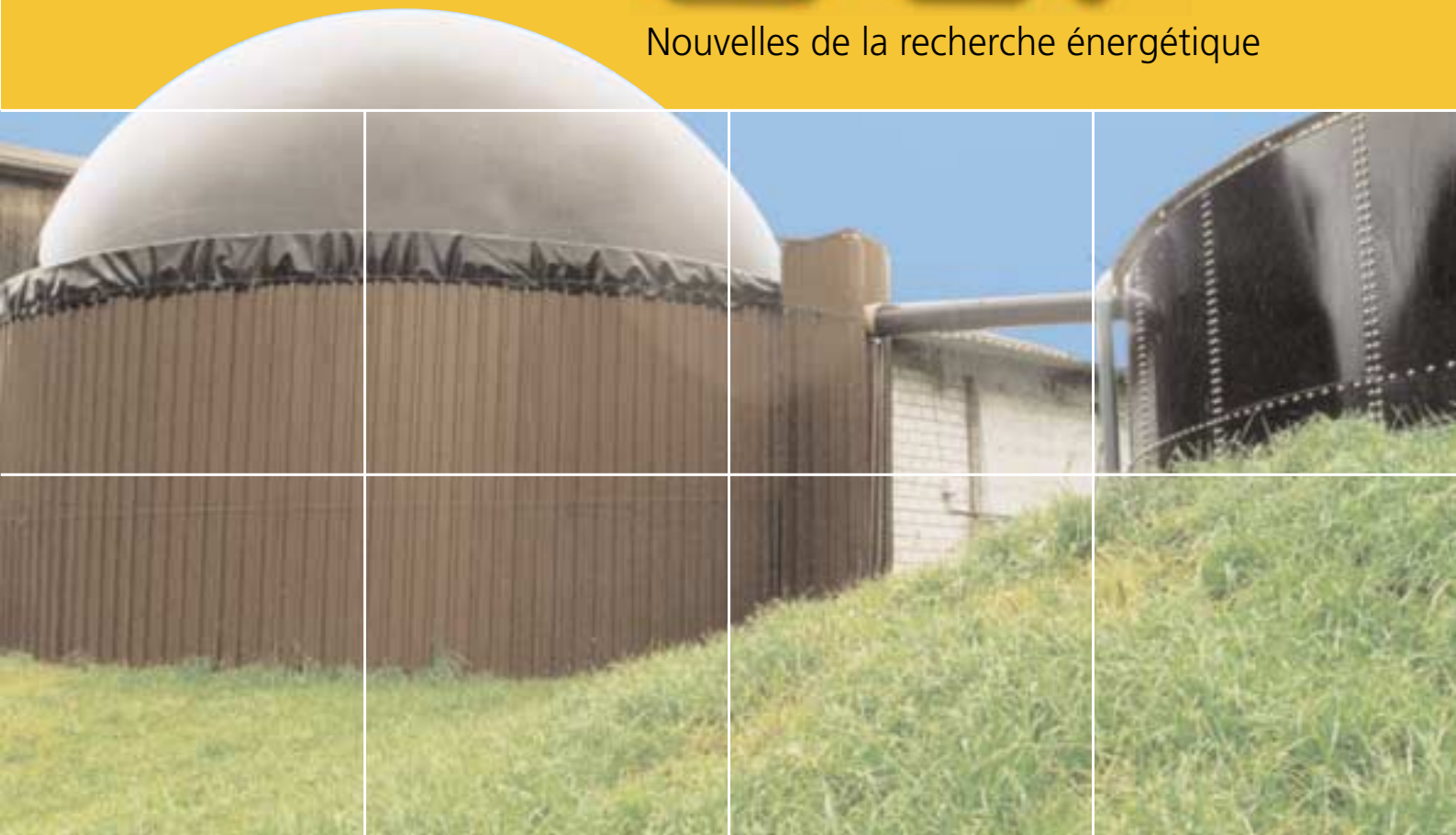


ENET NEWS

Nouvelles de la recherche énergétique



Géothermie
La chaleur vient du tunnel

Biomasse
Le matériau est à notre disposition

Électricité
**La promotion de moteurs électriques
de rendement élevé**

www.energieforschung.ch

OFEN

- L'étiquette énergétique arrive3
 Une perception plus réfléchie de l'énergie4

CORE

- La technique est au point6

Fondements de l'économie énergétique

- À la recherche des critères8
 Erratum9

**Géothermie**

- La chaleur vient du tunnel10

Chimie solaire

- Lorsque les pierres rougissent11

Photovoltaïque

- L'union fait la force.....14
 De l'électricité solaire pour les villes.....15

**Biomasse**

- Le matériau est à notre disposition16
 HSW : tout pour la durabilité.....17
 Conception compacte20
 Du biogaz pour des piles à combustible.....21
 Tomber sur un terrain fertile22
 Quand l'optimisation remplace
 du courant24
 La bioraffinerie produit des fibres et de
 l'énergie.....25

Bois

- Un aperçu des émissions.....25

Transports

- Un peu plus d'essence pour plus de lumière 26

Couplage chaleur-force

- La combinaison produit plus d'effets27

Chaleur ambiante

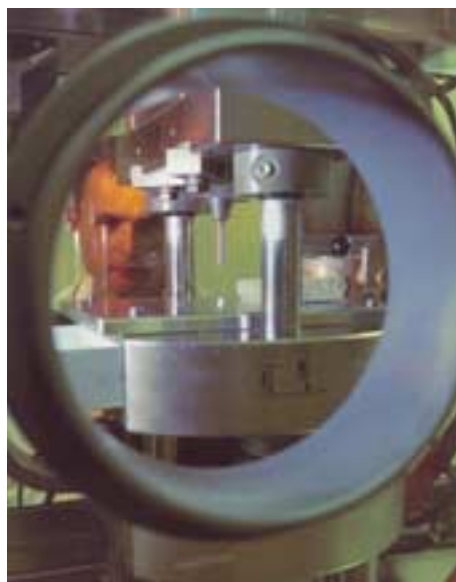
- Stockage temporaire de la chaleur dans le sol .28

Électricité

- La promotion de moteurs électriques de
 rendement élevé.....30

Bâtiment

- 6^{es} Journées européennes de la maison passive .31
 12^e "Status-Seminar"31

**Énergie nucléaire**

- Essai de l'IMF – Inert Matrix Fuel32

Nouvelles publications

- Manifestations.....35

Impressum

ENET-NEWS
 Nouvelles de la recherche énergétique

Décembre 2001 / N° 50

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

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

Adresse postale
 Case postale
 CH-3003 Berne

Rédaction
 ENET Communication
 Jürg Wellstein
 Parkstrasse 15
 CH-4106 Therwil

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

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

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

Reproduction autorisée seulement avec
 l'indication de la source.

Papier sans chlore
 Imprimé en Suisse.

Photo de couverture

L'utilisation plus fréquente de la biomasse répond aux objectifs de SuisseEnergie en matière d'énergie et de climat. Les installations compactes de biogaz permettent, par exemple, de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur à partir d'un mélange de résidus agricoles et de déchets biogènes de provenance artisanale (restauration).

Tout au bénéfice du climat

La politique de l'énergie et celle de l'environnement ont une responsabilité commune, celle de notre climat. Faire face à une demande d'énergie croissante tout en réduisant les émissions de CO₂, tel est le défi à relever. La question présente deux volets : il faut, d'une part, réexaminer nos habitudes de consommation d'énergie et, d'autre part, améliorer l'offre par des techniques plus économes en énergie, et recourir aux sources d'énergie renouvelables.

L'exemple de l'énergie issue de la biomasse montre bien que la politique de l'énergie et celle de l'environnement avancent de concert. Actuellement, la biomasse provenant de l'agriculture et de la sylviculture, ainsi que l'énergie renouvelable tirée des déchets et des boues d'épuration couvrent déjà une partie, certes modeste mais encourageante, de la consommation nationale de chaleur et d'électricité. De plus, les efforts constants de la recherche et du développement vont nous permettre d'augmenter encore la part de l'énergie fournie par la biomasse, sans que l'environnement subisse de préjudice.

Le bois est aujourd'hui brûlé plus écologiquement et efficacement qu'hier. L'herbe est transformée industriellement en fibres et en protéines tout en produisant de l'énergie. Quant à l'énergie produite par les usines d'incinération d'ordures ménagères, elle a également contribué de manière décisive au succès du Programme Energie 2000.

