché mondial. De plus, nous avons en Suisse la chance d’avoir

BKW FMB Energie SA a été un pionnier du photovoltaïque et de l'énergie éolienne. Qu'elles étaient vos arguments de l'époque et comment jugez-vous la situation actuelle ?

Avec le recul d'une bonne dizaine d'années, nous constatons que nos idées de départ, à savoir la promotion pragmatique de technologies nouvelles et leur application à grande échelle, étaient porteuses. Dans l'intervalle, nous avons apporté le photovoltaïque depuis le Mont-Soleil jusqu'au lac de Bienne (sur le catamaran MobiCat) et bientôt aussi sur le toit du nouveau stade du Wankdorf à Berne, où une "commercialisation" aura lieu pour la première fois. En ce qui concerne l'énergie éolienne, nous prévoyons d'étendre les installations de Juvent SA. La vente de ce type d'énergie a

toujours permis de couvrir nos coûts. Les aspects les plus intéressants ont été, d'une part, l'évolution de la courbe d'acquisition de compétences et celle des coûts liés à ces technologies et, d'autre part, les exigences posées par la commercialisation de tels produits, ainsi que l'évolution de la demande chez nos clients. Quant aux applications, nous sommes actifs dans le secteur des pompes à chaleur également depuis des années.

Quels sont les effets de ces expériences sur la recherche énergétique ?

Je suis convaincu que nos initiatives contribuent également aux efforts de développement. D'une manière générale, l'accent doit être mis sur une application intelligente des résultats obtenus par la recherche, c'est-à-dire qu'il faut parfois emprunter des chemins inhabituels, comme nous l'avons fait, par exemple, avec MobiCat. En ce qui concerne la recherche, par contre, il faut d'abord être au clair sur ses propres capacités et concentrer en conséquence les moyens disponibles. Quant à l'OFEN, ses deux fonctions importantes restent la coordination ciblée des projets de recherche et l'activité d'intermédiaire lors de la réalisation de nouvelles installations de démonstration.

Est-ce que l'utilisation rationnelle de l'énergie est en contradiction avec la stratégie d'une entreprise fournissant de l'énergie ?

Non. Cela fait des années que je souligne le lien qui existe entre l'utilisation rationnelle de l'énergie et le succès de l'entreprise. Ce n'est que lorsque nous fournissons de meilleurs produits à nos clients et que nous répondons de manière optimale à leurs besoins que nous rencontrons le succès. Toute autre stratégie serait illusoire parce que s'inspirant de conceptions monopolistiques. Lorsqu'on nous demande des appareils plus rationnels, nous les mettons à disposition, en en faisant état ouvertement. Car, dans un marché ouvert, seul peut survivre celui qui trouve une solution globale avantageuse pour ses clients.



MobiCat sur le lac de Bienne.

Des embarcations solaires

Avec le soutien de l'OFEN, MobiCat et ZHolar ont été mis en service en 2001. Les deux embarcations sont du type catamaran ; le bateau sur le lac de Bienne a une capacité de 150 passagers, tandis que le bateau solaire de location sur le lac de Zurich peut accueillir 6 personnes. Durant les deux premières années, ZHolar – ce bateau solaire pouvant être loué auprès de la location de bateaux Enge à Zurich – a navigué pendant environ 100 heures et a transporté près de 335 personnes. Cette année, grâce au temps particulièrement clément, une durée de location de 156



ZHolar sur le lac de Zurich.

heures a été enregistrée jusqu'à fin août (56 heures pour le seul mois d'août). L'exploitation se fait principalement pendant les week-ends, tandis que les batteries sont rechargées pendant la semaine. D'une longueur de plus de 6 mètres, ZHolar est propulsé par un moteur à courant continu de 2,6 kW. L'énergie est produite par des cellules solaires Apex de 732 W_c, montées à la proue et sur les côtés.

Renseignements sur MobiCat :
www.bielersee.ch (MobiCat)
 et sur ZHolar :
www.sses.ch/zuerich/solarboot
 Publication N° ENET 220215

un centre internationalement reconnu (le CRPP de l'EPFL) ainsi que d'excellents spécialistes faisant autorité sur le plan mondial, en particulier le Prof. Minh Quang Tran.

Quelles sont vos priorités pour votre participation à la CORE ?

Mes priorités seront d'aider la CORE dans ses prises de position générales pour éviter une trop grande dispersion des efforts. La Suisse n'a pas les moyens de s'intéresser à tout. Les technologies associées aux économies d'énergie sont tout aussi importantes que les technologies pour de nouvelles énergies renouvelables. En revanche, nous devons nous préparer à réduire notre consommation de pétrole et préparer les moyens pour une production et une distribution accrue d'électricité propre en remplacement progressif des agents énergétiques fossiles.

Radicale ou progressive

Deux approches différentes pour le transfert de technologie dans les processus d'innovation

Karl Höhener

Transfert de technologie ENET
CH-9320 Arbon

Les processus d'innovation servent à répondre aux exigences actuelles et futures de la clientèle en matière de fonctions, de coûts et de qualité des produits, ou des services, existants ou nouveaux. Dans ce contexte, on distingue deux approches : l'innovation progressive et l'innovation radicale.

Deux concepts différents d'innovation

Le terme "d'innovation progressive" s'applique à des procédés visant à améliorer des produits existants sur la base des exigences du marché ou des activités de la concurrence. En règle générale, elle doit contri-

buer à consolider la position du produit sur le marché et à en prolonger la durée de vie. Lorsque une entreprise a besoin d'un appui technologique pour soutenir de tels processus d'innovation, ce support est fourni de manière appropriée par l'un des nombreux services de transfert de technologie de nos institutions de formation.

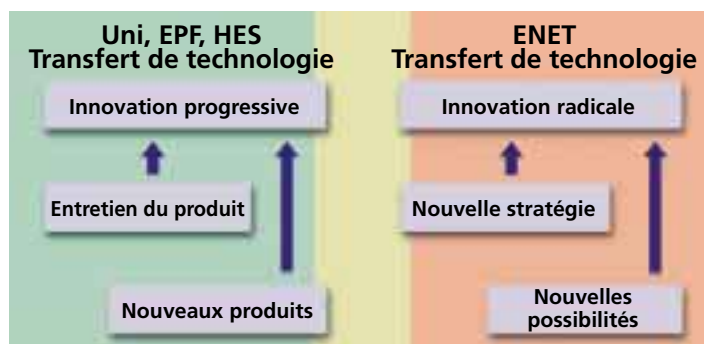
technologie est différent de celui se rapportant aux innovations progressives, comme cela est expliqué dans la suite.

Le procédé ENET de transfert de technologie

Lorsque de nouvelles connaissances scientifiques offrent la possibilité de modifier radicalement des solutions existantes ou de les remplacer, le transfert de technologie commence par l'élaboration de divers *business models*. Pour un bailleur de fonds ou une entreprise, cela doit équilibrer les risques, l'investissement de capitaux, le temps nécessaire à la mise en œuvre et le retour sur investissement. Si les modèles sont concluants, il s'agit de déterminer la meilleure solution en fonction de la stratégie et des capacités techniques de l'entreprise. S'il existe des combinaisons prometteuses, les premiers contacts sont pris, pour le transfert de connaissances techniques et d'idées utiles à leur exploitation.

Si la stratégie de l'entreprise nécessite une gamme de produits plus étendue, ou même complètement nouvelle, la procédure de transfert de technologie est encore différente. Lorsqu'un fabricant de composants désire s'imposer sur le marché en tant que fournisseur de la machine complète, il lui faut acquérir de nouvelles compétences et élargir ses connaissances en peu de temps. Pour obtenir les compétences nécessaires à la nouvelle gamme, il lui faut acheter les unités commerciales des anciens fournisseurs pour pouvoir produire les composants voulus et/ou il faut mettre en place un ensemble de compétences. Dans ce dernier cas, la mise en place d'un tel ensemble et de ses connexions avec l'entreprise représente un transfert stratégique de technologie.

ENET se concentre avant tout sur le transfert stratégique de technologie et complète ainsi les services de transfert des Universités, des EPF et des Hautes Écoles spécialisées.



L'éventail des tâches de l'innovation progressive et de l'innovation radicale.

L'efficacité énergétique du rail

De nouvelles données sont encore nécessaires à la mise en place de mesures permettant d'augmenter l'efficacité énergétique dans le trafic ferroviaire

Conrad U. Brunner
CUB
CH-8001 Zurich

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

Lukas Gutzwiller
Responsable du
domaine Fonde-
ments de l'écono-
mie énergétique à
l'OFEN

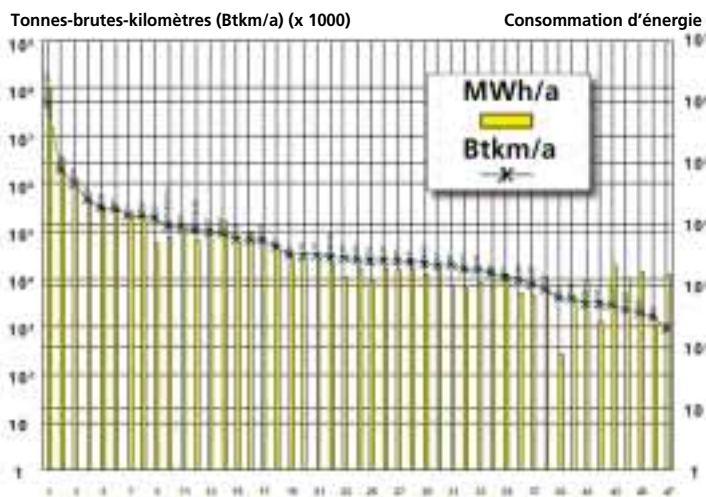
Si l'on analyse systématiquement l'efficacité énergétique de tous les consommateurs d'électricité, les transports publics, en particulier le trafic ferroviaire, revêtent un grand intérêt.

Selon les statistiques, la consommation d'électricité des chemins de fer en Suisse s'élève à plus de 2'700 GWh par année, dont environ 85 % pour les CFF. Il ressort des données des CFF qu'environ 1/4 relève de la consommation des équipements stationnaires (immeubles, ateliers, etc.) et 3/4 du trafic (traction). Cette dernière tranche comprend aussi bien le transport de personnes et de marchandises que le trafic de service, et utilise les types de matériel roulant les plus divers. La part prépondérante des CFF dans la consommation globale, est importante pour l'étude comparative. L'analyse se termine par les ETC (entreprises de transport concessionnaires) dont le BLS (Chemin de fer du Lötschberg SA) et les RhB (Chemins de fer rhétiques) sont les deux plus importantes.



Les installations stationnaires sont responsables du quart de la consommation d'électricité, alors que la traction en absorbe les trois quarts.
(Photo : BLS)

La comparaison des tonnes-brutes-kilomètres remorqués annuellement et de la consommation en énergie électrique des 47 compagnies de chemin de fer analysées fait ressortir une certaine corrélation. Lors de l'évaluation de la consommation spécifique d'électricité, on remarque cependant pour les ETC une dispersion considérable et une valeur moyenne supérieure. On pourrait en déduire qu'il existe de nombreuses mesures qui permettraient d'améliorer l'efficacité énergétique. Les propositions concrètes restent malgré tout vagues, car les critères de saisie des données (limites systémiques, attribution à une catégorie particulière, etc.) ne sont pas uniformes et les conditions-cadres en matière de technique de transport diffèrent d'une compa-



gnie à l'autre. Il n'en demeure pas moins que la topographie, le taux d'utilisation des capacités, les différences climatiques, les vitesses, la répartition entre transport de personnes et de marchandises, ainsi que la composition des trains n'expliquent pas entièrement ces différences. Il est cependant réjouissant de constater que la consommation spécifique d'énergie du plus grand consommateur, les CFF, est relativement faible.

Consommation d'énergie en 1997 de 47 compagnies de chemin de fer (tonnes-brutes-kilomètres remorquées et consommation d'énergie en MWh/année).

Les données connues jusqu'ici montrent que la consommation d'énergie du trafic ferroviaire suisse mériterait d'être analysée plus en profondeur. La connaissance de la consommation spécifique d'énergie, par exemple, permettrait d'optimiser le choix des véhicules et des moyens de transport, de comparer des chemins de fer connaissant des conditions similaires, et, enfin, de comparer les évolutions respectives sur plusieurs années. En supposant qu'on veuille réduire de 10 % d'ici dix ans l'énergie consommée par la traction, il faudrait réaliser une économie finale d'environ 270 GWh. Il faudrait en tenir compte lors de l'acquisition du matériel roulant et à l'occasion de l'amélioration systématique du parc des locomotives et des wagons au cours des grandes révisions. En outre, il faudrait analyser de manière structurée les valeurs mesurées et définir des standards de performance énergétique.

Rapport :
Energieverbrauch im Schienenverkehr ;
Conrad U. Brunner,
2001
N° ENET 210371

Summer School – Solar Energy 2003

Un cours de formation destiné à préparer le terrain à l'utilisation intégrale des techniques solaires

Des concepts de maisons solaires et les technologies mises en œuvre dans les centrales électriques héliothermiques étaient au centre de la 7^e Summer School – Solar Energy 2003 internationale. Pour la première fois, elle a eu lieu en Suisse et a été organisée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). À l'Academia Engiadina de Samedan, 36 participants venus du monde entier ont eu l'occasion, pendant deux semaines, de se faire une idée sur le sujet et d'élaborer des projets au sein de groupes interdisciplinaires.



La station du Piz Nair, équipée de 104 modules PV, est le point culminant du nouveau sentier de l'énergie de St-Moritz.

Excursion au sentier de l'énergie

Pendant la Summer School – Solar Energy 2003, une excursion a également été organisée au Clean Energy Tour ; inauguré en juin 2003, ce sentier conduit de St-Moritz au Piz Nair, c'est-à-dire du site de la première installation d'éclairage électrique de l'histoire à celui de la plus récente installation photovoltaïque, à plus de 3000 m d'altitude. 104 modules, fournissant une puissance totale de 13,5 kW_c, sont installés sur la façade sud de la station supérieure remodelée. La station inférieure est également équipée de modules (9,5 kW_c).

www.clean-energy.ch
www.SunTechnics.ch

Outils et ateliers de travail

Quel objectif cette Summer School poursuivait-elle ? Urs Wolfer, responsable du domaine à l'OFEN, nous dit : "Tout d'abord, il s'agissait d'encourager la sensibilisation à une utilisation optimale de l'énergie solaire lors de projets de construction. Pendant la première semaine d'étude, nous avons présenté, par les exposés de nombreux experts suisses et étrangers, l'éventail des technologies, les outils de calcul et d'aide à la conception (logiciels), ainsi que les méthodes intégrales. Dans les ateliers de travail qui ont suivi, des projets concrets, élaborés avec les données spatiales et climatiques de Samedan, ont permis aux étudiants de s'entraîner au travail interdisciplinaire."

Quelles impressions le groupe de participants internationaux en a-t-il retirées ? Pour l'un des étudiants, cette collaboration au-delà des limites sectorielles formait un complément bienvenu aux méthodes de travail courantes dans les Universités et les Hautes Écoles. Un architecte italien, travaillant actuellement aux États-Unis, a beaucoup aimé la combinaison entre thème et lieu. Il mettra volontiers en pratique en Amérique les connaissances et expériences acquises en matière d'architecture solaire. Les études et la discussion approfondies à la Summer School ont donné l'occasion à un consultant en énergie de s'initier rapidement à la thématique. Pour sa part, une étudiante japonaise était particulièrement intéressée par les différences entre les solutions européennes et japonaises.

Au nouveau directeur d'un laboratoire de recherche, la Summer School a offert une mise au point bienvenue dans sa recherche d'informations les plus diverses. Les nouveautés thématiques et les adresses reçues ont fait particulièrement plaisir à une architecte qui prépare actuellement son doctorat. Et un jeune scientifique suédois a, quant à lui, surtout apprécié les contacts

internationaux qui lui seront certainement profitables dans son activité.

Travail conceptuel et analyses de détail

Les outils de calcul présentés au cours de la première semaine ont été utilisés concrètement pendant la deuxième. La construction, soit d'une résidence universitaire, soit d'une maison de vacances sur un terrain à bâtir de Samedan, était le thème de l'atelier de travail. L'un des objectifs consistait à utiliser autant que possible les sources



Pendant la quinzaine de la Summer School – Solar Energy 2003 de Samedan, le groupe international (à droite) s'est occupé activement d'architecture solaire intégrale. Les logiciels de calcul les plus modernes ont été utilisés pour l'étude des projets dans les ateliers de travail (en haut).



d'énergie renouvelables, en particulier l'énergie solaire, et à effectuer les analyses nécessaires des besoins en énergie. Les conditions climatiques particulièrement exigeantes de la Haute-Engadine, dont il fallait tenir compte, constituaient un défi supplémentaire.