On sait aujourd'hui combien les agents énergétiques neutres en terme de CO₂ et les technologies de substitution sont bénéfiques pour le climat. Continuons sur cette lancée et nous nous rapprocherons des objectifs ambitieux que la loi sur le CO₂ et le Programme SuisseEnergie se sont assignés dans le domaine de la consommation d'énergie et dans celui de la protection du climat !

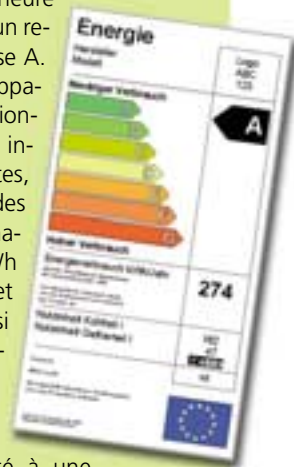
Philippe Roch

Directeur de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage

OFEN

L'étiquette énergétique arrive

La décision prise par un client d'acheter ou de ne pas acheter un appareil électrique a une grande influence sur ce marché. C'est pourquoi, dès le 1^{er} janvier prochain, l'étiquette UE que l'on connaît bien tiendra lieu aussi en Suisse de déclaration obligatoire pour les appareils électroménagers. Dorénavant, les frigos et congélateurs, machines à laver et à sécher le linge et autres grands appareils ménagers et lampes seront classés selon leur efficacité énergétique. Cette classification crée avec des moyens tout simples la transparence désirée. En moyenne, un appareil de la classe A consomme environ un tiers de moins d'énergie qu'un appareil de la classe D. Et pour un appareil de la classe G, la consommation est en général nettement supérieure au double de celle d'un représentant de la classe A. Selon la catégorie d'appareils, l'étiquette mentionne encore d'autres indications importantes, telles la durée de vie des lampes, la consommation annuelle en kWh des réfrigérateurs et des congélateurs ainsi que leur volume intérieur, et ainsi de suite. Celui qui achète bon marché se retrouve rapidement confronté à une facture d'électricité plus élevée.



D'autres futures dispositions possibles sont étudiées actuellement. À côté de l'économie d'électricité pouvant en résulter, les critères considérés sont le contexte européen et les normes disponibles pour les mesures.

Renseignements sur l'étiquetage énergétique:

www.suisse-energie.ch (► Industrie, PME, Appareils électriques ► Appareils électriques ► Grands appareils électroménagers)

www.energielabel.ch

Les 10 appareils les plus efficaces de leur catégorie:

www.topten.ch

Une perception plus réfléchie de l'énergie

L'Office fédéral de l'énergie s'engage pour un approvisionnement énergétique efficace et durable

Depuis le 1^{er} juillet 2001, Walter Steinmann est le nouveau directeur de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Dans l'interview qui suit, il livre ses impressions et son expérience des premiers mois et exprime ses vœux quant aux discussions à venir sur les thèmes en rapport avec l'énergie.

Quelles sont vos expériences des premiers mois en tant que Directeur de l'OFEN ?

Walter Steinmann : C'est avec de la curiosité, de l'intérêt et même du plaisir que je me suis plongé dans les dossiers. Ma curiosité a été éveillée, entre autres, par le côté international que je ne connaissais pas. Les premières discussions avec les différents groupements d'intérêt et associations professionnelles ont été particulièrement intéressantes. Enfin, j'ai eu plaisir à rencontrer les responsables des programmes et des initiatives par le biais desquels nous essayons d'agir concrètement en faveur de l'environnement et de l'économie.

Votre relation personnelle avec l'énergie s'est-elle modifiée au cours de cette période ?

Peu après ma nomination, ma fille m'a demandé si nous serions désormais spécialement contraints à économiser l'énergie. Je lui ai répondu que mon contrat ne nous obligeait pas à devenir LA famille modèle suisse, mais que nous devrions voir certaines choses de manière critique. Évidemment, je suis encore plus attentif à notre emploi de l'énergie, c'est-à-dire où et comment nous l'employons, ou même la gaspillons. Je suis devenu encore plus conscient de notre dépendance omniprésente de l'énergie, et je vois comment de petits investissements peuvent contribuer à l'utiliser plus efficacement. Pour beaucoup de consommateurs, l'énergie est quelque chose d'insaisissable – sauf quand son prix monte brutalement – et ne représente donc guère un sujet d'actualité. Par exemple, peu

de gens savent combien leur coûte leur consommation quotidienne d'électricité. Il n'y a qu'un seul moyen de motiver les gens à utiliser l'énergie à meilleur escient : faire en sorte que l'énergie et sa consommation deviennent un phénomène visible, pouvant être vécu.

Quelles sont vos impressions sur le monde de l'énergie en Suisse ?

En Suisse, le monde de l'énergie vit actuellement une profonde mutation. À cause des libéralisations, de l'ouverture des frontières et de la nécessaire durabilité, une grande partie de l'économie concernée par l'énergie devra prendre de nouvelles orientations,

Comment jugez-vous l'image de marque de l'OFEN ?

Je perçois l'OFEN comme une bonne équipe de collaborateurs très qualifiés qui se sont occupés avec beaucoup d'engagement ces dernières années de tout ce qui touche à l'énergie, et qui ont fait un grand travail de persuasion. Ce bilan positif mérite d'être plus largement connu. Au cours des dernières années, la Division principale pour la sécurité des installations nucléaires (DSN), organisme de contrôle des centrales nucléaires, s'est révélée être un surveillant compétent et conséquent avec ses principes, recherchant le dialogue avec tous les groupements importants et



alors que d'autres secteurs de cette économie sont déjà ouverts à la concurrence, celui du pétrole notamment. De plus, il ne sera certainement pas aisé de diffuser et d'implanter sur le marché dans les années à venir les nouvelles technologies et les sources d'énergie renouvelables. C'est pourquoi les conditions-cadres doivent être améliorées, comme le prévoit la loi sur le marché de l'électricité.

Walter Steinmann : "Les instruments de SuisseEnergie doivent permettre des progrès constants et durables."

prenant tous les points de vue en considération.

Jusqu'à quel point l'OFEN doit-il ou ose-t-il agir en visionnaire ?

Notre équipe a besoin d'une vision, d'un rêve, mais avec une date d'échéance ! Nous savons tous qu'à long terme, nous devons nous contenter de beaucoup moins d'énergie. Il est donc tout à fait justifié d'illustrer cette vision par des formules concrètes et frappant l'imagination, telles que la "maison à énergie zéro" ou la "société à 2000 watts" (réduction de la consommation d'énergie au tiers de sa valeur actuelle) à laquelle nous aspirons.



Un printemps énergétique en Suisse ? Dans les prochaines années, SuisseEnergie devrait permettre l'utilisation de l'énergie éolienne sur une plus vaste échelle.

Mais il est tout aussi important d'atteindre des succès tangibles dans le travail quotidien, plus dur et moins spectaculaire, en tenant compte des réalités politiques et financières. Cela concerne particulièrement SuisseEnergie dont les principaux instruments doivent être accordés entre eux, ce qui permettra des progrès constants et durables. Parmi ces instruments, citons les valeurs-cibles concrètes, les stratégies claires, les partenariats, les programmes de mise en œuvre, le *marketing*, la communication, la supervision et les évaluations.

La recherche énergétique sert de base à des développements technologiques qui mènent en fin de compte à des produits

du marché. Quel message voudriez-vous faire passer au chercheur ?

La recherche énergétique est un pilier important de la politique énergétique. Nous ne devons pas nous attendre à des miracles, mais nous devons concentrer nos activités sur quelques domaines importants, et cela évidemment en accord avec nos partenaires étrangers. Au cours des prochaines années, on nous jugera aussi d'après ce qui aura pu être appliqué sur le marché. Dès maintenant, nous devons faire un gros effort pour encourager le transfert de technologie et l'introduction à grande échelle de nouvelles technologies sur le marché.

Dans certains secteurs, la Suisse est à la pointe de la recherche énergétique. Comment les stimulations qui en résultent peuvent-elles être amplifiées, pour que l'économie d'exportation s'en empare et les transforme en produits commercialisés ?

Les nouvelles technologies ont besoin d'un marché intérieur aussi vaste que possible pour qu'on puisse les tester et enregistrer rapidement un premier succès. Sous cet angle-là, la Suisse et les nouvelles technologies développées en Suisse sont désavantagées. Nous devons faire connaître les nouvelles technologies sur le marché international, en les présentant dans les foires mondiales les plus importantes. En outre, nous devons leur permettre d'accéder à des marchés étrangers prometteurs par l'intermédiaire de l'Office suisse d'expansion commerciale (Osec) et de ses relais, les Chambres de commerce et les ambassades suisses.

La recherche actuelle tout comme les décisions prises aujourd'hui concernent souvent les générations futures. Cherchez-vous à dialoguer avec les jeunes ?

L'avenir de la recherche énergétique et celui de la politique énergétique dépendent fortement de notre capacité à intéresser et à gagner les jeunes à notre cause. Cela doit commencer à l'école primaire. Dans ce sens, les Semaines d'économies d'énergie dans les écoles, qui ont été lancées de manière innovatrice par l'Association "Label Cité de l'énergie" sont des jalons importants. Diverses activités de SuisseEnergie présentées à l'occasion de différentes foires

s'adressent à un public jeune. Je veux dire par là que nous devons rechercher encore plus un dialogue direct et que nous devrions aussi mieux utiliser Internet comme moyen de communication.

Quel sont vos vœux à propos des situations conflictuelles qui pointent de nouveau à l'horizon des prochaines discussions sur l'énergie ?

J'espère que les "guerres de religion" ont fait leur temps et que nous pourrions faire les prochains pas de manière objective et constructive. Mon désir est que les représentants des divers agents énergétiques, dont chacun a certainement le droit d'avoir un point de vue différent, soient prêts à accepter un consensus final. Nous avons dilapidé beaucoup de temps et de moyens financiers, et nous nous sommes énervés sur des sujets qui n'avaient pas toujours une grande importance. Désormais, nous devrions nous consacrer ensemble à la réalisation d'un approvisionnement en énergie efficace et durable.

Au niveau international, quel devrait être le rôle de la Suisse en ce qui concerne les questions énergétiques ?

Dans le domaine de l'énergie non plus, notre Pays n'est pas une île. Nous nous trouvons au beau milieu d'un marché qui s'ouvre de plus en plus et nous sommes intéressés à montrer nos forces, à placer nos atouts et à profiter des avantages de la coopération. Le bon niveau de coopération au sein de l'AIE et de l'AIEA devrait encore gagner en importance grâce à une présence renforcée et à une activité plus intense. De plus, nous devons développer nos relations avec l'UE et l'OCDE si nous voulons insérer le marché suisse de l'énergie de manière efficace dans les nouvelles structures européennes.

La coopération avec nos pays voisins (Allemagne, France, Italie et Autriche) se fera, d'une part, par des discussions bilatérales sur des sujets spécifiques, tels que le commerce de l'électricité, la sécurité des centrales électriques, les lignes de transport d'énergie, les déchets radioactifs, etc., et, d'autre part, par des rencontres périodiques sur des thèmes plus généraux de politique énergétique.

La technique est au point

De nombreux développements technologiques ont atteint une maturité pratique

L'une des tâches les plus importantes de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) est de définir des stratégies à long terme pour la recherche énergétique. Mais pour son président, Hans-Rudolf Zulliger, l'application concrète de nouveaux développements technologiques présente également un intérêt certain.

ENET-NEWS : Que pensez-vous de la situation actuelle dans le domaine énergétique ?

Hans-Rudolf Zulliger : Tout le monde sait que nous sommes très dépendants des agents énergétiques fossiles, en particulier du pétrole et du gaz naturel. En Suisse, cela concerne particulièrement le secteur du bâtiment qui absorbe 30% de la demande en énergie. C'est pourquoi ce secteur a toujours été considéré avec attention par la CORE.

*Hans-Rudolf Zulliger
(à gauche) en
conversation avec
Adrian Altenburger,
chef de projet pour
les installations
techniques du bâti-
ment chez Amstein
+ Walthert, devant
le nouveau bâti-
ment Minergie à
Regensdorf.*



Nous possédons aujourd'hui la technique nécessaire à la réalisation de bâtiments neutres, ou presque, en terme de CO₂. Ce qu'il nous manque encore, c'est, d'une part, plus d'expérience et, d'autre part, la mise au point d'un certain nombre de détails ainsi qu'une sensibilisation des spécialistes concernés pour les inciter à considérer le bâtiment et l'énergie comme un tout.

Le standard Minergie a permis entre-temps d'établir une base précieuse pour la mise en œuvre. Quelles sont les raisons du succès de ce standard ?

Dès son lancement, il y a environ trois ans, la CORE a activement soutenu le développement de Minergie et peut se réjouir de l'accueil favorable qu'il rencontre. Ce standard énonce des conditions facilement compréhensibles et applicables à la construction, sans augmentation significative des coûts. Minergie place au premier plan essentiellement le confort et la consommation d'énergie ; les moyens d'y parvenir et les prescriptions sont, eux, relégués au second plan. Des développements ponctuels ont été faits à titre complémentaire ; ils concernaient les matériaux, les éléments de

construction, la physique du bâtiment et la régulation des installations. Avec Minergie, les architectes et les spécialistes doivent faire preuve de plus de créativité.

La conception des bâtiments est-elle dorénavant envisagée différemment ?

Une certaine centralisation de la responsabilité est indispensable, surtout quand il s'agit de bâtiments complexes, tels que le nouveau centre administratif et de formation que la Gretag SA, maître de l'ouvrage, a construit à l'intention de la SAP (Suisse)

Le plus grand immeuble commercial Minergie est achevé

La construction du plus grand immeuble commercial Minergie de Suisse vient de s'achever à Regensdorf. Le promoteur immobilier Gretag SA a construit cet immeuble pour la société SAP (Suisse) SA qui, en plus de bureaux, a besoin de diverses salles de formation en informatique pouvant accueillir jusqu'à 500 personnes. L'importance primordiale attribuée au bien-être et les objectifs Miner-

gie ont nécessité un effort considérable au niveau des installations techniques et de la technique de construction.

Examiner et optimiser à l'aide de simulations

Adrian Altenburger, chef de projet chez Amstein + Walthert, précise : "La volonté du maître de l'ouvrage d'atteindre les valeurs limites du standard Minergie a nécessité de nombreux travaux préliminaires et quelques développements techniques spécifiques. Les bureaux et les locaux de formation en informatique doivent ré-

pondre à des impératifs différents quant au climat intérieur, et demandent donc des solutions spécifiques. Grâce à des simulations détaillées sur ordinateur, nous avons pu examiner et optimiser chaque idée et réduire ainsi la demande en énergie jusqu'au niveau Minergie. Une construction réussie selon ce standard implique une étroite collaboration entre tous les intervenants dès le développement de la structure et jusqu'à la conception et la réalisation de l'infrastructure technique."

Le standard Minergie pour les bâtiments administratifs et commerciaux requiert une consommation d'énergie inférieure à 40 kWh/m² a. Différents facteurs concourent à l'obtention de cette valeur, parmi lesquels

Le plus grand bâtiment administratif et commercial Minergie jamais construit en Suisse vient d'être achevé.

Il offre plus de 33'000 m² de bureaux et de locaux de formation.



SA. Se basant sur la durabilité, il y a lieu de calculer les amortissements sur de longues périodes et de tendre vers la réduction des frais d'entretien. L'objet ainsi construit offrira un service optimal tant au maître de l'ouvrage qu'à tous ses utilisateurs. L'expérience accumulée de cette manière pourra être réinvestie directement dans la conception de la prochaine maison Minergie.

Quelles conclusions en tirez-vous pour d'autres domaines d'application ?

Si notre but est de préparer un avenir énergétique durable, il faudra bien agir de manière semblable, par exemple, dans le domaine de la mobilité.

L'idée Minergie de réduction de la consommation d'énergie prend toute sa signification dans le contexte de la ré-

duction de notre dépendance du pétrole. La CORE voit-elle d'autres possibilités de changements en rapport avec l'énergie dans le domaine du bâtiment ?

En plus de perfectionnements prometteurs apportés aux fenêtres et aux façades, nous pensons que les pompes à chaleur et le couplage chaleur-force pourront être utilisés à grande échelle avec divers agents énergétiques. La géothermie et l'emploi judicieux des technologies solaires représentent les principales solutions de rechange pour la chaleur et l'électricité. Cela nous permettra d'avoir une influence durable sur le secteur

une isolation thermique poussée de l'enveloppe du bâtiment, une ventilation mécanique douce, avec récupération de chaleur et réglage des débits d'air nécessaires en fonction de l'occupation des locaux, l'emploi judicieux de pompes à chaleur ainsi qu'un réglage de l'éclairage en fonction de l'occupation des locaux et de la lumière du jour.