Les différents groupes ont reçu le soutien ciblé d'une équipe d'enseignants venus d'Autriche, d'Allemagne, de Suède et de Suisse. La Summer School repose sur la



L'équipe d'enseignants de la Summer School, entre autres, Robert Hastings (à droite), a assisté les jeunes scientifiques, architectes et ingénieurs venus du monde entier.



coopération internationale entre des Universités et des organisations.

Produire du courant avec la chaleur solaire

Dans le domaine des centrales électriques héliothermiques, une étude a été effectuée sur les technologies actuelles et le développement des nouvelles installations de production en projet dans plusieurs pays, qui fourniront, d'ici 2006, 500 MW_e supplémentaires. En se fondant sur les caractéristiques concrètes des sites choisis, le travail de groupe consistait à planifier un projet et à calculer une installation comportant des capteurs cylindro-paraboliques.

Apprendre à connaître les paramètres déterminants

Des exposés thématiques et des travaux sur projets ont servi à renforcer l'intuition des participants lors de l'identification des paramètres énergétiques déterminants des bâtiments. Sommes-nous arrivés à nos fins ? Urs Wolfer répond : "La plupart des



Le travail en groupe a été marqué par l'échange mutuel d'expériences et par l'interdisciplinarité.

Un avenir ensoleillé

Les centrales électriques héliothermiques fonctionnent avec des capteurs cylindro-paraboliques. Elles peuvent également être basées sur des concepts à tour et héliostats. La technique et le rendement élevé permettent une production de courant atteignant pratiquement le seuil de rentabilité. Introduite en Espagne en 2002, la loi sur l'injection dans le réseau public de l'électricité produite à l'aide de



Test de récepteur
(Photo : DLR)

cette technologie a permis de concrétiser des projets sur trois sites du Sud de ce pays. Le Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entreprend depuis quelque temps des recherches sur de nouvelles variantes de capteurs. Le système modulaire de l'installation pilote d'Almeria a d'ores et déjà permis de dépasser 815 °C.

www.dlr.de (→ Energie)

participants avaient terminé leurs études ou étaient en phase terminale. Les jeunes apportaient par conséquent la base scientifique ; les fondements étaient posés. Durant la quinzaine de la Summer School, les discussions animées ont permis d'atteindre l'objectif fixé : une meilleure connaissance de la technique solaire."

Symposium photovoltaïque national

Consacré à la technologie et à l'architecture, ce symposium aura lieu les 25 et 26 mars 2004 à l'EPF de Zurich.

Renseignements :
www.photovoltai.ch



La mobilité issue des plantes

Le bioéthanol, en tant qu'additif à l'essence et au diesel, réduit la consommation de carburant fossile

Pratiquée au Brésil depuis 1975, et depuis quelque temps aussi aux États-Unis et en Suède, l'adjonction de bioéthanol à l'essence et au diesel fait l'objet d'études diverses en Suisse. La création de structures appropriées est également encouragée par l'Union Européenne, avec le dessein de remplacer partiellement l'essence par des carburants de substitution (objectif : une quote-part de 5,75 % d'ici 2010 et d'environ 20 % d'ici 2020).

Adjonction de carburant suisse

Les surplus agricoles et les déchets biogènes peuvent servir à la production de bioéthanol, tout comme les matières contenant de la lignocellulose (par exemple, le bois, les coupes de plantes, le foin, etc.) ou encore certaines plantes cultivées tout exprès (par exemple, le topinambour).

Dans le cadre de son projet "etha+", Alcosuisse, l'unité autonome de la Régie fédérale des alcools, spécialisée dans la commercialisation de l'éthanol, a commandé toute une série d'études scientifiques pour évaluer les divers aspects de l'addition d'éthanol aux carburants classiques. On admet aujourd'hui pour l'essence une concentration d'éthanol de 5 % (correspondant à la norme EN 288) ; ce qui paraît réalisable et ne demanderait qu'un investissement modeste. *auto-suisse* assure que les moteurs actuels fonctionnent sans problème à cette concentration d'éthanol.

Le mode de production influence le bilan

Le Laboratoire des systèmes énergétiques (LASSEN) de l'EPF de Lausanne a étudié les effets écologiques de chaque étape au moyen d'une analyse comparative des cycles de vie de différents carburants. Il en ressort que le mode de fabrication du bioéthanol exerce une influence déterminante sur les possibilités de réduction des émissions de CO₂. Le bilan des émissions de substances nocives est influencé par les

ressources utilisées, la culture, la récolte, le transport, le stockage, etc. Mais l'adjonction d'éthanol entraîne de toute façon une réduction de la consommation des agents énergétiques fossiles et, par là, une diminution des émissions de CO₂, puisque le CO₂ issu de la combustion du bioéthanol – une source d'énergie renouvelable – n'intervient pas dans le bilan du CO₂.



Véhicules de l'étude-pilote pour l'adjonction de bioéthanol à l'essence et au diesel, à Vevey.

Une installation de production de bioéthanol se compose principalement des trois unités destinées respectivement à la fermentation, à la distillation et à la séparation de l'eau. Du fait qu'il est possible d'utiliser différentes matières premières et de s'adapter ainsi aux variations saisonnières de leur production, l'approvisionnement de l'installation et la livraison d'éthanol sont quasiment assurés en permanence.

Les émissions de polluants ne changent guère

Outre des mesures générales visant à réduire la consommation des véhicules à moteur, l'utilisation de carburants renouvelables offre une perspective intéressante. Leurs émissions de polluants ne doivent cependant pas représenter une aggravation par rapport aux carburants fossiles. Une étude du LFEM/EMPA à Dübendorf, sur

laquelle l'analyse des cycles de vie a été basée, a mis en évidence les différences dans les émissions de substances nocives (CO, NO_x, hydrocarbures de tout genre, particules fines) lors des cycles standard de conduite. Trois véhicules étaient à disposition : deux voitures de tourisme à moteur à essence et à moteur diesel, respectivement, ainsi qu'un véhicule utilitaire à moteur diesel. Pour les émissions légales de gaz d'échappement des véhicules Euro-3 testés, les carburants diesel et essence avec adjonction de bioéthanol n'ont pas présenté de différences marquantes. Pour le diesel, les valeurs plus élevées du total des hydrocarbures (HC) non brûlés étaient perceptibles. Le potentiel de formation d'ozone causée par les émissions de VOC (composés organiques volatiles) a augmenté d'environ 15 % pour la voiture de tourisme à essence et de 30 % pour la voiture de tourisme au diesel.

En plus des questions technologiques, les aspects économiques et logistiques sont également examinés de près. L'utilisation de véhicules-pilotes à Vevey, Delémont, Schachen (LU) et, depuis peu, également chez Swisscom mérite d'être mentionnée ici. En collaboration avec Alcosuisse, d'autres mesures visant à la réalisation d'installations de production de bioéthanol et au développement des infrastructures nécessaires sont actuellement à l'étude. Le bioéthanol permet de tirer profit de l'environnement, tout en utilisant la chaîne de distribution de carburant existante et les véhicules actuellement en circulation en Suisse.

Pour de plus amples informations :
www.eav.admin.ch (→ alcosuisse)
 Pierre Schaller
 Alcosuisse
 CH-3000 Berne 9

Du méthane tiré de la biomasse aqueuse

Des chercheurs du PSI montrent que le procédé de gazéification hydrothermale a des chances de percer

Frédéric Vogel

Chef de projet
Institut Paul
Scherrer (PSI)
CH-5232 Villigen

Bruno Guggisberg

Responsable du
domaine Biomasse
à l'OFEN

L'énergie tirée de la biomasse étant neutre quant aux émissions de CO_2 , puisqu'elle ne libère pas plus de dioxyde de carbone que la quantité absorbée pendant la croissance, elle peut donc être considérée comme une forme d'énergie durable. Les procédés traditionnels de fermentation permettent de tirer du méthane (CH_4) à partir de la biomasse ; ce gaz peut ensuite servir à produire de l'électricité ou être utilisé comme carburant (véhicules propulsés au gaz naturel). Bien que la gazéification thermique avec catalyseur soit mise en œuvre dans la conversion du bois sec en biogaz, son rendement est trop faible dans le cas de la biomasse aqueuse. La gazéification hydrothermale offre ici une alternative qui, dans les années 70 déjà, a été lancée par un projet du

MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Dans le cadre du projet Ecogaz, le PSI a expérimenté le procédé en utilisant des boues à base de bois et en faisant varier les paramètres. Ces boues,

contenant entre 10 et 30 % de bois en poids, étaient constituées d'un mélange de sciures exempt d'écorce ; elles ont été testées à l'aide d'un petit réacteur pour les procédés en lots (réacteur en *batch*).

Considérant l'équilibre chimique, la formation de méthane et de CO_2 à partir d'une biomasse aqueuse est favorisée par les basses températures. Le démarrage de cette réaction à basse température ne peut toutefois s'opérer que sous certaines conditions. Par contre, au voisinage du point critique de l'eau (à 374 °C, sous 221 bar), les caractéristiques chimiques du mélange se modifient et il devient intéressant pour la gazéification de la biomasse. Les recherches du PSI ont montré que, dans ces conditions hydrothermales et en présence d'un cataly-

seur accélérant la formation de gaz, la biomasse peut être effectivement transformée en méthane en une seule étape. Et cela avec un rendement élevé. En théorie, il est possible de tirer jusqu'à 0,34 g de méthane par gramme de bois. Les meilleurs résultats ont été obtenus à environ 400 °C et sous 300 bar avec un catalyseur contenant du nickel. Jusqu'ici, 0,24 g de méthane ont été produits par gramme de bois, sans pour autant enregistrer la formation préjudiciable de goudron ou de résidus carbonés. Pour une puissance de l'installation de 20 MW_{th}, on s'attend à un rendement de 70 à 80 % pour ce procédé de conversion du bois en méthane.

La gazéification hydrothermale offre des avantages aussi dans d'autres cas que la valorisation de bois mouillés ; elle s'applique également aux substances biogènes provenant de l'agriculture (lisier, déchets d'abattage, boues de curage, etc.), pour lesquelles de nouveaux procédés d'élimination sont l'objet de recherche. En effet, les procédés usuels de fermentation ne transforment qu'une partie de la biomasse en méthane et en CO_2 . De plus, la destruction des substances problématiques présentes à l'état de traces (par exemple, les résidus d'antibiotiques, etc.) ne peut être garantie. Dans un esprit de durabilité, les substances nutritives doivent être récupérées sous forme de concentrés, permettant une fertilisation efficace.



La boue aqueuse de sciure (en haut) est transformée dans le réacteur en eau pure (en bas) et en un gaz riche en méthane.

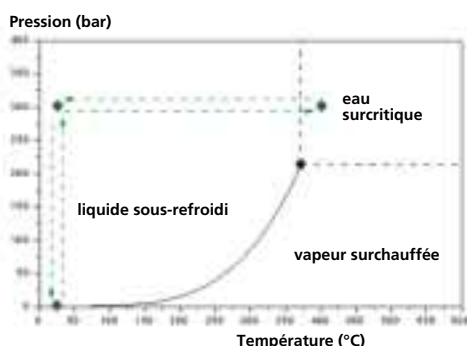


Diagramme de phases de l'eau pure. Les flèches vertes indiquent le déroulement de la réaction dans le réacteur batch du PSI ; celle-ci nécessite moins d'énergie qu'avec de la vapeur.

Des carburants et de l'électricité tirés de la biomasse

La 4^e Conférence sur les technologies énergétiques pour un avenir durable sera consacrée notamment aux carburants et à l'électricité tirés de la biomasse. Elle aura lieu le 5 décembre 2003 à l'auditoire de l'Institut Paul Scherrer (PSI) à Villigen. On y abordera l'intégration de systèmes techniques au cycle naturel du carbone.

<http://ene.web.psi.ch/conferences.html>

La première vis hydraulique est montée

À Derendingen (SO), un ancien aménagement hydroélectrique retrouve sa fonction première grâce à une nouvelle technique

Thomas Köhli
Chef de projet
CH-4556 Aeschi

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

Bruno Guggisberg
Responsable du domaine Petits aménagements hydroélectriques à l'OFEN

Le Grützbach est un canal latéral de la Grande Emme appartenant à un système de canaux industriels construit au XIX^e siècle. La centrale électrique de la briqueterie de Derendingen, près de Soleure, située sur le Grützbach, a cessé toute activité dans les années 70 pour des raisons économiques. Seule une petite chute d'eau avait été conservée.

De l'étude préliminaire à la vis hydraulique

Une étude préliminaire, soutenue par l'OFEN et terminée en 2000, a permis d'estimer la production d'électricité réalisable et d'évaluer le degré d'adéquation à cet aménagement de diverses installations modernes. Au cours des études successives, il est apparu que le nouveau concept de la vis hydraulique répondait de manière optimale aux paramètres locaux (débit constant de 1'000 L/s pour une hauteur de chute de 1,16 m). Jusqu'à présent, le principe de la "vis d'Archimède à eau" n'avait que rare-

ment retenu l'attention dans l'exploitation de la force hydraulique.

C'est donc la première fois qu'une vis hydraulique sans fin est utilisée en Suisse. Une grosse grille de retenue munie d'un système de nettoyage a été placée à l'entrée. Les corps flottants sont transportés dans un conduit qui les mène au canal d'évacuation.

La vis hydraulique a été construite d'une seule pièce, ce qui a facilité le montage *in situ*. Elle a un diamètre de 1,6 m et une inclinaison de 22° par rapport à l'horizontale. L'écartement entre les pales fait qu'elle ne souffre pas du passage des feuilles, des branchages et autres déchets. Elle peut donc difficilement se boucher, ce qui facilite grandement l'exploitation et l'entretien. Grâce aux grands volumes d'eau entre les pales et à l'absence de variation de pression, les poissons qui descendent le cours d'eau peuvent la traverser sans encombre. Un passage à poissons a cependant été construit sur le côté, sous forme d'un petit canal à lit



Montage de la vis hydraulique sous forme d'unité compacte dans le Grützbach près de Derendingen (SO).

SEARCH LHT : vers une nouvelle turbine Kaplan standardisée

Le MHyLab – *Mini-Hydraulic Laboratory* –, situé à Montcherand près d'Orbe, se consacre depuis deux ans environ à l'étude systématique des turbines Kaplan. Ces turbines à basse pression, conçues pour une puissance maximale de 1 MW, sont testées sur un banc d'essai particulier pouvant simuler une hauteur de chute comprise entre 3 et 30 mètres. Depuis son lancement, ce projet réalisé avec le soutien de l'OFEN a pu être élargi. C'est ainsi qu'un consortium regroupant les acteurs suivants s'est constitué :

- THEE (fabricant français de turbines)
- SASSO SNC (spécialiste italien de la surveillance des équipements de commande)
- EPFL (Laboratoire de machines hydrauliques)

- Université de Grenoble (mécanique et hydraulique)
- Romande Énergie SA (producteur romand d'électricité)
- SEER (producteur français d'électricité)
- MHyLab (Laboratoire de mini-hydraulique).

Le projet a trouvé place dans le 5^e Programme cadre de recherche et développement technologique de l'UE, sous l'appellation "SEARCH LHT". L'objectif de ce développement est une nouvelle génération de turbines axiales à pales réglables et à distributeur fixe. Au cours des derniers mois, le MHyLab a pu apporter son soutien à la construction d'installations pilotes permettant de valider les connaissances acquises (par exemple, "Les

Farettes", près d'Aigle). Les recherches consistent d'abord à prédimensionner et à optimiser le profil hydraulique à l'aide de modèles numériques de l'écoulement, et à vérifier ensuite les résultats en laboratoire avant de les utiliser pour le développement d'un concept industriel standardisé.

Renseignements complémentaires :
www.mhyllab.com
www.cordis.lu/fp5/projects.htm
(→ Energy EESD)



empierré, afin qu'ils puissent remonter le cours.

Production stable et protection optimale contre les crues

Le rendement mécanique de la vis hydraulique atteint presque 80 % et reste très stable, tant que le débit est supérieur au cinquième de sa valeur nominale ; c'est un avantage par rapport aux turbines traditionnelles. Le couple de rotation produit par l'écoulement de l'eau, et par conséquent la puissance qui en découle, ne dépendent que du taux de remplissage des volumes délimités par les pales. En admettant que de l'eau s'écoule durant 48 semaines dans le Grüttbach, on peut estimer à environ 55'000 kWh la production annuelle d'électricité.