Assurer la qualité de l'air et la température dans les locaux

La distribution fine de l'air fourni dans les divers locaux, dont la disposition suit une trame modulaire de base, s'effectue à travers les dalles de béton qui ont été coulées avec des orifices de sortie spéciaux préalablement étudiés en laboratoire. Chaque pièce est pourvue de sondes de température et de me-

sure de la concentration du CO₂ dans l'air, qui servent au réglage des débits d'air.

Le chauffage et le refroidissement se font par des éléments de construction thermo-actifs munis de conduits intégrés, ainsi qu'à l'aide de panneaux d'isolation acoustique bons conducteurs de la chaleur, baptisés "Akustiktherm-Plus". Ce nouveau produit complète le

Liens Internet

Pour toute information sur la CORE, chercher CORE sous SuisseEnergie.

www.suisse-energie.ch

Ingénieurs-conseils spécialistes de la technique de construction

www.amstein-walthert.ch

du bâtiment, de réduire les risques climatiques et d'augmenter la sécurité en matière de production et d'utilisation de l'énergie. C'est dans ce sens que la CORE formule des recommandations à l'intention du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), de l'OFEN et des programmes correspondants de la recherche énergétique.

refroidissement des salles de formation en informatique. Ces panneaux spéciaux de 5 cm d'épaisseur et des éléments "Akustiktherm" standard sont montés sur environ 50% de la superficie des plafonds.

La récupération de chaleur est l'idée fondamentale de Minergie

Le refroidissement adiabatique de l'air extrait, c'est-à-dire l'humidification de cet air pendant l'été, et l'utilisation directe des rejets thermiques de l'alimentation ininterrompue en courant électrique (USV) représentent deux nouveaux développements qui ouvrent de nouvelles perspectives énergétiques ; tous deux intègrent la récupération de la chaleur. Le système USV comprend des batteries et un générateur qui sont constamment connectés au réseau et qui, en cas d'interruption de l'alimentation électrique par ce dernier, peuvent fournir de l'électricité pendant près d'une heure afin de sauvegarder les données.

Le nouvel immeuble Minergie de six étages a une superficie au sol de 33'410 m² et un volume de 131'240 m³. Au cours des 22 mois nécessaires à la construction, 500 km de câbles électriques ont été posés, 4'000 points de relevé de données pour la domotique dans l'édifice ont été créés et 100 km de tuyauterie de chauffage pour les éléments de construction thermo-actifs ont été mis en place.





L'échangeur de chaleur est un élément central de la ventilation mécanique douce. C'est essentiellement lui qui décide de l'efficacité énergétique qui pourra être atteinte.

immeubles l'acceptent-ils ? Oui, dans une large mesure, concluent les auteurs d'une étude mandatée par l'OFEN dans le cadre du programme Fondements de l'économie énergétique. Il faut prendre cependant un certain nombre de dispositions révélées par l'étude.

On constate que la notion de ventilation mécanique douce est encore trop peu connue et qu'il existe à son égard un certain nombre de préjugés tenaces. Souvent, ce type de ventilation est confondu avec la ventilation et la climatisation que l'on rencontre dans les immeubles administratifs et commerciaux. Ces deux systèmes sont connus pour avoir des effets désagréables, voire même transmettre des maladies s'ils sont mal conçus ou entretenus. L'étude se base sur une enquête menée auprès de 100 architectes, 100 investisseurs, 150 locataires habitant des immeubles équipés d'une ventilation mécanique douce et 300 locataires d'autres bâtiments. Chez les architectes, 30% environ ont déjà fait des expériences avec ce type d'équipement ; chez les investisseurs, cette proportion passe à 15%. La plupart des installations ont donné satisfaction. Moins d'un locataire sur deux connaît la notion de ventilation mécanique douce. Seul un quart des locataires choisiraient leur appartement en fonction de la présence d'une telle ventilation.

L'étude montre clairement l'importance de l'information, de la persuasion et de la formation des personnes impliquées dans la réalisation de ces installations. La formation technique doit être améliorée afin de prévenir les installations défectueuses ; les défauts constatés sont, par exemple, du bruit supplémentaire, sa propagation, ou encore un équilibrage insuffisant de la pression. Un

besoin semblable se fait sentir du côté des utilisateurs ; il faut leur expliquer objectivement les avantages de cette ventilation. Le principal argument pour les locataires et leurs associations est, par exemple, le fait que les économies d'énergie compensent des loyers plus élevés et que l'appartement est plus salubre, confortable et tranquille. Il faut aussi rappeler que la mise en place d'une ventilation mécanique douce devrait toujours s'inscrire dans le contexte d'une rénovation complète, incluant la pose de nouvelles fenêtres et d'une isolation thermique.

Efficacité énergétique des appareils électriques

La part des appareils électriques représente 54% de la consommation d'électricité globale. Les économies possibles sont donc considérables. Cependant, les auteurs sont d'avis que l'amélioration de l'efficacité énergétique passe, chez les industriels, bien après les considérations économiques. Il est vrai aussi que les résultats actuels des accords volontaires de réduction de la consommation d'électricité des appareils sont décevants. Dans de nombreux domaines d'application, le marché offre d'excellents appareils, pratiques à l'emploi, pas plus chers et ayant une bonne efficacité

Liens Internet

Ecoplan, bureau d'études économiques et environnementales, à Berne et Altdorf
www.ecoplan.ch

Factor Consulting + Management SA
à Zurich
www.factorag.ch

IPSO à Dübendorf
www.ihagfm.ch

Bureau d'études Keller-Burnier à Lavigny
<http://keller-burnier.pagesjaunes.ch>

S.A.F.E. – Agence suisse pour l'efficacité énergétique
www.energieagentur.ch

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

énergétique. Mais seul un très petit nombre de personnes se portent acquéreurs. Le facteur limitatif n'est donc pas la technologie, mais bien la transparence du marché. Les auteurs recommandent donc l'instauration, par voie d'ordonnance, de l'obligation d'étiquetage et de déclaration de la classe de qualité du produit, pour tous les appareils importants. Si les associations professionnelles jouent le jeu, une limitation d'homologation applicable aux très mauvais appareils pourrait être introduite. Les Cantons, les Communes les plus importantes et les entreprises électriques devraient aussi s'engager dans ce sens. (cf. l'article "L'étiquette énergétique arrive" en page 3)

Erratum

Dans notre édition de septembre 2001 (p. 6), les deux sous-titres „Énergies renouvelables” et „Efficacité énergétique” ont été malencontreusement permutés. Voici le tableau corrigé:

Domaine technologique		Exportations en 2000
Efficacité énergétique		
Biens	env. 800 mio de CHF	1'200 à 1'350 mio de CHF
Services accompagnant les produits	400 à 550 mio de CHF	
Sources d'énergie renouvelables		
Biens et services y relatifs	env. 70 mio de CHF	70 mio de CHF
Total		env.1'400 mio de CHF

La chaleur vient du tunnel

L'exploitation de la chaleur des eaux du tunnel du Ricken confirme les calculs des ingénieurs

René Cotting

Bureau d'études
Cotting SA
CH-8730 Uznach

Harald Gorhan

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

Markus

Geissmann

Responsable du
domaine
Géothermie de
l'OFEN

En général, les tunnels routiers et ferroviaires servent d'écoulement aux eaux de la montagne percée. Les eaux de diaclases chaudes qui s'infiltrent dans les galeries peuvent être collectées et utilisées pour la production d'énergie. La meilleure utilisation de la chaleur transportée par ces eaux est le chauffage de bâtiments situés près des entrées des tunnels. En Suisse, cette réalité concerne déjà six tunnels :

- le Grand-St-Bernard (VS)
- le tunnel ferroviaire de base du Hauenstein (Trimbach, SO)
- le tunnel routier du St-Gotthard (TI)
- le tunnel de Mappo-Moretina (TI)
- le tunnel ferroviaire de la Furka (VS)
- le tunnel ferroviaire du Ricken (SG).

Dans le dernier exemple, la chaleur présente dans l'eau du tunnel est utilisée pour chauffer une salle polyvalente à Kaltbrunn.