Préparatifs du montage : l'admission d'eau, surmontée du générateur.



La vis hydraulique présente de nombreux avantages : rendement élevé, entretien minime, passage des poissons.

(Photos : Th. Köhli)

Le canal latéral d'évacuation et le trop-plein sont dimensionnés pour un débit maximum de 4'000 L/s. Les bords supérieurs de l'ouvrage ne dépassent le niveau d'eau du canal d'amenée que de 5 cm. Le bâtiment de la centrale est placé sur des piliers au-dessus de la zone de déversement et couvre également la vis hydraulique. Il en résulte un écran acoustique, une protection contre les intempéries et la possibilité d'utiliser les rejets thermiques du générateur qui se trouve sur la partie supérieure de la vis.



Géothermie

Pieux énergétiques : campagnes de mesures

Les pieux énergétiques, dits "échangeurs", permettent un échange d'énergie avec le sous-sol. En hiver, ils extraient de la chaleur pour chauffer ; en été, ils fournissent du froid pour rafraîchir les bâtiments.

La société Pago SA, à Grabs (SG), est une entreprise spécialisée dans la fabrication d'étiquettes et de machines à étiqueter. Elle a construit un nouvel immeuble commercial en 1994-95. Depuis lors, 570 pieux énergétiques d'une longueur de 14 m extraient de l'énergie primaire pour alimenter les pompes à chaleur et les machines frigorifiques. Une campagne de mesures, réalisée avec le soutien de l'OFEN, a confirmé les prévisions, obtenues par le calcul, de faible consommation d'énergie. Le système d'échangeurs fonctionne encore parfaitement après huit ans. L'entreprise générale Lippuner SA, à Grabs, poursuit les mesures et les analyses. Toutefois, l'expansion de la production ces dernières années a entraîné une constante augmentation des besoins en froid. L'équilibre entre les apports de chaleur d'été et les prélèvements de hiver s'en est trouvé perturbé, ce qui a entraîné une augmentation de la température du sol. Une régénération a lieu dorénavant en hiver (apport de froid par une installation de refroidissement située à l'extérieur) ; le froid est à nouveau disponible en quantité suffisante en été.

La société Dividella SA, toujours à Grabs, produit des machines d'emballage. Dans le cadre de l'agrandissement du bâtiment existant, une fondation sur pieux a été prévue pour des raisons de statique. Sans investissement supplémentaire important, ces pieux ont pu être conçus comme échangeurs. Pour la première fois, on a posé des pieux couplés, de 2 x 12 m de longueur. Une campagne de mesures soutenue par l'OFEN a débuté il y a un an.

www.geothermal-energy.ch
(→ Géosstructures)

C'est plus dur en montagne

La combinaison de mesures et de calculs permet de mieux connaître le régime des vents en montagne

Stefan Kunz
METEOTEST
CH-3012 Berne

Robert Horbaty
Chef du programme
Énergie éolienne de
l'OFEN
c/o ENCO Sàrl.
CH-4435 Niederdorf

Markus Geissmann
Responsable du
domaine Énergie
éolienne à l'OFEN

En règle générale, plus un endroit est situé en altitude, plus le vent y souffle fort. C'est pourquoi les régions de montagne sont particulièrement intéressantes pour l'utilisation de l'énergie éolienne. Toutefois, tant le montage que l'exploitation et l'entretien se voient compliqués par le givrage, les turbulences et les rafales d'une violence extrême, qui s'ajoutent à des situations difficiles d'infrastructure. Par ailleurs, les études nécessaires à la sélection des sites sont nettement plus coûteuses en terrain montagneux.

Sodar en action

L'expérience a montré que les anémomètres à coupes ne sont parfois pas en mesure de décrire le régime réel des vents en montagne. En raison de la topographie, les mâts de mesure ne peuvent souvent pas être construits avec la hauteur souhaitable. De plus, il apparaît en montagne des courants verticaux, et la vitesse du vent n'augmente pas néces-

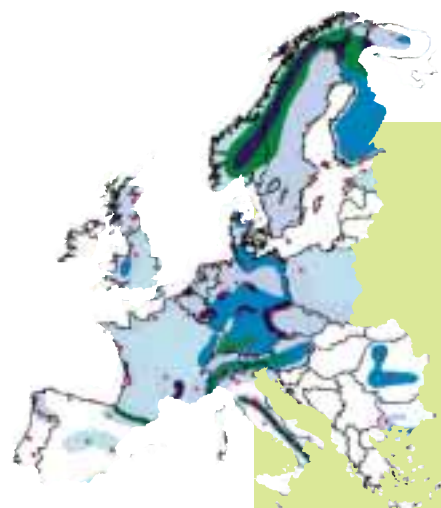
sairement avec l'altitude. Au-dessus des arêtes et des dômes, il est même possible qu'elle soit constante, jusqu'à haute altitude, voire qu'elle diminue. Les profils verticaux du vent se modifient en outre selon la direction et la force du vent.

C'est ici que le système de mesure *Sodar* (*Sound detection and ranging*) offre un complément utile. En effet, il permet de mesurer la vitesse du vent par paliers de 10 m, entre 20 et 150 m du sol. Des ondes sonores sont émises du sol vers le haut, puis réfléchies dans l'atmosphère. Les fréquences, modifiées par le mouvement de l'air (effet Doppler), et la différence de temps de parcours permettent de mesurer la vitesse du vent et la hauteur. Les bruits ambiants, la pluie, les nuages, les turbulences, etc. peuvent cependant influencer les mesures effectuées par le *Sodar*. Il suffit d'en tenir compte lors des analyses. La station *Sodar* de la société METEOTEST, à Berne, est actuellement utilisée dans le Tauern, le plus grand parc éolien des Alpes, en Autriche.



En montagne, les éoliennes doivent faire face aux turbulences, aux rafales, au givrage, etc.

(Photo : www.tauernwind.com)



La formation de givre en Europe. Estimation du nombre de jours de gel, obtenue dans le cadre d'un projet du programme "Énergie éolienne" de l'AIE.

Recherches sur les conditions de froid extrême

Le projet intitulé "*Wind Energy in Cold Climates*", faisant partie du programme "Énergie éolienne" de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), recueille les expériences faites avec des éoliennes et des stations de mesure installées dans des situations extrêmes. Sur cette base, des catégories de sites au climat spécifique doivent être définies et des directives élaborées pour les fabricants et les exploitants d'installations éoliennes situées dans les régions froides. Dans ce projet, la Suisse est représentée par la maison ENCO Sàrl., à Niederdorf.

Des éoliennes d'une puissance totale d'environ 500 MW_c sont d'ores et déjà installées dans des régions froides de l'hémisphère nord. En Europe, elles se trouvent principalement en Scandinavie. Le problème du givrage, plus ou moins prononcé selon la situation, est d'un intérêt particulier. Il influence aussi bien l'évaluation du site, au moyen d'instruments de mesure, que la construction et l'exploitation d'une centrale. À bien des endroits, les données météorologiques existent déjà, mais il manque dans la plupart des cas les paramètres spécifiques du givrage.



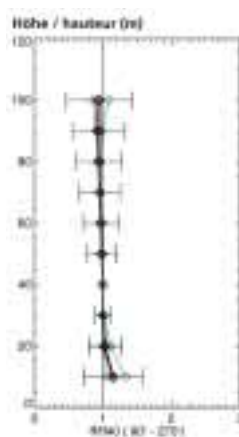
Les mesures au Sodar permettent la détermination du profil vertical de la vitesse du vent. Cette installation de METEOTEST est située dans le plus grand parc éolien des Alpes, dans le Tauern (Autriche).

Des études de sites particuliers comme références

Les modèles de calculs sont un outil supplémentaire pour l'étude de sites éoliens potentiels. Dans les régions alpines, de topographie complexe, un champ de vitesse de vent varie sur des distances très courtes. Aussi les mesures effectuées ne fournissent-elles que des résultats ponctuels. Les modèles de calcul permettent, eux, en revanche, d'évaluer des régions plus étendues.

METEOTEST a effectué une étude comparative sur la base des deux sites équipés jusqu'ici d'une station Sodar, afin de préciser les limites de l'utilisation des diverses méthodes de mesure et de calcul. Les nom-

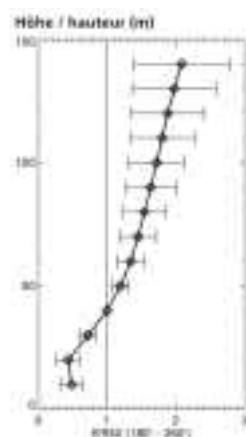
Au-dessus des arêtes et des dômes, la vitesse du vent peut être constante jusqu'à une haute altitude, ou même diminuer avec celle-ci.



Le givrage, sujet principal du semestre d'hiver

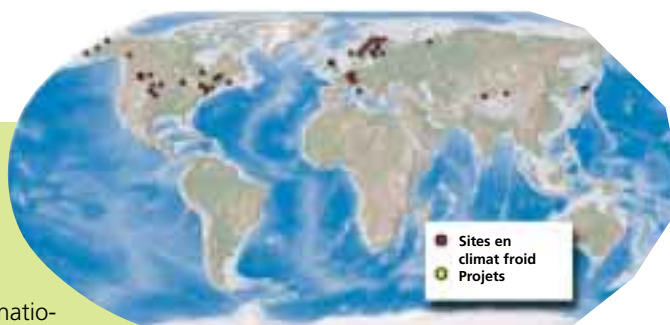
Des mesures ont été réalisées sur les deux sites avec des anémomètres chauffés et non chauffés. La comparaison des valeurs mesurées par les deux types d'anémomètres, ainsi que les mesures de température et de point de rosée permettent d'évaluer la fréquence

Dans les couches inférieures, les obstacles comme les arbres freinent le vent ; mais au-dessus, sa vitesse augmente considérablement, comme le montre cette mesure faite dans le Jura, au-dessus d'une petite calotte forestière.



breuses analyses du Gütsch (2'350 m.), au-dessus d'Andermatt, et du Crap Sogn Gion (2'216 m.), au-dessus de Laax, ont été utilisées.

des périodes de givrage pendant le semestre d'hiver. On obtient ainsi des indications qui permettent d'estimer si, du point de vue économique, il est judicieux de chauffer les pales des rotors.



La collaboration internationale au sein de ce projet du programme "Énergie éolienne" de l'AIE permet de réunir des informations de provenances multiples et d'élaborer ainsi des recommandations plus fiables.

Pour de plus amples informations : <http://arcticwind.vtt.fi>

Le problème du givrage apparaît dans les régions froides du monde entier et peut diminuer la production d'électricité éolienne.

Contrairement aux attentes, ces mesures effectuées au Sodar sur les sites du Gütsch et de Crap Sogn Gion ont donné des profils verticaux de vent plutôt constants qu'exponentiels. Sur terrain complexe, les anémomètres surestiment souvent les vitesses de vent ; la raison semble en être la proportion importante des courants arrivant obliquement sur l'anémomètre. L'exactitude des résultats fournis par les anémomètres à ultrason est certes plus grande, mais ces appareils aussi ne font des mesures qu'à une certaine hauteur de mât.

Seule la combinaison des résultats fournis par ces diverses installations de mesure offre une base fiable à l'évaluation d'un site en montagne. Les modèles habituels de calcul des vents ne conviennent guère. En revanche, un modèle CFD (Computational Fluid Dynamics) a permis de calculer avec une bonne précision les conditions attendues.

Exploitation de l'inertie du système

La modulation de la durée des impulsions optimise la régulation des pompes à chaleur sous l'angle de la fourniture de chaleur et du tarif de l'électricité

Esfandiar Shafai

Institut des techniques de mesure et de régulation (IMRT)
ETH-Zentrum
CH-8092 Zurich

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

Fabrice Rognon

Responsable du domaine Chaleur ambiante à l'OFEN

La régulation des petites pompes à chaleur par la modulation de la durée des impulsions permet d'exploiter de manière optimale les différentes périodes tarifaires et l'inertie thermique de l'immeuble et du système de distribution de chaleur, tout cela en coordination avec les conditions météorologiques. La fourniture de la chaleur nécessaire au cours de la journée est assurée par la pompe à chaleur dont le fonctionnement est habilement fractionné : des "paquets de chaleur" de taille appropriée permettent d'optimiser les durées de fonctionnement en tenant compte des périodes de tarif réduit, de la consommation d'énergie auxiliaire, etc.

Trois stratégies de régulation différentes

Dans une première phase, trois stratégies différentes de réglage de la modulation de la durée des impulsions ont été développées. Elles se distinguent par la méthode d'estimation de la quantité de chaleur à fournir au bâtiment et par sa répartition optimale sur la journée entière. La première stratégie détermine les besoins en chaleur à

l'aide de la courbe de chauffe, une courbe d'énergie (besoins journaliers de chaleur en fonction de la température extérieure) ; la deuxième le fait à l'aide d'une courbe de durée de fonctionnement (puissance thermique nécessaire d'après la courbe d'énergie, divisée par la puissance thermique effectivement produite d'après la courbe caractéristique de la pompe à chaleur).

La troisième stratégie – régulation à prédiction basée sur un modèle – prend en compte l'inertie de l'immeuble et du système de distribution de la chaleur dans un modèle mathématique et physique. De plus, elle inclut une estimation de la température extérieure probable pendant les prochaines heures. Pour réaliser l'optimisation de la quantité de chaleur fournie au bâtiment, elle tient compte aussi bien du coefficient de performance de la pompe à chaleur que des périodes de blocage par la compagnie d'électricité et de la structure tarifaire.

Dans la deuxième phase de ce projet, soutenu par l'Office fédéral de l'énergie, les régulateurs commercialisés par deux parte-

Points forts de la recherche sur les pompes à chaleur

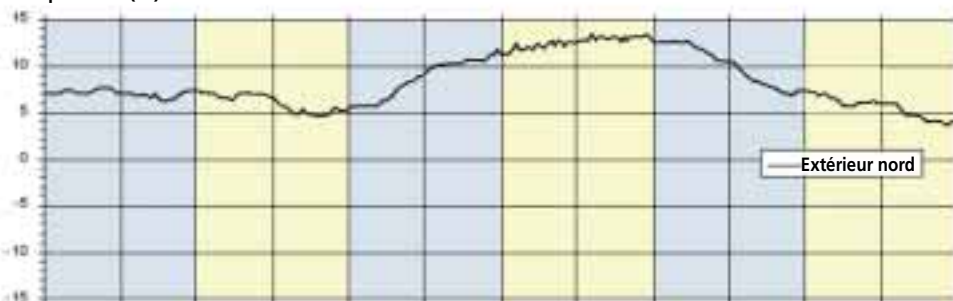
À l'occasion du Symposium sur les pompes à chaleur, qui s'est tenu à Berthoud en juin 2003, Thomas Kopp a présenté les futurs points forts de la recherche du programme Chaleur ambiante (R+D) qu'il dirige. Pour encourager de manière ciblée l'utilisation des pompes à chaleur et renforcer leur diffusion, il y a lieu aujourd'hui, à la lumière des expériences acquises par les activités antérieures, de s'attaquer aux tâches suivantes :

- Augmentation de l'efficacité par l'amélioration de composants et des schémas hydrauliques (compresseurs, échangeurs de chaleur, commandes, dégivrage). Les sept schémas standard disponibles depuis peu, qui simplifient la conception et la rendent plus fiable, ainsi que les travaux

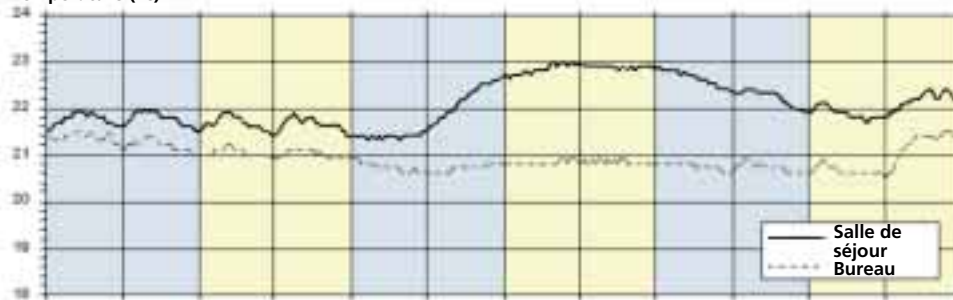


Dans le cadre du Symposium sur les pompes à chaleur de cette année, à Berthoud, les futurs points forts de la recherche ont aussi été présentés.

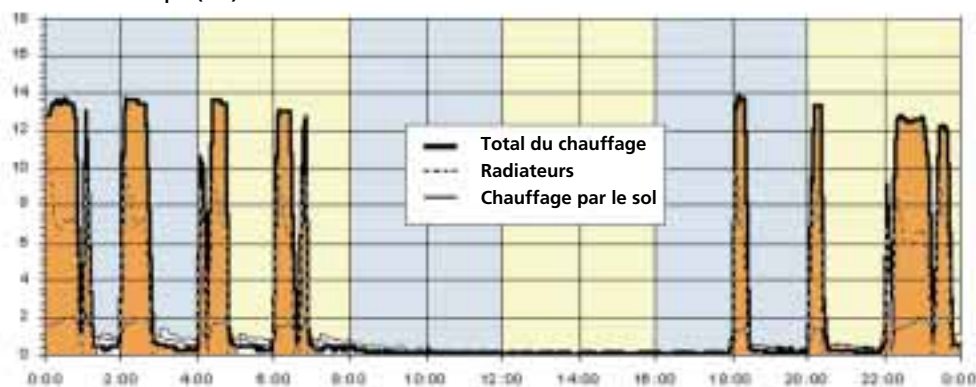
Température (°C)



Température (°C)



Puissance thermique (kW)



Évolution des températures avec une régulation de la modulation de la durée des impulsions basée sur un modèle, lors d'un fort ensoleillement qui cause une augmentation de la température dans la salle de séjour. La pompe à chaleur a délivré cinq paquets de chaleur, la nuit, au tarif réduit.

naires industriels ont pu être reprogrammés de manière adéquate et testés.

Des tests mettent en évidence les avantages de la modulation de la durée des impulsions

En comparaison avec le réglage traditionnel de la température de retour, basé sur la température extérieure (RTE), une maison familiale équipée d'une pompe à chaleur air/eau et d'une telle régulation, dans des conditions de confort comparables au niveau des locaux chauffés, a bénéficié, dans les tests, des avantages suivants :

- La pompe à chaleur a fonctionné entre 60 et 70 % du temps durant la période de tarif réduit, contre seulement 43 % avec le RTE.
- La durée de fonctionnement à charge partielle est prolongée : 0,5 à 1,5 heures.

effectués sur les régulateurs modulant la durée des impulsions, peuvent servir ici d'exemples.

- Mise à profit de sources de chaleur plus chaudes, notamment de systèmes de stockage applicables à des sources de chaleur. Des recherches sur le préchauffage au travers de tubes enterrés ou de couches poreuses de gravier ont d'ores et déjà été effectuées.
- Comblement des lacunes dans la connaissance des fluides de travail ménageant l'environnement. Le dioxyde de carbone (CO_2), un fluide de travail naturel, est très prometteur pour ce qui concerne les cycles surcritiques de pompe à chaleur utilisés dans les applications où l'élévation de température est importante, telle la préparation d'eau chaude sanitaire (de 10 à 60 °C).

Actuellement, l'utilisation de l'ammoniac (NH_3) – le fluide de travail habituel dans les machines frigorifiques et les pompes à chaleur de grande taille – est également étudiée en tant qu'alternative pour les petites installations.

- Adaptation optimale des pompes à chaleur aux exigences de constructions diverses (ancienne, nouvelle, standard Minergie, etc.).

À plus long terme, il y aura lieu de mettre l'accent sur une optimisation de l'exergie et sur le développement de solutions pour l'intégration des systèmes de pompes à chaleur aux bâtiments, qui soient adaptées globalement du point de vue de la gestion de l'énergie. Nous pensons ici au couplage avec des composants utilisés en énergie solaire, au recours

au stockage saisonnier de la chaleur et à l'entraînement des pompes à chaleur avec de l'électricité provenant de combustibles renouvelables, par le biais d'un couplage chaleur-force indirect. En Suisse également, on s'efforce d'augmenter le nombre des pompes à chaleur fabriquées, afin d'abaisser les coûts de production.

De plus amples informations :

www.waermepumpe.ch/fe

- Pendant les périodes d'arrêt de la pompe à chaleur, la pompe de circulation a pu être déclenchée, diminuant ainsi le besoin en énergie auxiliaire.
- La mise à profit des périodes à tarif réduit est optimale, sans surdimensionnement de la pompe à chaleur.

Comparaison des régulateurs sur un banc d'essai spécial

Suite aux tests en conditions réelles qui ont fourni des résultats tout à fait positifs pour les deux régulateurs, chaque stratégie de régulation a été comparée dans des conditions de fourniture de chaleur au bâtiment absolument identiques (variables dans le temps), sur un banc d'essai pour pompes à chaleur saumure-eau. Ce dernier a été développé et réalisé lors d'un précédent projet de recherche de l'OFEN. Par un réglage approprié du banc d'essai, les chercheurs ont simulé aussi bien l'inertie thermique d'une maison donnée (fictive) que le régime transitoire d'un circuit avec saumure (fictif) censé alimenter la pompe à chaleur étudiée.



Banc d'essai pour pompes à chaleur saumure-eau à l'Institut des techniques de mesure et de régulation (IMRT) de l'EPF de Zurich. C'est ici qu'ont lieu les mesures destinées à comparer les stratégies de modulation de la durée des impulsions.

Rapport final exhaustif de ce projet de recherche :

H. R. Gabathuler, H. Mayer, E. Shafai, R. Wimmer : *Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpen, Phase 2*, OFEN 2002.

www.waermepumpe.ch/fe (Berichte)

www.energieforschung.ch

(publications ENET)

Auteur : Martin Zogg

Le nouveau Centre d'essai des pompes à chaleur

Le nouveau Centre d'essai des pompes à chaleur a été mis en service depuis peu. La double chambre climatisée est prête pour les essais.



Depuis le 1^{er} octobre 2003, le nouveau Centre d'essai des pompes à chaleur de la *Interstaatliche Hochschule für Technik (NTB)* à Buchs (SG) est opérationnel. Avec l'appui de l'OFEN et du GSP, la double chambre climatisée a été transformée et complétée par les équipements nécessaires aux essais. Ce nouveau centre remplace l'ancien, situé à Winterthour-Töss, qui a testé pendant dix ans avec succès un grand nombre de pompes à chaleur du marché.

Renseignements :

www.wpz-buchs.ch

La sécurité : une obligation !

La sécurité tient une place essentielle tant dans la recherche que dans l'exploitation des centrales nucléaires

En Suisse, tout ce qui touche à la sécurité de l'exploitation des centrales nucléaires, comme à celle de la radioprotection et de la gestion des déchets radioactifs, est de la première importance. Divers projets de recherche et de développement de l'Institut Paul Scherrer (PSI) traitent de ces questions. La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN), placée sous l'autorité de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), s'assure que, grâce à ses activités de surveillance, les entreprises et les installations qui utilisent du matériel radioactif le fassent en toute sécurité. Plusieurs représentants de ces organisations prennent position dans les pages qui suivent :

- Christophe de Reyff (OFEN)
- Sabyasachi Chakraborty (DNS)
- Marianne Zünd (DNS)
- J. Peter Hosemann (PSI)
- Konstantin Foskolos (PSI)
- Jörg Hadermann (PSI).

Quelle est la fonction de l'OFEN dans le secteur de l'énergie nucléaire ?

Christophe de Reyff : D'une part, nous nous occupons de la législation et des procédures d'autorisation, d'autre part, notre Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) surveille ces installations en Suisse. Nous nous occupons

donc de sécurité. La section "Énergie nucléaire" de l'OFEN est chargée de faire appliquer les obligations de la Suisse en rapport avec le cycle du combustible nucléaire et de protéger les centrales et les matériaux nucléaires contre toute tentative de sabotage; elle est donc responsable de la protection. De plus, cette section est l'instance compétente pour le contrôle de l'exporta-

Liens Internet

Information sur l'énergie nucléaire auprès de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

www.suisse-energie.ch

(→ Faits → Agents et techniques énergétiques)

DSN : Division principale de la sécurité des installations nucléaires (nombreux liens)

www.hsk.psi.ch

L'Institut Paul Scherrer dans son ensemble

www.psi.ch

Le domaine de recherche Énergie et sécurité nucléaires (NES) du PSI

<http://nes.web.psi.ch>



Le réacteur de recherche PROTEUS de PSI est utilisé pour étudier expérimentalement des échantillons de combustible.

(Source : Rapport annuel 2002 de la DSN)

tion des matériaux nucléaires. Elle élabore également les bases nécessaires à la gestion des déchets nucléaires. Enfin, elle coordonne les travaux qui garantiront le financement du démantèlement et de la gestion des déchets.

Quelles sont les tâches de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire de la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) ?

Sabyasachi Chakraborty : En notre qualité d'autorité de surveillance de la Confédération et en vertu de la loi sur l'énergie nucléaire, nos 90 collaborateurs évaluent la sécurité des installations nucléaires en se basant sur l'état des connaissances scienti-

fiques et techniques. Notre programme de recherche réglementaire en sécurité nucléaire, qui est aussi l'un des programmes de la recherche menée par l'Administration fédérale pour ses propres besoins (*"Resortforschung"*), joue ici un rôle important ; c'est dans ce cadre que nous attribuons les mandats de recherche, projet par projet.

À l'occasion du vote sur les initiatives antinucléaires de mai dernier, la majorité du peuple suisse s'est clairement prononcée pour le maintien du "panier" énergétique actuel et, par conséquent, de l'énergie nucléaire qui en fait partie. Du point de vue de la recherche, quels sont les arguments qui soutiennent cette technologie ?

J. Peter Hosemann : En matière d'énergie nucléaire, il existe dans les pays de l'OCDE une culture de la sécurité développée sur une base très large et constamment mise à

**"La sécurité des centrales nucléaires et la protection des matériaux nucléaires sont au centre de nos préoccupations."
Christophe de Reyff (OFEN)**

jour. C'est un sujet sur lequel nous travaillons tous les jours.

Konstantin Foskolos : D'un point de vue technologique, l'énergie nucléaire contribue à la sauvegarde du climat, car elle permet de produire de l'électricité sans générer de CO₂. On sait que la Suisse produit son courant électrique en n'émettant que très peu de CO₂.

Marianne Zünd : Nous mettons à profit de nouveaux modèles de la sécurité et des développements techniques pouvant être intégrés aux installations existantes, maintenant ou ultérieurement. Nous entretenons pour cela des contacts étroits avec des organisations et instituts de recherche internationaux. Cela augmente la fiabilité de la technologie dans son ensemble.

Vraisemblablement, les centrales nucléaires actuelles seront exploitées encore longtemps, si bien que les questions soulevées par leur vieillissement devien-

La DSN, division principale de l'OFEN

La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN), à Villigen, surveille les installations nucléaires de la Suisse et élabore les expertises nécessaires, tant du point de vue de la sécurité nucléaire que de la radioprotection. Elle est également compétente en ce qui concerne les préparatifs pour le stockage définitif des déchets radioactifs et pour le transport de ces derniers. La DSN compte environ 90 collaborateurs et comprend trois divisions :

- SAVE, la division Analyses de sécurité, technique des procédés et électrotechnique
- BESA, la division Sécurité en exploitation et gestion de la surveillance
- SANO, la division Radioprotection et plans d'urgence.

Le Service des affaires internationales et recherche en matière de sécurité (SFI) suit les programmes de recherche sur la sécurité nucléaire, au niveau mondial. De plus, il entretient des contacts intensifs avec les autorités de surveillance des autres pays et avec les organisations internationales, comme l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à Vienne.

D'autres informations détaillées :
www.hsk.psi.ch



Christophe de Reyff, Office fédéral de l'énergie (OFEN)

nent pressantes. Quel est l'impact de ces considérations sur la recherche en matière de sécurité ?

Konstantin Foskolos : En réalité, les premières centrales ont été conçues pour fonctionner pendant une quarantaine d'années. Mais, étant donné leur caractère de nouveauté, à l'époque, ces centrales ont été construites avec de grandes marges de sécurité. Par la suite, leurs installations ont été continuellement complétées par de nouveaux systèmes, afin de prolonger leur durée de vie. La recherche doit donc étudier le vieillissement, tant au niveau de la conception que de la technique des matériaux.

J. Peter Hosemann : Il s'agit là plus particulièrement d'évaluer la sécurité des composants, en tenant compte des phénomènes de vieillissement, comme la fatigue, la fra-

"Notre génération admet sa responsabilité fondamentale."

Jörg Hadermann (PSI)

gilisation due à l'irradiation par les neutrons et l'apparition de microfissures dues à la corrosion.

Sabyasachi Chakraborty : Signalons ici le vaste projet RIKORR mené conjointement par le PSI et la DSN, durant lequel ont

Ce faisant, les différents niveaux des dangers potentiels sont-ils aussi pris en considération ?

J. Peter Hosemann : Bien sûr ! Par exemple, le rapport existant entre les phénomènes d'écoulement et les contraintes exercées sur les matériaux est important, tant en fonctionnement normal qu'en cas de pannes et même d'accidents graves.

Sabyasachi Chakraborty : Aujourd'hui, il est possible de parler ouvertement de tous les dangers avec les exploitants des centrales et d'effectuer les analyses appropriées, même pour des situations très hypothétiques.

Konstantin Foskolos : Une priorité de recherche supplémentaire, en rapport avec les questions de sécurité, concerne les nou-



Jörg Hadermann (à gauche) et Konstantin Foskolos, Institut Paul Scherrer (PSI)

été réalisés divers essais sur ces microfissures provoquées par des vibrations et des dilatations. Nous sommes en train de compléter la base de données relative à la propagation des fissures dans les soudures des cuves de réacteur.

J. Peter Hosemann : Auparavant, lorsqu'on étudiait la question de la fatigue, on s'intéressait surtout aux vibrations de fréquence élevée. Aujourd'hui, on se rend compte que de meilleures méthodes de surveillance sont nécessaires pour les charges thermomécaniques de basse fréquence.

veaux réacteurs à haute température, ainsi que les matériaux les constituant. La température dans le circuit d'hélium dépasse 1000 °C et nécessite l'utilisation de matériaux tels que la céramique et les superalliages. Leur développement avance rapide-

"Nous devons présenter des perspectives intéressantes aux jeunes scientifiques."
Konstantin Foskolos (PSI)



Recherche : NES 2005

Le Département de recherche "Énergie et sécurité nucléaires (NES)" de l'Institut Paul Scherrer (PSI), à Villigen, comprend quatre laboratoires :

- Physique des réacteurs et comportement des systèmes
- Thermohydraulique
- Comportement des matériaux
- Sécurité des dépôts définitifs.

L'Objectif 2005 du NES met l'accent sur la qualité et l'innovation scientifiques, encourage la formation de réseaux à l'intérieur du PSI et confirme le potentiel de participations à des programmes de recherche externes (par exemple, au 6^e Programme-cadre de l'UE et au GIF, le *Generation IV International Forum*). La formation de professionnels qualifiés reste un aspect important. Soutenir les efforts faits par les exploitants des centrales suisses pour assurer la sécurité et étudier les moyens propres à garantir la sécurité du stockage définitif sont les tâches prioritaires du PSI auxquelles 70 à 80 % des ressources de l'Institut disponibles pour la recherche en énergie nucléaire doivent continuer à être consacrées.

<http://nes.web.psi.ch>

ment : un réacteur de ce type devrait entrer en service en 2015 déjà dans l'Idaho (USA). On va en couler les fondations dans quatre ans environ.

La pression exercée sur les coûts par la libéralisation du marché de l'électricité se fait-elle de plus en plus sentir sur la recherche en matière de sécurité ?

J. Peter Hosemann : L'exploitation d'une centrale est la plus avantageuse lorsqu'il n'y a pas d'incident. C'est pourquoi la re-

L'AGNEB, le Groupe de travail pour la gestion des déchets

Le Groupe de travail pour la gestion des déchets nucléaires (AGNEB), créé en 1978 par le Conseil fédéral, vient de publier son 25^e rapport d'activité. Ce groupe suit les travaux concernant la gestion des déchets nucléaires en Suisse et élabore des prises de position à l'attention du Conseil fédéral. L'AGNEB est composé de représentants des offices fédéraux concernés par les problèmes inhérents à la gestion des déchets et de représentants des instituts fédéraux apportant une contribution essentielle aux travaux de recherche requis par cette problématique.