Première étape des travaux: un tiers de l'énergie

Le tunnel ferroviaire qui traverse le Ricken sur une longueur de 8,6 km relie St-Gall à Rapperswil. L'entrée sud se trouve aux abords du village de Kaltbrunn, où l'écoulement est de 690 litres d'eau par minute, à 12,3 °C. Le débit et la température ont une influence décisive sur le nombre des consommateurs de chaleur pouvant être raccordés. À Kaltbrunn, les premiers raccordements ont concerné la salle polyvalente, une installation de la Protection civile et une école maternelle, ce qui correspond seulement au tiers des possibilités. La production de chaleur se fait grâce à une pompe à chaleur à quatre étages, d'une puissance installée de 156 kW. L'énergie de chauffage produite annuellement est d'environ 250'000 kWh. L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur est d'environ 75'000 kWh par an. L'effet de substitution correspondant, qui se monte à environ 27'000 litres de mazout par an, réduit les émissions de CO₂ et la pollution de l'environnement qui en serait la conséquence.

Des investissements plus élevés qu'avec une technique traditionnelle

Du fait que les investissements ont été nettement plus importants, la réalisation de ce système de chauffage a conduit à un prix de revient de la chaleur supérieur à celui du chauffage traditionnel au gaz. Toutefois, on prévoit le raccordement d'autres consommateurs, ce qui fera baisser les coûts. Les frais supplémentaires par rapport à une technique classique ont été pris en charge par l'OFEN, le Canton de St-Gall et les NOK/SAK (Forces motrices du Nord-Est de la Suisse / Entreprises électriques de St-Gall et Appenzell), de même que la campagne de mesures d'une durée de deux ans (contrôle de qualité).

Bientôt d'autres projets de tunnels

L'utilisation de l'eau des tunnels à des fins énergétiques est d'autant plus intéressante que le débit et la température de l'eau sont élevés. De ce point de vue, on observe de grandes différences d'un tunnel à l'autre.

Sur la base des études géothermiques préliminaires, on s'attend à trouver des quantités considérables de chaleur utilisable dans les deux nouveaux tunnels de base du projet *AlpTransit* actuellement en construction, vu la grande profondeur par rapport à la surface du sol. C'est pour cette raison que les quatre Cantons concernés ont déjà fait part de leur intérêt pour la valorisation future de cette énergie. Avant de pouvoir être envoyées dans un collecteur ou à l'égout, ces eaux de tunnel doivent être constamment refroidies dans des bassins d'évaporation ou à l'aide de tours de refroidissement, conformément aux normes en vigueur de protection des eaux. Il nous semble plus judicieux d'utiliser cette énergie à l'aide d'échangeurs de chaleur et de pompes à chaleur, plutôt que de la "détruire" ainsi.



Grâce à une pompe à chaleur, l'énergie provenant des eaux du tunnel du Ricken est employée pour chauffer la salle polyvalente de Kaltbrunn.
(Photos: R. Cotting)

Liens Internet

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

Résultats de
l'exploitation et
historique du
projet "Tunnel du
Ricken"
**www.
rickentunnel.ch**





Le tunnel ferroviaire du Ricken relie directement St-Gall à Rapperswil. Aujourd'hui, il est également utilisé comme source d'énergie.



Lorsque les pierres rougissent

Des tests très complets effectués à l'IPS confirment qu'une calcination industrielle est possible par l'énergie solaire

Anton Meier

Laboratoire
d'héliotechnique
Institut Paul Scherrer
CH-5232 Villigen

Enrico Bonaldi

QualiCal
CH-6901 Lugano

Armin Reller

Chef du programme
Chimie solaire/
Hydrogène de
l'OFEN

Alphons Hintermann

Responsable du
domaine Chimie
solaire/Hydrogène
de l'OFEN

L'été dernier, le Laboratoire d'héliotechnique de l'IPS à Villigen a effectué des tests de grande envergure sur la calcination solaire. Les recherches visaient à tester une mise en œuvre industrielle qui pourrait entraîner une réduction considérable des émissions de CO₂ causées par l'homme à l'échelle du globe (la quote-part de la fabrication de chaux est de 7%).

La chauxfournerie transforme de la roche calcaire (CaCO₃) en chaux (CaO) qui est employée dans de nombreux domaines

Étude de faisabilité pour une installation de production industrielle

Anton Meier du Laboratoire d'héliotechnique de l'IPS affirme : "Le rayonnement solaire concentré nous offre assez d'énergie pour pouvoir réaliser ce procédé. Le dispositif d'essai installé dans le four solaire de l'IPS a une puissance d'environ 10 kW. L'une des questions que nous nous posions était de savoir quel type de construction propre à la technologie solaire pourrait convenir à une installation industrielle



(ciment, papier, produits chimiques, fer et acier, etc.). La transformation ne se fait intégralement que si la température dépasse 900 °C ; selon l'emploi prévu pour la chaux produite, cette température minimum requise peut aller jusqu'à 1'500 °C. Les installations classiques à four droit ou rotatif fonctionnent principalement au mazout ou au gaz. Le processus de combustion qui sert à chauffer la matière première libère du CO₂ et d'autres gaz à effet de serre. Ces émissions peuvent être éliminées par le recours à l'énergie solaire, tandis que la production de CO₂ au cours de la réaction chimique de calcination est inévitable.

Anton Meier (à gauche) de l'IPS, et Enrico Bonaldi de QualiCal, mettent leur savoir-faire en pratique lors de tests de la calcination thermosolaire.

d'une puissance de 0,5 à 1 MW. En étroite collaboration avec l'Institut des techniques énergétiques de l'EPF de Zurich et avec notre partenaire industriel, la jeune entreprise d'ingénierie QualiCal, spécialisée dans la technologie des procédés industriels, nous avons analysé les diverses conditions-cadres qui permettraient de passer à une application à plus grande

Réduction des émissions de CO₂ grâce à l'énergie solaire

Depuis des années, on utilise l'énergie solaire non seulement pour chauffer à basse température, mais aussi pour produire de la chaleur industrielle. Aujourd'hui, la réduction des émissions de CO₂ causées par l'homme est au centre des préoccupations ; ce qui ouvre à l'énergie solaire une nouvelle chance de remplacer les énergies d'origine fossile utilisées dans les procédés industriels. L'exemple de la chaufournerie, qui émet du CO₂ aussi bien lors de la production classique de chaleur que par la calcination elle-même, montre que la chimie solaire pourrait prendre une extension considérable. L'évolution de la société entraîne un besoin accru en énergie et en matières premières (pour la construction). C'est dans ce sens qu'une production écologique de la chaux peut contribuer de façon notable à la protection du climat et des ressources.

Des processus cycliques pour les agents énergétiques de demain

Le Laboratoire d'héliotechnique de l'IPS, en étroite collaboration avec la Chaire des sources d'énergie renouvelables de l'Institut des techniques énergétiques de l'EPF de Zurich, s'occupe de divers autres procédés de transformation des matériaux qui peuvent être réalisés à l'aide de l'énergie solaire. On s'intéresse surtout aux cycles thermochimiques en deux étapes pour la production d'hydrogène à partir de l'eau. Actuellement, les recherches se concentrent sur la production thermosolaire de zinc à partir d'oxyde de zinc. Au cours d'un procédé carbothermique, il est possible de produire, par exemple, à partir d'oxyde de zinc et de méthane, du gaz de synthèse, utile à la production de méthanol, ainsi que du zinc utilisable dans les batteries (batteries Zn-air) et pour la production d'hydrogène. Le but reste la création de circuits fermés de matériaux qui soient une solution d'avenir pour la production d'agents énergétiques.

échelle." Au départ, il a fallu déterminer les caractéristiques de la matière première utilisée pour ce projet solaire. Les essais dans notre four ont eu lieu avec du marbre de Carrare pur, une roche calcaire à gros cristaux de 1 à 5 mm. Des essais préalables ont été faits dans un four électrique. La durée de séjour dans le four nécessaire à la calcination complète a été déterminée pour diverses températures et dimensions des particules. Cela a permis de comprendre que cette durée dépendait de façon précise de la température, de la grosseur des grains et de l'épaisseur de la couche.

L'étape suivante a été l'étude de la cinétique de la calcination dans le simulateur solaire de l'EPF de Zurich ; on y a exposé des échantillons à un rayonnement allant jusqu'à 10 kW, avec une irradiance maximum de 2'000 kW/m² (soit l'équivalent de 2'000 soleils). Les résultats de ces tests ont servi



Installation d'essai de calcination avec réflecteur parabolique. L'utilisation de l'énergie solaire pourrait abaisser considérablement le niveau élevé des émissions de CO₂ lors de la fabrication de la chaux et contribuer ainsi à une stabilisation du climat.