Le nouveau rapport d'activité traite des questions de calendrier et d'inventaire soulevées par la gestion des différentes catégories de déchets, en fonction de leur radioactivité. D'autre part, il donne une vue d'ensemble des groupements qui sont actifs dans ce secteur, ainsi que des indications sur les commissions fédérales qui s'occupent des domaines de la sécurité, de la radioprotection et de la gestion des déchets.

Le 25^e rapport de l'AGNEB peut être commandé auprès de l'OFEN, case postale, CH-3003 Berne, ou à l'adresse suivante : monika.jost@bfe.admin.ch

cherche est nécessaire. À part les durées d'exploitation plus longues auxquelles nous aspirons, la tendance est à une combustion plus complète du combustible nucléaire, et, par conséquent, à un temps de séjour plus long des éléments de combustible dans le réacteur. Ce temps de séjour est, par exemple, doublé. Nous travaillons déjà à de grands projets internationaux afin de mettre au point des matériaux appropriés, en collaboration avec des fabricants et des exploitants.

Jörg Hadermann : Mais les conséquences se font sentir ailleurs encore : désormais, il s'agit de savoir si les connaissances actuelles en matière de comportement durant le stockage s'appliquent aussi à ces éléments

de combustible irradiés plus longtemps. Cette question doit être résolue pour tous les concepts de stockage, intermédiaire ou définitif.

Marianne Zünd : La question de l'influence de la pression économique sur l'exploitation des centrales nucléaires a déjà été discutée il y a des années. Nous constatons aujourd'hui que les répercussions sont moindres que ce que nous craignons, et que la culture de la sécurité est considérée – à juste titre – comme un facteur central. Par ailleurs, nous avons un deuxième organe de contrôle qui joue un rôle dans ce contexte : le public et sa grande sensibilité.

Christophe de Reyff : À côté des projets relevant de la technologie, l'OFEN soutient aussi la recherche sur les fondements de l'économie énergétique dans le secteur nucléaire/électricité, afin que ces questions soient abordées au niveau fondamental.

La "recherche réglementaire en sécurité nucléaire" de la DSN fait partie du nouveau Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2004-2007 de la CORE. Elle y est surtout mise en rapport avec le démantèlement des centrales et la gestion des déchets. Quelles démarches seront entreprises à ce sujet ?

Sabyasachi Chakraborty : La désaffectation des centrales ne nous semble pas nécessiter beaucoup de recherches. Toutefois, nous suivons ces travaux à l'échelle

en cours de réalisation. En Suisse, alors que le dépôt intermédiaire "Zwilag" offre une capacité suffisante pour les années à venir, les bases pour le dépôt définitif des déchets hautement radioactifs et des éléments de combustible sont en cours d'élaboration. Les couches d'argile à opalines nous intéressent particulièrement. Un projet de dépôt à 600 m de profondeur, situé dans le vignoble zurichois, a été déposé auprès de la DSN. Il est en principe admis que la

**"Les résultats de recherches effectuées à l'étranger complètent nos projets."
Marianne Zünd (DSN)**

génération qui utilise l'énergie doit aussi assumer la gestion des déchets produits. Mais pratiquement, il faut que la Confédération prenne plus de responsabilités.



J. Peter Hosemann, Institut Paul Scherrer (PSI)

**"Des systèmes passifs améliorés augmentent les délais de carence nécessaires à la prise de décisions."
J. Peter Hosemann (PSI)**

internationale. La cessation d'exploitation est déjà effective pour certains sites d'Europe de l'Est. Divers spécialistes de la DSN y travaillent.

Jörg Hadermann : La situation est plus complexe en ce qui concerne le stockage définitif. Dans certains pays, il existe déjà des dépôts pour les déchets nucléaires faiblement et moyennement radioactifs, alors que pour les déchets hautement radioactifs, seuls la Finlande et les USA ont des projets

Konstantin Foskolos : Au PSI, des chercheurs étudient les différentes barrières techniques et les diverses manières de concevoir les dépôts définitifs. Nous voulons également mieux comprendre le phénomène de rétention des radionucléides afin de pouvoir développer la technique de manière ciblée.

Comment sont réparties les compétences dans le domaine de la recherche en matière de sécurité en Suisse ?

Christophe de Reyff : La CORE définit les objectifs et le cadre financier des crédits

“La désaffectation de centrales a déjà commencé en Europe de l’Est.”

Sabyasachi Chakraborty (DSN)

publics dans le *Plan directeur de la recherche énergétique*, qu’elle met régulièrement à jour. Elle consulte les organismes nationaux concernés et tient compte des activités internationales.

Sabyasachi Chakraborty : La planification des projets de recherche se fait sur la

conséquence. Lorsqu’un exploitant soumet une demande à la DSN, celle-ci effectue, avec le PSI, par exemple, une recherche dans la littérature existant au niveau international et compare les travaux. Si aucune réponse satisfaisante n’est trouvée, un nouveau projet est lancé.

Marianne Zünd : En outre, nous pouvons tirer profit des expériences faites en cours d’exploitation ou des résultats de recherches effectuées à l’étranger. Nous pouvons aussi adopter des dispositions en matière de sécurité recommandées par l’Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) de Vienne.

Jörg Hadermann : D’un côté, le PSI intervient en tant que mandataire et de l’autre, il lance lui-même des travaux. Mentionnons ici, en particulier, le projet ARTIST, pour lequel nous avons obtenu la participation de onze partenaires internationaux. Ce projet examine la façon dont les produits de fission sont retenus à l’intérieur du circuit ou

CENS : La sécurité nucléaire en Europe de l’Est

Le CENS – *Center for Nuclear Safety* – a été créé à Bratislava, en 2002. C’est un projet de la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN), qui est financé par la Direction du développement et de la coopération (DDC) et qui est réalisé par des partenaires internationaux. Il vise à améliorer la sécurité des installations nucléaires dans les pays d’Europe de l’Est et à élever les compétences professionnelles nécessaires à la surveillance. Ses activités ciblées s’adressent aux professionnels de ces pays : cours de formation, conférences et réunions d’information. L’échange entre experts et la promotion d’une “culture de la sécurité” revêtent une importance particulière pour Sabyasachi Chakraborty (DSN), président du CENS.

www.censee.org



Marianne Zünd, Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN)



Sabyasachi Chakraborty, Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN)

base de consensus entre les exploitants des centrales, la DSN et le PSI. Il s’agit donc d’un échange entre ces trois institutions, qui, simultanément, entretiennent aussi des relations avec les réseaux internationaux. Si l’une ou l’autre de ces organisations constate qu’une intervention est nécessaire, des projets sont formulés et concrétisés en

s’y déposent lors de la rupture d’une conduite dans un générateur de vapeur.

À côté des projets internationaux visant à améliorer la sécurité, le PSI participe aussi à des projets relatifs à de nouveaux concepts de réacteur. Quelle est votre contribution ?

J. Peter Hosemann : Notre participation à des projets internationaux permet de créer des réseaux qui favorisent l’échange de connaissances techniques, d’expériences et d’informations relatives à la sécurité. La plupart de nos projets font partie du 5^e Programme cadre de l’Union Européenne, dans son volet Euratom.

Konstantin Foskolos : Notre programme de recherche est défini sur la base de nos besoins nationaux, des compétences du PSI et en tenant compte des possibilités d’échanger des expériences. En ce qui concerne les travaux sur de nouveaux concepts de réacteurs, ils s’articulent principalement autour de notre participation au GIF (*Generation IV International Forum*), organisme dont c’est justement l’objectif ; nous en sommes aussi membre à part entière. La conception de réacteurs à spectres de neutrons rapides y joue un rôle fondamental, car ce système permettra une fission plus efficace du plutonium et des actinides mineurs. Ce concept va dans le sens d’un cycle fermé du combustible nucléaire, d’une économie des ressources et d’une réduction de la quantité de déchets produite.

Vos recherches comprennent les aspects non seulement techniques, mais aussi hu-

Historique de la surveillance des installations nucléaires

C'est à partir du milieu des années 50 que l'énergie atomique prit son essor, de même que les activités de surveillance qui lui sont liées. Au début de l'année 1956, le Conseil fédéral nommait Otto Zipfel au poste nouvellement créé de Délégué à l'énergie atomique. Le monde de la politique, de l'économie énergétique, de la technique et des sciences était alors en pleine effervescence. Paul Scherrer, expert en physique nucléaire, mettait sur pied la Réacteur SA, une organisation pour le développement de l'énergie nucléaire en Suisse qui bénéficiait d'un large consensus. En 1957 déjà, débutait la construction du réacteur expérimental Diorit à Würenlingen. Au même moment était fondée l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à Vienne. C'est en 1957

également qu'étaient élaborées les bases juridiques qui devaient reposer sur un article spécifique de la Constitution.

Le deuxième Délégué du Conseil fédéral (1959–60) a été Jakob Burckhardt. Le Conseil fédéral nomma une commission pour l'étude des questions relatives à l'énergie atomique, commission qui dut finalement surveiller la construction, l'exploitation et les modifications des installations et effectuer des inspections périodiques. Depuis 1960, ce comité est appelé "Commission fédérale de la sécurité des installations nucléaires (CSA)". En 1962, la commission supervisa la construction de la centrale nucléaire expérimentale à Lucens, et en 1964, elle prépara l'octroi du premier permis de construire de

"Beznau 1", qui allait accueillir un réacteur américain. L'autorité de surveillance existante fut élargie. Depuis lors, des procédures d'autorisation de construire à plusieurs niveaux ont été introduites pour les centrales nucléaires.

De 1961 à 1969, Urs Hochstrasser fut le troisième Délégué du Conseil fédéral. L'accident survenu dans le réacteur expérimental de Lucens, au début de 1969, arrêta définitivement le développement d'un réacteur suisse. L'autorité de surveillance gagna en importance à la suite de cet événement. La "Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN)" entra en fonction en 1983.

Quels sont les défis de l'exploitation d'une centrale nucléaire. Quels projets poursuivez-vous en ce moment ?

Sabyasachi Chakraborty : On en revient toujours au même point : la fiabilité humaine, tant dans la construction que dans l'exploitation d'une installation. Les analyses de risque apportent une réponse. Mais nous évaluons aussi les recherches effectuées dans le réacteur d'essai de Halden (Norvège). Le rapport entre l'être humain et la machine y est étudié d'un point de vue pratique, entre autres avec des simulateurs. De plus, de jeunes scientifiques, dont certains viennent du PSI ou de la DSN, sont formés sur ce site.

J. Peter Hosemann : Nous parlons ici de culture vécue de la sécurité. Les simulateurs permettent, par exemple, d'optimiser des processus ergonomiques et d'appliquer les adaptations aux interrupteurs, aux affichages, à l'acoustique, etc. En ce qui concerne les situations de stress, les délais de carence vont être augmentés afin de prolonger les temps de réaction nécessaires à la prise d'une décision. Cela peut être réalisé à l'aide de systèmes passifs améliorés, comme ceux que nous testons actuellement dans l'installation PANDA.

Le besoin d'une relève spécialisée dans le domaine de l'exploitation de l'énergie nucléaire a déjà été signalé. Que faut-il entreprendre dans ce sens ? Dans la recherche, quelles sont les possibilités et les chances offertes aux jeunes diplômés universitaires ?

Konstantin Foskolos : Nous devons pouvoir montrer des perspectives et être convaincus des potentialités de cette technique.

J. Peter Hosemann : Au PSI, nous offrons aux doctorants un vaste choix de possibilités de recherche. Mais pour les projets, il est plutôt difficile de trouver des collaborateurs ayant de solides connaissances et auxquels nous pourrions confier rapidement des tâches de direction de projet.

Quels contacts internationaux l'OFEN entretient-il ?

Christophe de Reyff : Le service "Affaires internationales" de l'OFEN fait office de liaison entre la politique énergétique suisse et les organisations internationales spécialisées. Il représente la Suisse dans les comités directeurs des deux organisations de l'OCDE (Agence internationale de l'énergie, AIE, et Agence de l'énergie nucléaire, AEN, toutes deux à Paris) et auprès de

l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de l'ONU, à Vienne. De plus, nos collaborateurs participent aux négociations multilatérales, en particulier à celles qui ont trait à la non-prolifération des armes nucléaires.

Que pensez-vous du développement à long terme de la fission nucléaire ?

Konstantin Foskolos : La courbe de consommation d'énergie de la Suisse présente toujours une tendance ascendante. Cette constatation est encore plus évidente au niveau mondial. Les besoins en énergie électrique influencent l'évolution technologique que nous avons présentée.

J. Peter Hosemann : La recherche en matière de sécurité et de stockage définitif fait partie de nos compétences de base au PSI ; la reconnaissance de ce fait par le milieu international doit se confirmer. Si nous garantissons la sécurité de la fission, les projets de développement de cette technique avanceront rapidement.

Sabyasachi Chakraborty : La collaboration constructive de tous les intervenants a fait ses preuves et nous continuerons à prendre notre tâche de surveillance très au sérieux.

Physique des réacteurs et sécurité

À côté des aspects techniques, les chercheurs s'intéressent aux phénomènes humains

Trois des quatre laboratoires du Département de recherche "Énergie et sûreté nucléaires (NES)" du PSI se consacrent à la sécurité nucléaire. Les chercheurs y étudient, d'une part, le comportement des systèmes en cas d'incident et, d'autre part, celui de matériaux et de composants qui sont utilisés pendant des périodes de plus en plus longues.

Fondements pour l'évaluation de la sécurité des réacteurs à eau légère

Les phénomènes étudiés par le projet STARS permettent une évaluation fiable de la sécurité des réacteurs, tant pendant l'exploitation normale qu'au cours d'éventuels incidents. La neutronique est utilisée pour la description tridimensionnelle de la puissance libérée par les réactions nucléaires, la thermomécanique, pour représenter les barres de combustible, et la thermohydraulique, pour la distribution du réfrigérant.

Installations d'essai pour recherches multiples

Les projets réalisés dans l'installation PROTEUS concernent des paramètres de physique des réacteurs. On y étudie, par exemple, des éléments de combustible pour les réacteurs suisses à eau légère. Il s'agit surtout de contrôler l'exactitude des logiciels de calcul employés pour la conception du cœur du réacteur. La prolongation du cycle du combustible (combustion plus complète) et l'augmentation de la puissance du réacteur posent des exigences particulières. De plus, des investigations sont effectuées sur le combustible appelé *Inert-Matrix-Fuel* (IMF), qui ne contient pas d'uranium et qui représente une technologie potentiellement intéressante pour la combustion du plutonium.

Quant à l'installation modulaire PANDA de grandes dimensions, elle permet de faire des expériences de thermique appliquée. Actuellement, c'est la technique du refroidissement passif qui y est étudiée, avec, pour objectifs, la validation et l'améliora-

comprendre cette évolution des microstructures dans un matériau, les chercheurs ont recours à des microscopes électroniques à balayage et à transmission (MEB, MET), ainsi qu'à des faisceaux de neutrons et de rayons X (SINQ, SLS), donc aux principales installations d'expérimentation de l'Institut Paul Scherrer. Vu leur importance croissante dans les nouveaux concepts de réacteurs, les matériaux destinés aux hautes températures (métaux, céramiques, matériaux composites) sont testés après avoir été exposés aux radiations et avoir subi des contraintes thermiques et mécaniques.



Le Laboratoire d'étude des matériaux du PSI élabore les bases de la fabrication de nouveaux combustibles.

tion des modèles de calcul existants, de manière à tenir compte des effets tridimensionnels.

Comprendre ce qui se passe dans les microstructures

En ce qui concerne le comportement des matériaux, l'intérêt se porte autant sur les phénomènes liés au vieillissement des composants du circuit primaire, soumis à des pressions élevées, que sur les phénomènes de corrosion et de dégradation. Pour mieux

HRA : sur les traces de l'homme

Le projet HRA (*Human Reliability Analysis*) examine la fiabilité humaine dans l'exploitation des centrales nucléaires. On étudie ici l'interaction entre le comportement des systèmes techniques et les réactions que ceux-ci induisent, au cours d'un incident, chez des individus isolés ou sur un groupe d'opérateurs. Le PSI a développé une méthode pour identifier les erreurs de décision portant à conséquence. Celle-ci ne se base pas uniquement sur l'analyse des tâches de manière traditionnelle, mais examine aussi systématiquement – selon des scénarios différents – les diverses conséquences possibles d'une action. Actuellement, des spécialistes travaillent à la quantification sur la base des probabilités de référence et élaborent des logiciels dynamiques de simulation dans le cadre du HRA.