à la définition d'un modèle numérique qui permet de caractériser le réacteur solaire et le processus de calcination. En se basant sur ces études préparatoires, la construction d'une installation expérimentale à placer dans le four solaire de l'IPS a pu être entreprise en toute confiance.

Installation d'essai avec héliostat et réflecteur parabolique à focalisation

L'évaluation des concepts possibles pour des installations solaires de production devait tenir compte d'une logistique rationnelle pour le procédé industriel. Dans ce sens, l'installation solaire disponible à l'IPS offrait des conditions idéales pour les tests de calcination puisque l'équipement d'essai pouvait y être placé de façon stationnaire et aisément accessible. Un héliostat qui suit le soleil dirige le rayonnement vers un réflecteur parabolique fixe qui le focalise ensuite à travers l'ouverture d'entrée, large de 8 cm, du réacteur solaire (soit un facteur de concentration allant jusqu'à environ 4'000). Grâce à la concentration du rayonnement, le réacteur solaire, qui consiste en un tonneau mobile autour d'un axe horizontal, est chauffé aux températures nécessaires. En traitant les valeurs mesurées de la distribution du flux énergétique avec un logiciel approprié, on a pu calculer la puissance solaire d'entrée et, par conséquent, le rendement du procédé.

Un dispositif innovateur de dosage a permis de choisir un flux de carbonate de calcium dans le réacteur solaire compris entre



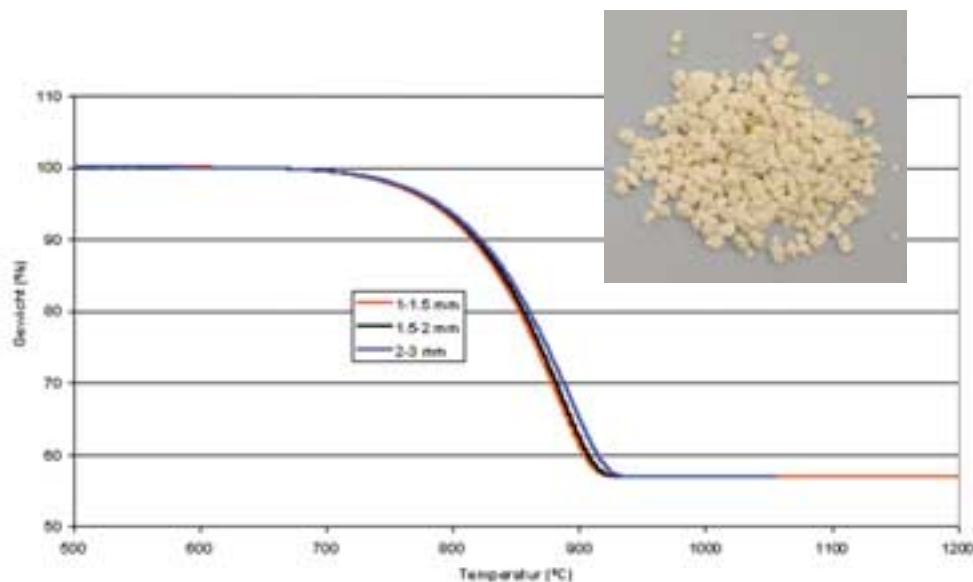


Diagramme de la perte de poids des échantillons de roche calcaire au cours du processus. Il permet de déterminer la vitesse de calcination idéale.

25 et 100 g/min et de le maintenir constant. Le degré de calcination a été poussé au maximum et la qualité requise de la chaux a été réglée à l'aide de la température du processus et de la durée du séjour des particules dans le réacteur solaire.

La chaux de qualité, un créneau pour l'industrie chimique

Enrico Bonaldi de la société QualiCal ajoute ceci : "En plus d'une recherche générique sur la faisabilité de la calcination solaire, ce qui nous intéresse surtout ce sont les conditions nécessaires à la production

d'une chaux aussi pure que possible. Ce matériau de qualité est utilisé essentiellement par l'industrie chimique. Contrairement à ce qui se passe dans les installations de production classiques, le réglage de la température est plus rapide dans une installation solaire ; cela fait que le procédé de calcination des particules employées ici peut être réglé de manière plus précise et qu'un plus grand choix de la qualité de la chaux pro-

duite est possible. Les recherches effectuées jusqu'ici ont été caractérisées par une coopération constructive et ont donné des résultats qui laissent prévoir la possibilité d'une réalisation avantageuse au niveau industriel."

Évidemment, les sites les mieux adaptés à la construction d'installations solaires de production sont ceux où le rayonnement est

Liens Internet

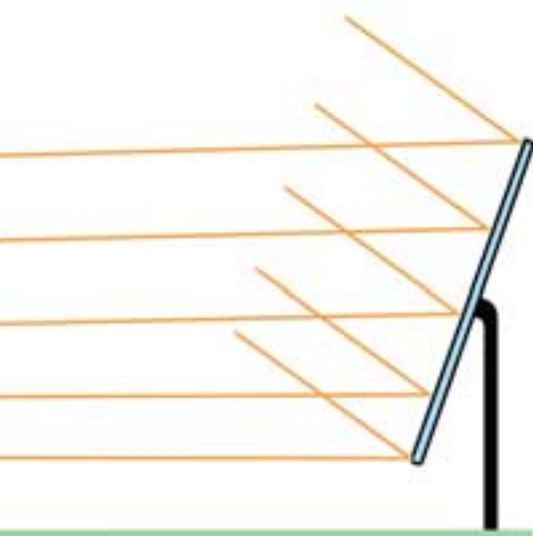
IPS – Laboratoire d'héliotechnique
<http://solar.web.psi.ch>

EPF Zurich – Institut des techniques énergétiques et Chaire des sources d'énergie renouvelables
www.pre.ethz.ch

Renseignements sur la calcination de la chaux : consulter la page d'accueil de QualiCal
www.qualical.com/solar



Les deux collaborateurs de l'IPS Daniel Wuillemin (à gauche) et Wojciech Lipinski, au poste de mesure situé derrière le réflecteur parabolique du four solaire de l'IPS.



L'héliostat, le réflecteur parabolique et l'installation expérimentale de calcination solaire constituent les trois éléments principaux des expériences faites à l'IPS.

important et où il y a des gisements de roche calcaire, c'est-à-dire dans la ceinture solaire de la Terre, en Afrique, par exemple.

Depuis des années, l'OFEN encourage les activités de l'IPS dans le domaine de la chimie solaire, dans le but de consolider à long terme le savoir-faire acquis.

L'union fait la force

Des experts suisses participent activement au Programme photovoltaïque de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)

Stefan Nowak

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

Urs Wolfer

Responsable du domaine Technologies solaires de l'OFEN

C'est en 1993, dans le dessein de renforcer la coopération internationale que le Programme "Photovoltaic Power Systems" (PVPS) de l'AIE a été lancé. Il s'agissait alors de permettre au photovoltaïque (PV) de devenir une option de poids parmi les sources d'énergie renouvelables. Aujourd'hui, les systèmes PV qui, à l'époque, constituaient un marché de niche réservé aux applications spéciales et aux biens de consommation, sont l'un des sujets de discussion importants en rapport avec les bâtiments et les énergies de l'avenir. Le Programme AIE PVPS travaille depuis ses débuts à cette ouverture du marché, au niveau des aspects aussi bien techniques que non-technique; la communication et la mise en réseau à l'échelle internationale figurent au premier rang de ses priorités.

Des stratégies pour des objectifs ambitieux

Le Programme AIE PVPS rassemble actuellement quelque 150 experts travaillant sur sept projets, appelés Tâches. La Suisse participe activement à six d'entre elles, apportant une contribution essentielle à la collaboration internationale et à l'échange d'expériences qui en découle. Les objectifs stratégiques sont au nombre de quatre :

1. Renforcement des mesures conduisant à une réduction du coût des applications PV

Les données sur la technique et la structure des coûts sont rassemblées, analysées et échangées à l'échelle internationale. Il en résulte des recommandations débouchant sur des applications avantageuses. Les conditions-cadres à l'intégration du PV dans les réseaux publics font aussi partie des questions étudiées dans une Tâche de ce Programme PVPS.

2. Intensification de l'évaluation des possibilités du photovoltaïque et de la collecte de nouvelles données caractéristiques

Une série d'activités régulières dans le domaine de la communication orale et écrite répondent à cet objectif. Le Programme AIE PVPS organise des conférences nationales et internationales de haut niveau.