Comprendre la gestion des déchets

La sécurité des dépôts définitifs passe par la connaissance approfondie des mécanismes de rétention dans la géosphère

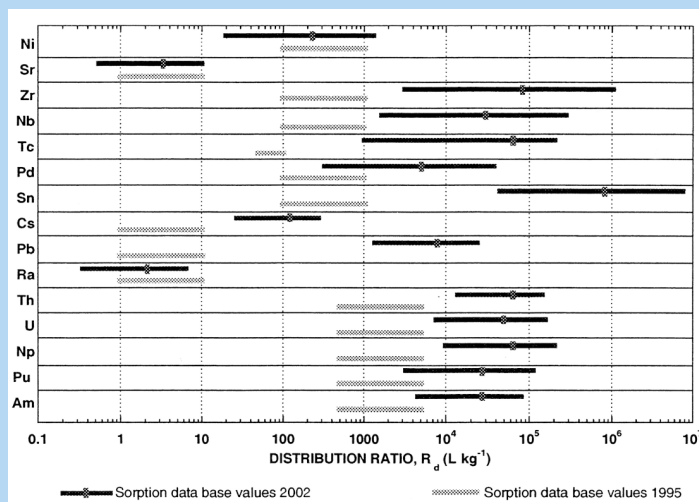
De solides connaissances en physique et en géochimie sont nécessaires pour garantir une gestion sûre des déchets nucléaires. Le Laboratoire de Gestion des déchets (LES) du Département de recherche NES du PSI a pour objectif d'améliorer la connaissance des principaux mécanismes de rétention dans les dépôts profonds et dans la géosphère environnante. Ces travaux sont une aide précieuse pour les autorités et la CEDRA/NAGRA dans leur tâche qui consiste à éliminer de manière sûre les déchets provenant de la médecine, de l'industrie, de la recherche et de la production d'électricité. C'est dans ce but que le LES examine le comportement de matériaux radioactifs par des essais en laboratoire et sur le terrain et développe et valide les modèles théoriques qui en découlent.

Les études en laboratoire sont effectuées à très petite échelle. Par contre, dans les labo-



La spectroscopie d'absorption des rayons X est particulièrement adaptée à l'examen des structures et aux analyses des interactions de radionucléides avec les surfaces de séparation. Un nouveau dispositif d'irradiation baptisé MicroXAS est en cours d'installation sur le faisceau de la *Synchrotron Light Source* suisse (SLS) de l'Institut Paul Scherrer. Ce faisceau de rayonnement électromagnétique très précis possède une luminance (intensité) très élevée. Il devrait permettre aux chercheurs d'expliquer les mécanismes

Comparaison des constantes de distribution de la sorption dans la bentonite, déterminées expérimentalement en 1995 et 2002.



ratoires souterrains du Grimsel et du Mont Terri, l'observation du comportement migratoire d'éléments libérés peut se faire sur de grandes distances. La combinaison des caractéristiques de transport mesurées dans le terrain avec les bases géochimiques élaborées en laboratoire permet de déterminer des indices de sécurité. Des projets en cours traitent des mécanismes des réactions se produisant à la limite des phases solide et liquide, ainsi que de la transposition des résultats obtenus en laboratoire aux

sites de stockage des matériaux dans la roche profonde, difficilement accessibles à l'expérimentation. Toutes ces études fournissent des connaissances essentielles à la sécurité à long terme des dépôts géologiques profonds. Les études actuelles permettent de prévoir de manière plus fiable pour de nombreux éléments chimiques une sorption (terme général englobant absorption et adsorption) plus élevée et une solubilité moindre par rapport aux travaux antérieurs, et, par conséquent, des quantités rejetées moindres et une mobilité plus basse. Les travaux expérimentaux futurs porteront aussi sur des éléments au comportement chimique plus complexe.

MicroXAS révèle les structures les plus fines

des réactions superficielles entre les radionucléides et les roches. MicroXAS permet d'utiliser des échantillons radioactifs extrêmement petits (1 μm^2). Des impulsions lumineuses d'une durée d'une femtoseconde (10^{-15} seconde) permettent d'observer en temps réel le déroulement de réactions complexes. Pour l'instant, les premiers éléments sont en cours de montage ; le nouveau dispositif d'irradiation entrera en service en 2004.

Actuellement, les recherches mettent l'accent sur les processus de diffusion dans les roches argileuses compactes, les minéraux argileux et le ciment. Les coefficients de diffusion sont déterminés en fonction de la géométrie et de la pression de la roche, à l'aide d'échantillons d'argile à opalines. Des profils isotopiques mesurés dans cette roche et dans les couches avoisinantes prouvent que depuis 500'000 ans, seuls les processus de diffusion y ont été déterminants. Il a pu également être démontré que la pression due à une éventuelle future formation de glaciers n'aura guère d'influence sur la mobilité dans les roches argileuses.

La fusion arrive

Des recherches menées au niveau international ouvrent la voie à un réacteur expérimental

Dans le futur, la fusion nucléaire contrôlée pourrait représenter une source importante d'énergie. C'est pour cette raison que la Suisse effectue aussi des recherches dans ce domaine. Minh Quang Tran, directeur du Centre de recherches en physique des plasmas (CRPP) de l'EPF de Lausanne, nous parle de ces activités. Le 24 juin, il vient d'être élu responsable de l'Accord européen pour le développement de la fusion nucléaire (*European Fusion Development Agreement* – EFDA), le contrat cadre liant l'EURATOM à ses partenaires.

Pourquoi la fusion est-elle nécessaire ?

Minh Quang Tran : L'énergie est, et restera, l'un des plus importants défis de l'avenir. Elle détermine la poursuite du développement global et exerce une influence sur la croissance démographique. Les prévisions actuelles pour la fin de ce siècle varient entre 10 et 12 milliards d'êtres humains, contre 6 milliards actuellement. Ne serait-ce qu'à cause de cette croissance, il faudra produire plus d'énergie.

Quels sont les principaux avantages de la fusion ?

Les combustibles utilisés dans les réacteurs à fusion existent en quantité quasi illimitée. Le deutérium (D) et le lithium (Li) se trouvent dans l'eau, dans la mer et dans la croûte terrestre. La fusion elle-même ne produit ni gaz à effet de serre, ni déchets radioactifs. Seul le matériau constituant la structure du réacteur devient légèrement radioactif suite au bombardement par les neutrons. Avec le lithium, on produit du tritium (T) dans le réacteur. Les neutrons libérés par la fusion du deutérium et du tritium produisent de l'énergie cinétique qui est ensuite transformée en chaleur et peut être utilisée pour actionner des turbines et des générateurs traditionnels. Ainsi le réacteur à fusion convient-il, lui aussi, à la production d'électricité en continu.

Existe-t-il d'autres concepts en dehors de celui de fusion thermonucléaire ?

Pour provoquer la réaction de fusion, il faut surmonter les barrières qui séparent les noyaux à charge positive du deutérium et du tritium. On peut le faire en transmettant beaucoup d'énergie cinétique à ces

noyaux, en les chauffant. Il faut créer une température d'environ 100 millions de degrés Celsius pour permettre la fusion des noyaux de deutérium et de tritium. C'est cette température élevée qui est à l'origine du terme "fusion thermonucléaire". Il existe un autre concept, peu étudié en Europe, qui prévoit la fusion des noyaux par échauffement d'un mélange deutérium-tritium sous une pression extrêmement élevée. On parle alors de fusion inertielle.



Minh Quang Tran : Nous voulons contribuer de façon significative à la construction d'ITER.



Au CRPP de l'EPF de Lausanne, la recherche en matière de fusion se poursuit avec le Tokamak TCV (Tokamak à configuration variable).

La technologie de la fusion présente-t-elle des dangers potentiels (fonctionnement, environnement, santé) ?

De nombreuses études ont été consacrées à la sécurité, que ce soit dans le cadre de la construction d'ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), qui est un projet international de réacteur à fusion d'une puissance de 500 MW, ou dans le cadre de travaux conceptuels relatifs à d'autres centrales électriques. Aucune de ces études n'a découvert de danger lié à la fusion. La sécurité du réacteur à fusion est aussi basée sur le fait que les quantités de combustible présentes dans le réacteur sont,

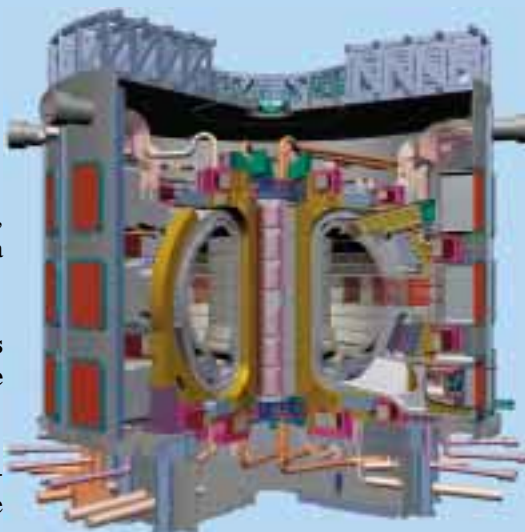
à tout instant, limitées au strict minimum, juste ce qui est nécessaire à l'entretien de la réaction.

Quelles sont les points forts des centres suisses de recherche sur la fusion, comme le CRPP et l'Université de Bâle ?

Au sein du programme Fusion d'EURATOM, la Suisse se place en cinquième position en ce qui concerne le budget. Cela reflète la qualité et la force de notre recherche qui est définie par l'Association EURATOM-Confédération Suisse, à laquelle appartiennent le CRPP et l'Université de Bâle (le Laboratoire du professeur Peter Oelhafen). La recherche suisse dans le domaine de la fusion bénéficie d'une infrastructure unique en son genre, qui comprend le Tokamak TCV du CRPP, ainsi que l'unité d'essai SULTAN et le SINQ, au PSI, pour l'irradiation de matériaux. En nous basant sur ces installations modernes, nous avons développé une stratégie qui repose sur l'excellence dans les domaines clés choisis en physique et en technologie de la fusion. Ce sont la physique du tokamak et la théorie et la simulation de l'équilibre, de la stabilité et de l'instabilité des plasmas servant à la fusion. Les interactions entre le plasma et la paroi du réacteur sont étudiées en collaboration avec l'Université de Bâle.

Quelle est la contribution du CRPP à l'étude du projet "ITER" ?

Notre stratégie à long terme repose sur deux éléments. Nous voulons d'abord contribuer de façon significative à la construction d'ITER, puis nous assurer de pouvoir jouer un rôle important dans la recherche scientifique. Ce deuxième aspect repose sur la continuité d'un programme national de physique et de technologie qui assure le progrès de la science et la formation de jeunes scientifiques qui réaliseront la mise en œuvre de la fusion. Le CRPP est impliqué dans de nombreuses activités relatives à la préparation de la construction d'ITER, en fonction des points forts de notre expérience.



ITER, le réacteur thermonucléaire expérimental international.

Que pensez-vous de la coopération et de la coordination internationales ?

La Suisse est associée à EURATOM depuis 1978, ce qui nous a permis de participer à ses programmes. Nous faisons partie des "pères fondateurs" de JET (*Joint European Torus*) et avons continuellement joué un rôle actif. Depuis la signature par la Suisse de l'Accord européen pour le développement de la fusion nucléaire (EFDA), les scientifiques suisses utilisent l'installation JET pour leurs recherches et participent à tous les projets de caractère technologique pour ITER, ainsi que pour un futur réacteur de démonstration.

En résulte-t-il des missions de recherche concrètes ?

Que ce soit directement ou par le biais d'EURATOM, la Suisse a accès à tous les Accords d'exécution (*Implementing Agreements*) de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Pour l'avenir de la fusion, l'Accord le plus important sera celui qui conduira au développement du matériau utilisé et à la construction d'une installation internationale d'irradiation de celui-ci (IFMIF). Cette dernière servira à déterminer le matériau à utiliser dans le réacteur de démonstration.

Quels sont les effets collatéraux qui en découlent ?

En général, la collaboration et la coordination internationales sont déterminantes pour notre programme. Elles permettent les échanges nécessaires de scientifiques et d'informations, et nous donnent la possibi-

lité de participer à tous les programmes. Vu la durée et les coûts qu'induit la recherche en matière de fusion, la Suisse ne peut pas poursuivre sur cette voie en solitaire.

À quels défis pensez-vous qu'il faudra faire face lors de l'agrandissement, du scale-up, d'ITER ?

ITER est considéré comme un passage obligé sur le chemin qui nous conduira à la réalisation de la fusion pour la production d'électricité. Cette installation se situe entre les installations de recherche actuelles et une centrale de démonstration. Des thèmes physiques importants seront étudiés de près dans ITER, comme la question des matériaux à faible activation. Bien que des études de ce genre soient déjà en cours, seule l'application dans des conditions réalistes d'irradiation par des neutrons générés par la fusion fournira les résultats nécessaires.

Vous attendez-vous à des difficultés lorsqu'il s'agira de faire accepter ITER et la technologie de la fusion ?

Lors de l'évaluation d'un site approprié pour ITER, nous avons également étudié les réactions de la population environnante. Les résultats sont très positifs. Nous avons constaté que, même dans le cas de ces projets à long terme utilisant des technologies complexes, l'information du public sur les thèmes connexes passe la rampe et que celui-ci peut être gagné à notre cause.

Quelles seront les prestations des réacteurs de fusion ?

Il est important de souligner que la population mondiale augmente de plus en plus dans les grandes villes. Dans le futur, on prévoit que 70 à 80 % de l'humanité habitera dans des zones urbaines. C'est pourquoi l'approvisionnement de ces grandes villes en énergie électrique en ruban sera d'une grande importance. Une centrale de 1 GW, telle qu'elle figure actuellement dans les études conceptuelles, semble répondre de façon adéquate à ces besoins en énergie.

Pour plus de détails :
<http://crppwww.epfl.ch>
www.efda.org
www.iter.org

L'efficacité d'abord !

Sans énergie électrique, pas d'informatique ;
sans augmentation de l'efficacité, pas de durabilité

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

Les technologies de la communication ne se distinguent pas seulement par les appareils des utilisateurs directs, tels que téléphones portables, PC, etc. ; elles nécessitent également une abondante infrastructure. Les serveurs, routeurs et autres appareils ne sont utiles que dans la mesure où leur alimentation en électricité est garantie. Car sans énergie électrique, pas d'informatique, cela a été une nouvelle fois prouvé ces derniers mois par des pannes d'électricité en Amérique du Nord et ailleurs. Le programme de recherche "Électricité" de l'OFEN encourage des travaux dont le but est de rendre beaucoup plus efficace la nécessaire alimentation en électricité, tout en maintenant qualité et disponibilité actuelles.

Conception et exploitation optimales des locaux informatiques

Dans le cadre du projet "Refroidir efficacement des locaux TI", les connaissances techniques sont rassemblées et retravaillées dans le but de créer une aide à la conception et une documentation qui devraient être disponibles à partir de juillet 2004. Les responsables d'équipements informatiques et les maîtres d'ouvrage apprécieront surtout les aspects économiques et ceux se rapportant à la sécurité d'exploitation ; à l'intention des concepteurs CVC (chauffage, ventilation, climatisation), le nouvel outil informatique comprendra également un système facilitant les contrôles.

Éteindre le serveur

Aujourd'hui, de nombreuses petites et moyennes entreprises (PME) disposent d'une infrastructure de réseau avec des serveurs. Quelque 150'000 de ces *low-end servers* sont installés en Suisse. Si ces appareils étaient éteints (ou mis en état de *deep sleep*) pendant la nuit et les week-ends, soit pendant les périodes d'inactivité,

une économie annuelle d'électricité, pouvant aller jusqu'à 90 GWh, serait réalisée.

Plusieurs projets-pilotes ont permis d'étudier les répercussions de l'arrêt des serveurs ; les résultats sont tout à fait positifs. En conséquence, une barrette de commande avec intelligence intégrée est actuellement en développement ; elle devrait être commercialisée en 2004. Des solutions mettant en œuvre des logiciels basés sur ACPI (*Advanced Configuration and Power Management Interface*) sont également en phase d'examen.

La qualité paie

Assurer la qualité dans la conception, l'acquisition et l'entretien de systèmes d'alimentation sans interruption est certainement profitable. En vue de la création d'un label, des travaux de base ont été effectués afin de permettre la détermination de la qualité et des pertes d'énergie de ces équipements. Ces travaux sont actuellement soumis aux institutions internationales de normalisation. Des aides à la conception et d'autres documentations peuvent être téléchargées sur le site Internet du programme de recherches.

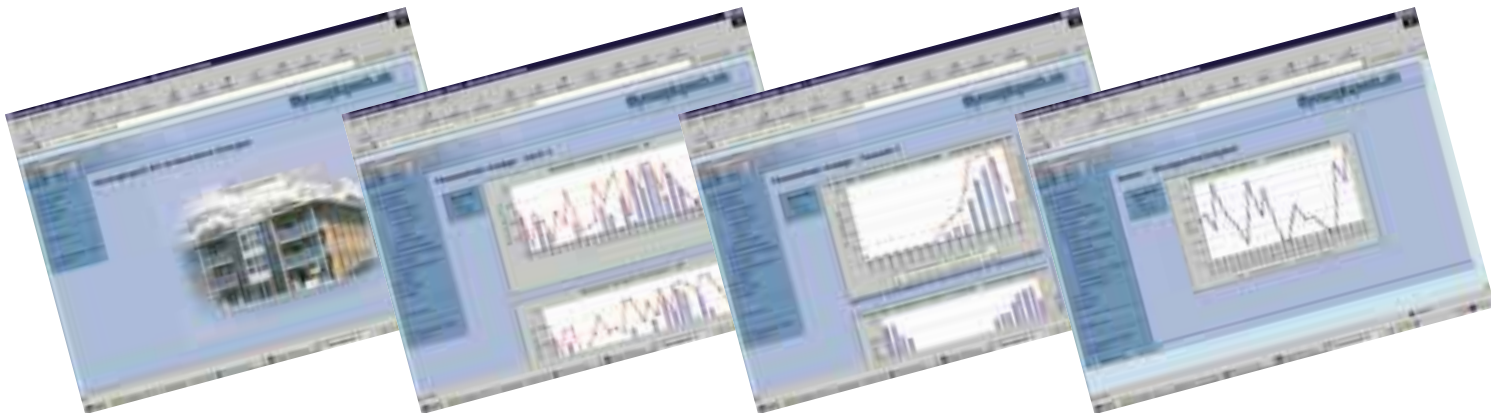
Prototype d'une barrette de commande à l'aide de laquelle les heures de service du serveur peuvent être programmées ou celui-ci peut être enclenché et déclenché en fonction de son utilisation effective.

Liens Internet

Vue d'ensemble
du programme
de recherche de
l'OFEN

www.electricity-research.ch





Libre accès

Le *Synergiepark*, lauréat de plusieurs Prix solaires, offre en direct sur Internet les mesures réalisées dans son bâtiment

Peter Schibli

Heizplan SA
CH-9473 Gams

Mark Zimmermann

Hans Bertschinger

Direction 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 "Parc synergique des énergies renouvelables (*Synergiepark*)", à Gams (SG), est un édifice de trois étages avec attique, affecté à l'habitation et à l'artisanat. Il est constitué d'une structure en béton et d'une enveloppe construite en éléments de bois, qui assure l'isolation thermique. L'indice de dépense d'énergie de 23 kWh/m².a est nettement inférieur à la valeur limite Minergie de 42 kWh/m².a. Un système global offrant diverses possibilités d'approvisionnement en énergie a été développé. Il comprend des sondes géothermiques avec une pompe à chaleur, une pompe à chaleur air-eau, des capteurs solaires et des modules photovol-

taïques. Mais comment rendre accessibles à chacun les caractéristiques de tous ces composants, de même que les données de consommation ?

Un système d'acquisition de données rend les mesures accessibles au public

Une collaboration avec l'*Interstaatliche Hochschule für Technik* de Buchs (NTB) et le soutien de l'OFEN ont permis de développer un nouveau concept d'acquisition de données. Les données en temps réel, les profils journaliers et les statistiques mensuelles et annuelles se trouvent mainte-

Situation paradisiaque à Wil

Au printemps 2003, le jardin d'enfants "Paradiesli" construit d'après le standard Minergie-P (maison passive) a été ouvert à Wil (SG). Cette construction en bois, de 193 m² de surface au sol, se caractérise par une excellente enveloppe de bâtiment, dont l'étanchéité se répercute de manière décisive sur la consommation d'énergie. Les fenêtres particulièrement grandes sont importantes pour le travail dans un jardin d'enfants ; elles présentent une valeur U de 0,8 W/m².K, cadres inclus. Un échangeur de chaleur récupère l'énergie de l'air extrait, cette chaleur étant ensuite utilisée par une pompe à chaleur air-air, pour le chauffage.



Ce jardin d'enfants, qui s'est vu attribuer le Prix solaire 2003 dans la catégorie des constructions nouvelles, utilise l'énergie solaire de manière optimale et bénéficie d'une isolation thermique très poussée.

nant sur Internet. Elles concernent les secteurs suivants :

- Électricité
- Production de chaleur
- Consommation de chaleur
- Stockage
- Température ambiante
- Météorologie.

Capter le soleil grâce à divers composants

Le photovoltaïque est appliqué, d'une part, sur le toit plat, avec des supports inclinés à 25°, et d'autre part, verticalement, sur les balcons exposés au sud. Au total, 5 kW_c ont été installés, couvrant environ 20 % des besoins en électricité.

Les capteurs solaires forment une surface plane de 27 m², inclinée à 45°, une autre, verticale, de 30 m² en façade, enfin un 3^e champ est formé de capteurs tubulaires (12 m²). Ils fournissent de l'énergie à un réservoir d'eau chaude de 7,4 m³ dont l'alimentation d'appoint se fait par les deux pompes à chaleur saumure-eau et air-eau respectivement.

Aperçu de la consommation de chaleur

Le système de mesure du *Synergipark* donne aussi des indications sur la consommation de chaleur. La présence de tubes, à côté du chauffage au sol, dans un radier

isolé du terrain sous-jacent (au rez-de-chaussée), constitue une particularité du concept de construction : ce radier complète le système de stockage de la chaleur.

Les modifications de la température dans l'appartement, le bureau et la salle d'exposition peuvent être suivies en direct sur l'écran ; on peut ainsi vérifier l'influence des conditions météorologiques. Alors que le rayonnement solaire produit de l'électricité et de la chaleur, la température intérieure ne réagit que très faiblement, grâce à l'isolation thermique poussée de l'enveloppe du bâtiment. Une station météorologique installée sur place fournit les diverses données météorologiques.

Outre la présentation *in situ* du *Synergipark* à Gams, un aperçu très réaliste de ce parc exemplaire est accessible à tous les intéressés sur Internet. Son concept énergétique a valu à ce bâtiment de recevoir plusieurs Prix solaires.

Les mesures effectuées au *Synergipark* sont affichées sur le site : www.synergipark.ch (→ Messdaten)



Comme il n'existe que très peu de bâtiments publics construits selon le standard Minergie-P en Suisse, l'OFEN et le Canton de St-Gall ont soutenu ce projet. Une campagne de mesures, actuellement en cours, enregistre la consommation d'énergie et les données climatiques à l'intérieur des locaux. Elle se terminera en juillet 2004.

Renseignements sur Minergie-P : www.minergie.ch (→ Standards)

4. SCHWEIZER HAUSBAU- UND MINERGIE-MESSE 4^{ÈME} FOIRE SUISSE MAISON ET MINERGIE

Nouvelle campagne pour le bâtiment

Le programme SuisseEnergie va lancer une campagne pour le bâtiment dans le cadre de la 4^e Foire suisse "Maison et Minergie" qui se déroulera du 27 au 30 novembre 2003 sur le site de la BEA Expo, à Berne. Cette campagne aura pour but d'informer les investisseurs, les exploitants et les utilisateurs du fait qu'environ la moitié de la

consommation totale d'énergie en Suisse est absorbée par les bâtiments et qu'il existe des possibilités réalistes permettant de la réduire. Celles-ci ne demandent qu'à être appliquées. Avec quelques points forts, comme, par

exemple, la réhabilitation des bâtiments, la campagne va insister sur des aspects particulièrement sensibles. Les sources d'énergie renouvelables et l'isolation thermique offrent des alternatives intéressantes pour de nombreux bâtiments qui utilisent aujourd'hui encore de l'énergie fossile ou électrique.

La Foire "Maison et Minergie" rassemblera environ 250 exposants qui présenteront un vaste éventail de possibilités d'optimisation énergétique et écologique au niveau des études de projets, de la construction et de la modernisation. Le standard de construction Minergie se développe avec succès : plus de 2'000 bâtiments sont déjà certifiés. De nombreux Cantons accordent des subventions pour encourager son application. Aujourd'hui, il est également possible de certifier la construction de fenêtres, de toits et de parois en tant que modules Minergie. Il en sera bientôt de même pour des composants faisant partie des installations techniques du bâtiment. Quant à Minergie-P, c'est le résultat du perfectionnement de ce concept de construction résolument tourné vers l'avenir.

Informations complémentaires :
www.energie-schweiz.ch (→ Faits → Bâtiments → Standards dans le bâtiment)
www.hausbaumesse.ch

Ne pas perdre le but de vue

Seul l'effet combiné des mesures visant à réduire la consommation de carburant sera couronné de succès

Pascal Previdoli

Chef de la section
Politique énergétique
de l'OFEN

Martin Pulfer

Responsable du
domaine Transports
à l'OFEN

Entre 1990 et 2000, la consommation de carburant dans le trafic routier a augmenté de 9,8 %. En 2001, grâce à la forte régression du "tourisme de l'essence", une diminution de 1,6 % par rapport à l'année précédente avait pu être enregistrée. Mais en 2002, le nombre des véhicules à moteur en circulation s'est accru de 2,2 %, entraînant une nouvelle augmentation de la consommation de carburant de 1,5 % (essence -2 %, diesel +3,5 %). La loi sur le CO₂ et le programme SuisseEnergie visent à réaliser, d'ici à 2010, une diminution de 8 % par rapport à 1990. Quelles mesures ont-elles d'ores et déjà été prises pour atteindre cet objectif ambitieux ?

Une convention avec *auto-suisse* et l'étiquetteEnergie pour les voitures de tourisme

La convention entre l'Association des importateurs suisses d'automobiles "*auto-suisse*" et le DETEC prévoit une réduction moyenne annuelle de 0,25 litre aux 100 km de la consommation d'essence des voitures de tourisme nouvellement immatriculées. Ainsi, celle-ci devrait passer de 8,4 à 6,4 L/100 km d'ici à 2008.

L'étiquetteEnergie pour les voitures de tourisme a été introduite au début de 2003. Utilisant une formule que le TCS applique depuis des années pour son évaluation de la consommation, elle renseigne sur l'efficacité énergétique.

Le gaz naturel comme carburant

En encourageant l'utilisation du gaz naturel comme carburant, la Suisse poursuit des objectifs similaires à ceux de l'Union Européenne. Le gaz naturel offre certains avantages qu'il s'agit de mettre à profit surtout dans les agglomérations : les émissions de CO₂ et d'autres substances nocives sont moindres.

Le biogaz, une alternative prometteuse

Le biogaz pourrait remplacer environ 80 millions de litres d'essence ; ce qui se traduirait par une réduction d'environ 200'000 tonnes des émissions de CO₂. La technologie de production existe (par exemple, le gaz de compost), le réseau de stations-service s'étend rapidement et ce carburant convient à un nombre toujours plus grand de véhicules. Cette évolution n'est cependant pas aussi rapide qu'il le



MODULTEC mis en pratique

Une réduction de la consommation de carburant peut être obtenue par la réduction du poids des véhicules routiers. Grâce à des matériaux légers, le poids d'un véhicule pourrait être réduit de 60 % par rapport à aujourd'hui. La mise en œuvre de cette technologie était l'un des objectifs du projet MODULTEC (1995 à 2002) de l'entreprise Horlacher SA, à Möhlin. Sa longue expérience dans la construction légère de voitures de ville et l'appui de l'OFEN ont permis la réalisation de véhicules de démonstration qui ont suscité un vif intérêt sur le plan international. En collaboration avec

l'industrie suisse de la sous-traitance, les connaissances acquises dans la construction d'automobiles ont été mises en pratique de manière ciblée. Ces expériences faites avec la construction modulaire sont prises aujourd'hui en compte dans le développement de certains composants des voitures compactes européennes (par exemple, des modules de plancher et de plafond). Le stockage d'un carburant gazeux dans un réservoir capillaire modulaire de la carrosserie en matière synthétique peut, par exemple, être qualifié de perspective d'avenir, dans la même mesure que l'utilisation possible de

nouvelles matières synthétiques (PET) pour certains segments

Rapport final :
MODULTEC – *Modultechnologie für Leichtmobile* ; Max Horlacher, Thomas Efler, Susanne Wegmann, 2003, n° ENET 230054





L'infrastructure nécessaire à l'utilisation du gaz naturel et du biogaz comme carburants se développe.
(www.erdgas.ch)

faudrait pour atteindre le but visé. Un autre biocarburant, le bioéthanol, qui peut être mélangé à l'essence et au diesel, représente une alternative de plus que nous abordons en page 14.

L'attitude à adopter face à la mobilité comprend bien des facettes

Conduire en tenant consciemment compte des questions énergétiques permet d'économiser du carburant. Depuis avril 2003, "ecoDrive" fait partie intégrante de l'examen de conduite.

Recourir au trafic combiné signifie allier judicieusement les moyens de transport en tenant compte des aspects énergétiques. Ce thème est abordé notamment dans les "Cités de l'énergie", qui seront bientôt au nombre de 100.

Les conseils en mobilité prodigués par les médecins seront également d'importance lorsque cette excellente initiative, par ailleurs distinguée par le *prix pegasus*, déploiera ses effets.

C'est la combinaison de toutes les mesures qui compte

Le domaine de la mobilité se distingue par une structure complexe ; ce qui fait que des mesures efficaces en terme d'énergie et une diminution significative de la consommation sont difficiles à réaliser. Seule la combinaison de tous les efforts sera couronnée de succès.

Développement durable

Des stratégies politiques et des méthodes de planification, concernant tant le niveau national que le niveau local, sont au centre du cours de deux jours "Développement durable – mise en pratique dans le domaine des transports". Les 20 et 21 novembre 2003, l'Université de Berne offrira des points de repère dans ce sens aux planificateurs des transports.

www.ikaoe.unibe.ch/weiterbildung

sun21
energy first

Le prix pegasus attribué à un projet alpin

En juin 2003, le nouveau prix récompensant la promotion d'une mobilité durable, lancé par SuisseEnergie, a été décerné à Bâle dans le cadre du 6^e Forum international de l'énergie "sun21". Le *prix pegasus* vise à soutenir des approches innovatrices et énergétiquement efficaces en matière de mobilité. En dépit d'exigences très élevées, 45 projets ont été présentés. Ils concernaient tous les



Distribution du prix pegasus : cette équipe de lauréats veut promouvoir l'utilisation de l'hydrogène comme carburant dans les Alpes.

moyens de transport et une multitude de propositions d'amélioration des carburants, des systèmes d'information, des prestations de service et des technologies ont été faites.

Les trois projets primés sont :

- Gardez la forme, muscliez votre mobilité – les médecins vous conseillent
- TransBâle – mieux choisir son moyen de transport dans l'agglomération trinationale
- Les Alpes libres de gaz d'échappement – une vision.

Ce troisième projet vise à mettre en œuvre la technique la plus moderne face à un problème de mobilité qui, à ce jour, n'a guère été pris en considération. Dans les Alpes suisses, un environnement très sensible, com-



prenant des régions de sources et des glaciers, plus de 1'000 véhicules de pistes sont utilisés pendant les mois d'hiver. Leur consommation de carburant s'élève à quelque 10 millions de litres par saison. La transformation de ces véhicules, pour fonctionner avec une pile à combustible alimentée à l'hydrogène, permettrait de supprimer progressivement les émissions des moteurs diesel actuels (CO₂, particules de suie, etc.). Pour l'hiver 2003/04, la société Swiss Alps 3000 veut présenter dans l'Oberland bernois un premier véhicule de piste transformé et, à partir de 2006, cinq de ces véhicules circuleront à Mürren, site piétonnier. Ce projet peut servir d'encouragement de la technologie de l'hydrogène dans la région des Alpes.

Informations sur les projets primés :
www.prixpegasus.ch

Rendez-vous à Lucerne

Les progrès techniques favorisent la diversification des applications

Alphons

Hintermann

Responsable du domaine Piles à combustible à l'OFEN

Plus de 350 participants du monde entier étaient présents à la 6^e Conférence *European Fuel Cell Forum* qui a eu lieu à Lucerne, au début du mois de juillet 2003. L'échange d'expériences et la présentation des connaissances les plus récentes en matière de piles à combustible furent les points forts de cette rencontre.