3. Élimination de barrières techniques ou autres obstacles

Il s'agit ici notamment de méthodes d'étude des installations PV, de directives en rapport avec leur exploitation et avec leur analyse et de modèles de financement.

Le Forum international de l'énergie Sun21 encourage toute approche durable et efficace des questions énergétiques. Différentes manifestations dont le workshop "L'électricité solaire dans les cités européennes" ont montré comment cet objectif ambitieux pouvait être atteint.



Le Programme photovoltaïque AIE PVPS et les Tâches auxquelles la Suisse participe, grâce au soutien de l'OFEN et à celui du Seco :

Tâche 1

Informations générales

Nova-Energie à Aarau, Tänikon et Ettenhausen
www.novaenergie.ch

Tâche 2

Expériences en rapport avec l'exploitation, l'entretien et le dimensionnement des installations PV

TNC Consulting SA à Horgen
www.tnc.ch

Tâche 3

Installations PV non raccordées au réseau

Dynatex SA à Morges

Tâche 5

Raccordement des installations PV au réseau et intégration au bâtiment

EWZ à Zurich
www.ewz.ch

Tâche 7

Intégration du photovoltaïque à l'environnement construit

Enecolo SA à Mönchaltorf
www.solarstrom.ch

Tâche 9

Coopération au développement

Entec SA à St-Gall
www.entec.ch

Comité exécutif

NET SA à St-Ursen
Depuis avril 2001, la Suisse assure la présidence du Programme. Stefan Nowak est le troisième président de l'AIE PVPS ; ses prédécesseurs étaient Italien et Hollandais.

4. Coopération technique avec des pays non-membres de l'AIE

Le Programme PVPS est le premier programme de l'AIE à travailler dans l'un de ses propres projets avec des pays non-membres. Des modèles bi- ou multilatéraux de coopération avec ces pays sont à la base d'un échange d'informations, et également de l'analyse des possibilités techniques et économiques des installations PV. Il s'agit ici en premier lieu des aspects non-techniques de la coopération au développement.

Le photovoltaïque jouit d'une croissance supérieure à la moyenne

Au cours de la dernière décennie, le marché photovoltaïque a bénéficié d'un taux de croissance annuel de 20 à 30%. La puissance installée dans les vingt pays de ce programme AIE a, par exemple, été multipliée par sept de 1992 à 2000, pour atteindre 712 MW. Notons à ce propos que le Japon et l'Allemagne ont délibérément encouragé cette technologie ; ce qui a conduit chez eux à des taux de croissance particulièrement élevés. En conséquence, la production des cellules solaires et la recherche correspondante s'en sont trouvées stimulées dans

ces pays. L'utilisation du photovoltaïque donne aussi une chance à l'encouragement de la croissance durable et au combat contre la pauvreté dans les pays en voie de développement. Grâce à cet intense échange d'expériences et à sa participation active au Programme AIE PVPS, la Suisse a une occasion bienvenue de contribuer de manière coordonnée et à grande échelle au développement et à l'introduction de cette technologie du futur : la production d'électricité par voie photovoltaïque.

De l'électricité solaire pour les villes

Dans le cadre de Sun21, le 4^e Forum international de l'énergie, et du projet européen *PV City Guide*, des experts venus de toute l'Europe se sont retrouvés le 21 septembre 2001 à Bâle pour échanger leurs expériences relatives à l'utilisation du photovoltaïque dans les zones urbaines. Sous la présidence de Stefan

Nowak, des représentants et représentantes de diverses villes européennes et institutions internationales ont donné un aperçu des projets actuellement en cours et de l'application du photovoltaïque dans leurs secteurs d'activité respectifs. Le but

principal était la présentation des facteurs-clés du succès: la sensibilisation des responsables officiels, des concepts développés en partenariat, la création de conditions-cadres légales, etc.

L'idée que les villes européennes doivent passer de la réalisation de projets isolés à celle de concepts urbanistiques globaux et intégrés aux bâtiments, a été clairement exprimée. Ce souhait est soutenu de façon décisive par l'UE et la Suisse (Office fédéral de l'éducation et de la science, OFES), notamment par le biais des 5^e et 6^e Programmes-cadres de recherche, développement technologique et démonstration

(PCRDT) de l'UE. Ainsi, les sources d'énergie renouvelables devraient occuper une place plus importante dans le développement durable de l'urbanisme.

Le *PV City Guide* issu de ce projet est disponible à l'adresse suivante:
<http://pvcityguide.energyprojects.net>



Commercialisation plus difficile en Suisse

Des représentants venus de nombreuses villes européennes ont participé à un atelier qui s'est tenu à Bâle sur la production d'électricité solaire dans les zones urbaines et ont présenté leurs situations respectives. Stefan Nowak, le coordinateur technique du projet *PV City Guide*, fait part de ses réflexions:

Quelle est l'importance du photovoltaïque en Europe ?

Stefan Nowak:
Nous notons un dynamisme spectaculaire dans certains pays comme l'Allemagne, dont l'activité déteint sur de nombreux pays de l'UE, notamment les Pays-Bas et l'Espagne.



Que pensez-vous de la signification des programmes de promotion ?

Nous avons besoin de mesures appliquées à long terme qui pourront avoir un impact positif et durable sur le développement. Dans le domaine du photovoltaïque comme dans d'autres, la stratégie "stop and go" va à fins contraires.

Quelle est la situation de la Suisse ?

Les activités de recherche et de développement sont généralement reconnues au niveau international. Toutefois, elles ne doivent plus être considérées comme séparées de la commercialisation. Au cours des dernières années, le passage de la recherche à la commercialisation est devenu plus difficile et on remarque aujourd'hui de nettes différences d'un Canton ou d'une région à l'autre.

Quelles sont les conséquences de cette situation ?

Nous devons nous rappeler que les industriels concernés ont besoin d'une perspective à long terme. Nous sommes donc exposés au danger de perdre l'initiative si les conditions-cadres nécessaires ne sont pas créées.

Le matériau est à notre disposition

L'analyse des flux de matière et d'énergie confirme les objectifs de la recherche sur la biomasse

**Martin
Rüeggsegger**

Responsable du
domaine Biomasse
de l'OEFN

Daniel Binggeli

Responsable du
domaine Bois de
l'OFEN

La biomasse est un matériau organique généré par photosynthèse, utilisable directement comme combustible pour produire de l'énergie (par exemple, le bois). Le traitement de résidus de matières premières ou de déchets ouvre la voie indirecte vers des combustibles ou des carburants. Le recours à la biomasse en tant qu'agent énergétique doit s'opérer de façon aussi écologique et économique que possible, afin de remplacer efficacement les sources d'énergie fossiles et de réduire du même coup les émissions de CO₂. C'est pourquoi le programme de recherche Biomasse se concentre sur le traitement, la transformation et l'utilisation énergétique de la biomasse.

Augmenter la part de la biomasse à l'approvisionnement en énergie

L'objectif d'une croissance continue et durable de la quote-part de la biomasse à l'approvisionnement en énergie implique la connaissance approfondie des flux de matières et des quantités disponibles, qui conditionnent les variantes possibles. Cela est d'autant plus important que la statistique suisse de la consommation finale d'énergie affiche une quote-part des sources d'énergie renouvelables, biomasse comprise, de 16%. La contribution de la biomasse à ce résultat se monte à env. 20%, un chiffre remarquable. Sur le plan énergétique, les possibilités offertes par la biomasse ne sont cependant, à ce jour, que partiellement exploitées ; suivant la catégorie de matériaux considérée, la mise en œuvre de la

partie rentable de ce potentiel inexploité se situe à elle seule entre le double (bois) et le quintuple (déchets, agriculture) des valeurs actuelles. Techniquement parlant, il est possible d'aller encore beaucoup plus loin.