La Suisse bien présente dans la recherche et le développement

Alors que le colloque *Fuel Cell World* traitait de ce qui touche à l'application, le 2nd *European PEFC Forum* permit surtout de discuter des innovations de la technologie des piles à combustible à électrolyte polymère et de celles utilisant directement le méthanol comme combustible.

Le projet *PowerPac*, dirigé par l'EPF de Zurich et l'Institut Paul Scherrer (PSI), et soutenu par l'OFEN, a été présenté dans le cadre du colloque des applications. L'intégration aux *stacks* d'un système d'humidification de l'air, un nouveau concept pour assurer l'étanchéité et une nouvelle construction des collecteurs ont abouti à la

création d'un générateur compact de 1 kW. La société Tribecraft SA, qui participe également à ce projet, a présenté le développement de diverses plaques terminales pour les *stacks*.

Opportunités et défis révélés par la pratique

Le représentant de Sulzer Hexis a fait part des expériences faites avec les appareils de la pré-série *HXS 1000 Premiere*, actuellement en service chez des clients. Par ailleurs, les exigences à satisfaire – pour une plus grande fiabilité de fonctionnement, pour une utilisation plus longue et en vue d'une nouvelle réduction des coûts – ont été clairement définies.

Lors de cette conférence, le PSI a à nouveau démontré, par ses nombreuses contributions, qu'il est toujours à la pointe de la recherche et du développement de systèmes, de composants et de matériaux.



Début juillet 2003, plus de 350 experts en technologie des piles à combustible sont venus du monde entier à Lucerne pour échanger leurs expériences.

Liens Internet

European Fuel Cell Forums
www.efcf.com

Hydropôle – le centre de compétence pour l'hydrogène en Suisse
www.hydropole.com



PAC-Car utilise PowerPac

En mai dernier, la pile à combustible mobile *PowerPac*, développée avec le soutien de l'OFEN, a été appliquée avec succès au *PAC-Car*. Ce véhicule expérimental monoplace, produit d'une collaboration entre l'EPF de Zurich, le PSI et l'Université de Valenciennes, était le premier véhicule propulsé à l'hydrogène à participer au marathon français *Shell Eco*. Cette pile *PowerPac* a fourni 400 W ;

l'hydrogène était transporté dans un réservoir à hydrure métallique ; la consommation était de 15,9 g/100 km.

Informations complémentaires :
www.imrt.ethz.ch/pac-car



Le PAC-Car est propulsé par une pile à combustible *PowerPac*.

Recherche énergétique en général

Energie-Forschung 2002 / Recherche énergétique 2002; Überblicksberichte der Programmleiter / Rapports de synthèse des chefs de programme; BFE; OFEN; 05.2003; DE; FR; 225 S.; 225 p.; Sfr. -; ENET-Nr. 230091

CORE Rapport annuel 2002; 04.2003; FR; 11 p.; Sfr. -; ENET-Nr. 230063

CORE Jahresbericht 2002; 04.2003; DE; 11 S.; Sfr. -; ENET-Nr. 230062

Accumulateurs + Supercaps

Spirit of Bike – Lithium-Polymer Batterien für das IntelliBike; Schlussbericht; Vezzini Andrea; Hochschule für Technik und Architektur Biel; 05.2003; DE; 42 S.; P&D; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 230071

Biomasse (bois)

Grundlagen der Aerosolbildung in Holzfeuerungen; Beeinflussung der Partikelemissionen durch Primärmassnahmen und Konzept für eine partikelarme Holzfeuerung (Low-Particle-Feuerung); Schlussbericht; Oser Michael, Nussbaumer Thomas, Müller Peter, Mohr Martin, Figi Renato; Ing. Büro Verenum; 04.2003; DE; 97 S.; F&E; Sfr. 46.00; ENET-Nr. 230086

Potenzial des Gegenstromvergaser als schadstoffarme Holzfeuerung; Jahresbericht; Meier Daniel, Nussbaumer Thomas; Ing. Büro Verenum; 12.2002; DE; 5 S.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 220315

Électricité

Elektrische Heizbänder für Warmwasserleitungen und Frostschutz; Merkblatt; Nipkow Jürg; 07.2003; DE; 4 S.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 230082

Energieeffizienzpotenzial bei Wasser-Dispensern; Schlussbericht; Grieder Thomas, Huser Alois; Encontrol GmbH; 02.2003; DE; 34 S.; F&E; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 230060

Energiesparender Schrittmotorantrieb „New Stepper“; Schlussbericht; Berchten S.; LEAG Antriebstechnik AG; 11.2002; DE; 18 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 220333

Ausschreibungsunterlagen im Server-, PC- und Netzwerk-Bereich; Schlussbericht; Grieder Thomas, Huser Alois; Encontrol GmbH; 08.2003; DE; 63 S.; P&D; Sfr. 35.00; ENET-Nr. 230105

Energieverbrauch von Prozesssteuerungen (SPS); Schlussbericht; Schalcher Max, Battaglia Urban, Bush Eric; Bush Energie GmbH; 07.2003; DE; 38 S.; P&D; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 230096

Einsparpotenzial an el. Energie bei Motoren und Antrieben in der Lonza; Schlussbericht; Troger Stefan; Lonza AG; 10.2002; DE; 46 S.; P&D; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 220334

Combustion

Homogeneous ignition in high-pressure combustion of methane/air over platinum: Comparison of measurements and detailed numerical predictions; Proceedings of the Combustion Institute, Volume 29, 2002/pp. 1021 - 1029; Reinke Michael, Mantzaras Ioannis, Schaeren Rolf, Bombach Rolf, Kreutner Wolfgang, Inauen Andreas; 12.2002; EN; 9 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 220341

An experimental and numerical investigation of turbulent catalytically stabilized channel flow combustion of hydrogen/air mixtures over platinum; Proceedings of the Combustion Institute, Volume 29, 2002/pp. 1031 - 1038; Appel Christoph, Mantzaras Ioannis, Schaeren Rolf, Bombach Rolf, Käppeli Beat, Inauen Andreas; 12.2002; EN; 8 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 220340

NO_x-Verminderung bei mobilen Dieselmotoren mittels Harnstoff-SCR; Schlussbericht; Koebel Manfred, Elsener Martin, Schär Christoph; Paul Scherrer Institut (PSI); 12.2002; DE; 41 S.; P&D; Sfr. 25.00; ENET-Nr. 220335

Bâtiments

Rationelle Energienutzung in Gebäuden; Aktivitäten und Projekte 2002; Jahresbericht; Zimmermann Markus; 02.2003; DE; 16 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230083

Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien; Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden; Bericht; Doka Gabor; 02.2000; DE; 212 S.; F&E; Sfr. 81.00; ENET-Nr. 200365

Géothermie

Gütesiegel für Planer von Geothermieranlagen, Geothermiepreis Phase I (2002); Schlussbericht; Eugster Walter J., Eberhard Mark, Koschenz Markus, Morath Marcel, Rohner Ernst; Schweiz. Vereinigung für Geothermie (SVG); 05.2003; DE; 22 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230099

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2002; Gorhan Harald L.; Electrowatt Engineering AG; 01.2003; DE; 16 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230098

Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe; Article EGC 2003; Sanner Burkhard, Karytsas Constantine, Mendrinou Dimitrios, Rybach Ladislaus; 09.2003; EN; 10 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 230077

Geothermal use of tunnel waters – a Swiss speciality; Article IGC 2003, Reykjavik; Rybach Ladislaus, Wilhelm Jules, Gorhan Harald L.; 09.2003; EN; 7 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 230076

The geothermal heat pump boom in Switzerland and its background; Article IGC 2003, Reykjavik; Rybach Ladislaus, Kohl Thomas; 09.2003; EN; 7 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 230075

Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps – a World Overview; Paper in print in Renewable Energy; Lund J., Sanner B., Rybach L., Curtis R., Hellström G.; 06.2003; EN; 17 p.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230074

Promotion of geothermal energy in Switzerland: a recent programme for a long-lasting task; Article: European Geothermal Conference EGC 2003, Szeged, Hungary; Vuataz François-D., Gorhan Harald L., Geissmann Markus; 05.2003; EN; 8 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 230073

Potentiel géothermique des tunnels transalpins suisses; article; Wilhelm Jules, Rybach Ladislaus; 03.2003; FR; 8 p.; F&E; Sfr. -; ENET-Nr. 230072

Wirtschaftlichkeit geothermischer Energiegewinnung im Rahmen regenerativer und konventioneller Energiesysteme; Vortrag VWEW Bad Dürkheim 21. November 2002; Schaumann Gunter; 11.2002; DE; 20 S.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 220337

IEA – Hot Dry Rock; Teilnahme am Geothermal Implementing Agreement der IEA (ExCo Vice Chairmanship & Annex III, Hot Dry Rock, Subtask C); Jahresbericht; Hopkirk Robert et al.; 12.2002; DE; 69 S.; F&E; Sfr. 35.00; ENET-Nr. 220336

1^{ère} Exposition Romande sur la Géothermie (ERG 1 – Canton de Vaud); Rapport final; Wilhelm Jules; 07.2003; FR; 20 p.; P&D; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230100

Énergie éolienne

Du vent dans les pales; Expériences et perceptions des éoliennes par les habitants de la région du Mont-Crosin; Rapport final; Droz Yvan, Miéville-Ott Valérie, Monsutti Alessandro; MEDIACTIV SA; 01.2003; FR; 28 p.; F&E; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230094

Réceptivité des ménages au développement des sites éoliens; Rapport d'enquête; Rapport final; Voisard Michel; MEDIACTIV SA; 12.2002; FR; 127 p.; F&E; Sfr. 63.00; ENET-Nr. 220338

Windmessung Crap Sogn Gion; Abschätzung des Windpotenzials; Schlussbericht; Cattin René; aurax energia ag; 05.2003; DE; 21 S.; P&D; Sfr. 18.00; ENET-Nr. 230079

Photovoltaïque

Aufrauen von Polymersubstraten; gezieltes Aufrauen von Plastikfolien für ein effizientes Light-Trapping in amorphen Solarzellen; Schlussbericht; Fischer Diego, Keppner Herbert; Ecole d'ingénieurs du Canton de Neuchâtel; 07.2003; DE; 24 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230106

Programme photovoltaïque édition 2003; Rapport de synthèse 2002; NET Nowak Energie & Technologie AG; Université de Fribourg; 04.2003; FR; 32 p.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230070

Programm Photovoltaik Ausgabe 2003; Überblicksbericht 2002; NET Nowak Energie & Technologie AG; Université de Fribourg; 04.2003; DE; 33 S.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230069

Photovoltaic Programme Edition 2003; Summary Report, Project List, Annual Project Reports 2002 (Abstracts); NET Nowak Energie & Technologie AG; Université de Fribourg; 04.2003; EN; 111 p.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230068

Programm Photovoltaik Ausgabe 2003; Überblicksbericht, Liste der Projekte; Band 1: Forschung; Jahresbericht der Beauftragten 2002; NET Nowak Energie & Technologie AG; Université de Fribourg; 04.2003; DE, EN, FR; 272 S., 272 p.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230066

Entwicklung von low band gap PV Zellen / Thermophotovoltaik TPV; Schlussbericht; Bitnar Bernd, Palfinger Günther, Gobrecht Jens, Grützmacher Detlev, Paul Scherrer Institut (PSI); 06.2003; DE; 25 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230048

DEMOSITE; Site de démonstration d'éléments de construction photovoltaïques intégrés au bâtiment; Rapport final; Roecker C., Affolter P., Müller A.N., Ould-Henia A.; EPFL/LESO-PB; 02.2003; FR; 169 p.; F&E; SFr. 81.00; ENET-Nr. 230047

Energy Rating of Solar Modules; Workshop 22. März 2002 in Zürich; Schlussbericht; Kröni Robert; Enecolo AG; 12.2002; DE; 81 S.; F&E; SFr. 46.00; ENET-Nr. 220339

Einfache und kostengünstige Überwachungseinheit für Solaranlagen; Schlussbericht; Anderegg Ernst; Newlink Anderegg; 06.2003; DE; 50 S.; P&D; SFr. 25.00; ENET-Nr. 230092

Programm Photovoltaik Ausgabe 2003; Überblicksbericht, Liste der Projekte; Band 2: Pilot- und Demonstrationsprojekte; Jahresbericht der Beauftragten 2002; NET Nowak Energie & Technologie AG; 04.2003; DE, EN, FR; 290 S., 290 p.; P&D; SFr. -; ENET-Nr. 230067

LonWorks als Feldbus für PV-Anlagen; Schlussbericht; von Bergen Christoph; Sputnik Engineering AG; 05.2003; DE; 18 S.; P&D; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230064

Solgreen; Ein System zur Verbindung von Gründächern mit Photovoltaikanlagen; Schlussbericht; Toggweiler Peter, Meichsner Oliver; Enecolo AG; 03.2003; DE; 35 S.; P&D; SFr. 25.00; ENET-Nr. 230058

Chaleur solaire

Commande optimale de systèmes solaires combinés; Rapport final; Prud'homme T., Gillet D.; EPFL/DGM/IA Institut d'automation; 05.2003; FR; 57 p.; F&E; SFr. 30.00; ENET-Nr. 230065

Installations solaires combinées de production d'eau chaude sanitaire et chauffage; Planification, synthèse; Etude; Jaboyedoff P.; Ernst Schweizer AG; 12.1990; FR; 26 p.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 200364

Untersuchung von zwei Sonnenenergieanlagen zur kombinierten Wassererwärmung und Raumheizung in Mehrfamilienhäusern; Bericht; Schläpfer B., Rüesch H., Bremer P., Calatyud C., Keller L., Nilsson M.O.; Ernst Schweizer AG; 12.1986; DE; 52 S.; F&E; SFr. 35.00; ENET-Nr. 200363

Transfert de technologie / Systèmes

ENET-NEWS No 55 français; 07.2003; FR; 40 p.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230090

ENET-NEWS Nr. 55 deutsch; 07.2003; DE; 40 S.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230089

Stockage thermique

Sorptionsspeicher; Aufbau und Inbetriebnahme der Laboranlage; Schlussbericht; Brunold Stefan, Frei Ueli, Gantenbein Paul; Fachhochschule Rapperswil (HSR); 03.2003; DE; 12 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230085

Chaleur ambiante

Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen; Zwischenbericht; Wanner Oskar, Panagiotidis Vassileios, Eugster Jakob, Siegrist Hansruedi; EAWAG; 04.2003; DE; 8 S.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230059

Kirche Môtier: Sanierung der Raumheizung; Schlussbericht; Grizzetti Vincenzo; Elektrizitätswerk der Stadt Bern; 07.2003; DE; 13 S.; P&D; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230101

Transport en général

„Swiss Dual-Fuel“ Erdgas macht Diesel sauber; Jahresbericht; Rinderknecht Frank M.; Rinspeed AG; 01.2003; DE; 8 S.; F&E; SFr. -; ENET-Nr. 230104

PAC-Car I véhicule ultra efficient à pile à combustible; Rapport; Guzzella Lino, Paganelli Gino, Santin Jean-Jacques; ETHZ Inst. für Mess- und Regeltechnik; 07.2003; FR; 19 p.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230095

ZEV Zero Emission Vehicle Mandate in California, USA; Electric Vehicles in California: Gesetzliche Grundlagen und Markt-Aktivitäten; Schlussbericht; Wagner Conrad; Mobility Systems; 03.2003; DE; 16 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230084

Force hydraulique

Vorstudie Kleinwasserkraftwerk WERAP Immobilien AG, Bubikon ZH; Revitalisierung des 100-jährigen Kraftwerkes; Bericht; Bretscher Adrian, Gutzwiller Stephan; WERAP Immobilien AG; 06.2003; DE; 22 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230081

Kleinwasserkraftwerk Steinerkanal Alte Spinnerei, 5102 Rapperswil; Vorstudie; Hintermann Markus, Dietschi Paul; Baugenossenachaft Alte Spinnerei; 04.2003; DE; 29 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230078

Vorstudie Kleinstwasserkraftwerk Lochmühle, Welschenrohr; Revitalisierung der historischen Mühle; Bericht; Schindelholz Bruno; Weissmüller Ulrich; 06.2003; DE; 12 S.; F&E; SFr. 18.00; ENET-Nr. 230080

ENET

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

Pour commander
● Téléfax 071 440 02 56
ou
● Site Internet d'ENET: www.energieforschung.ch