L'analyse des quantités crée les bases nécessaires de l'évaluation

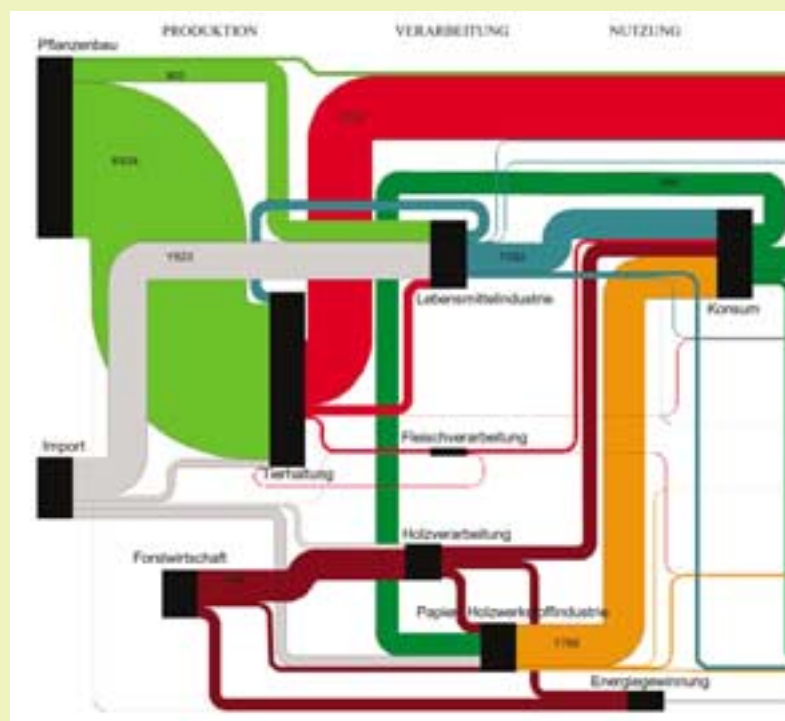
Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, la Haute École spécialisée de Wädenswil (HSW) a effectué une étude qui a permis de répertorier les principaux matériaux biogènes et les flux correspondants en Suisse, sur la base des statistiques disponibles, et de les représenter dans des diagrammes de flux massiques et énergétiques. L'analyse englobe les secteurs de la production, du traitement, de l'utilisation et des déchets.

Dans la production indigène de bois, les deux tiers aboutissent comme billes dans les scieries ; le reste est exporté. Lors du traitement, les 40% finissent comme résidus

Études :

- *Biogene Güter in der Schweiz ; Massen- und Energieflüsse* ; K. Scheurer, U. Baier; Haute École spécialisée de Wädenswil (HSW); 2001.
- *Fleischverarbeitung in der Schweiz ; Massen- und Energieflüsse* ; K. Scheurer, U. Baier; Haute École spécialisée de Wädenswil (HSW); 2001

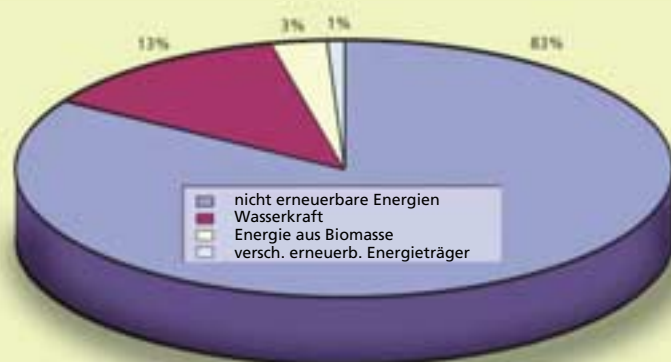
Diagramme des flux massiques des matériaux biogènes en Suisse (quantités de substance sèche SS). Pour les flux importants, la quantité est indiquée en millions de tonnes SS.





L'encouragement de la recherche en énergie biogène est coordonné par Martin Rüeggsegger (à gauche) dans le domaine de la biomasse en général et par Daniel Binggeli dans celui du bois.

La quote-part de la biomasse à la consommation suisse d'énergie se situe actuellement encore en dessous de 3% ; la biomasse offre cependant des possibilités sensiblement plus larges dont il faut tirer parti.



utilisés dans l'industrie du papier et de la cellulose, dans celle des produits en bois, ou encore comme bois d'énergie. 23% de la production de bois sont destinés directement aux applications énergétiques. Jusqu'à ce jour, l'objectif du programme de recherche Bois de l'OFEN était de poursuivre l'amélioration des conditions permettant l'augmentation du nombre et le renouvelle-

ment des chauffages au bois ; pour cela, le rendement, les émissions de gaz, l'assurance qualité et la rentabilité ont été étudiés. Il s'agit dorénavant aussi de développer des

HSW : tout pour la durabilité

Depuis 1994, la biotechnologie fait partie des compétences principales de la Haute École spécialisée de Wädenswil (HSW). Parallèlement à la mise en place d'un cycle d'études en biotechnologie, on a également pu offrir à des partenaires extérieurs des services et des projets

de recherche appliquée et de développement menés au sein de l'école. Son Groupement de Biotechnologie de l'environnement réalise la synthèse des sciences de l'environnement et de la technique des procédés industriels, aussi bien dans l'enseignement que dans la recherche appliquée et le développement. Grâce aux experts de l'environnement qui font partie de l'équipe pluridisciplinaire de la HSW, il est aujourd'hui possible de condui-

re des projets consacrés au développement de procédés et de produits, de réaliser des études de faisabilité et d'élaborer des concepts, enfin d'analyser des données dans les domaines suivants :

- Technologie du biogaz
- Traitement biologique des eaux usées
- Génie de l'environnement
- Lutte biologique contre les parasites.

La biotechnologie dans la formation et les services

Urs Baier, chargé de cours en biotechnologie de l'environnement, précise : "Une étude de marché a démontré que ce cycle d'études correspond à un besoin et qu'il permettra de couvrir l'une des technologies-clés du futur. Nous formons environ 35 ingénieurs en biotechnologie par an."

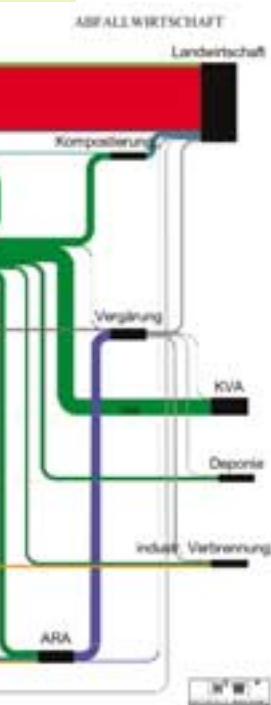
La HSW se met également à disposition du monde de l'industrie et de la recherche pour

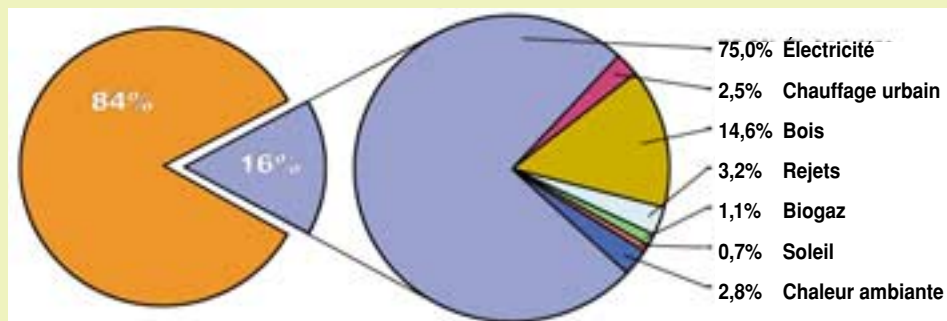
Wädenswil souhaite la bienvenue avec un thème agricole.



des prestations et des projets de recherche appliquée et de développement. Souvent, les services offerts complètent les cours. Les projets sont définis aussi bien par la HSW seule qu'en collaboration avec des partenaires provenant d'autres Hautes Écoles et des universités ; ils sont réalisés en collaboration avec ces partenaires et avec le monde industriel. Dans ce sens, la Haute École spécialisée de Wädenswil peut jouer son rôle de centre de compétences et ainsi participer à des projets pluridisciplinaires.

Le Groupement de Biotechnologie de l'environnement de la Haute École spécialisée de Wädenswil (HSW) s'engage résolument dans des projets pluridisciplinaires en rapport avec les questions énergétiques.





Quote-part des sources d'énergie renouvelables à la consommation globale d'énergie en Suisse pour l'année 2000.

systèmes de chauffage au bois adaptés aux maisons à basse consommation d'énergie, toujours plus nombreuses.

Le recyclage des matériaux a fait ses preuves

Le traitement de la biomasse englobe l'ensemble des procédés de l'exploitation industrielle. On relèvera ici notamment les aspects spectaculaires du recyclage en rapport avec la production de compost et la récupération du vieux papier. Les déchets biogènes de provenance domestique ou artisa-

nale peuvent être estimés à 775'000 t et leur transformation en compost s'effectue aussi bien de façon centralisée que localement, de manière décentralisée. Jusqu'ici, les installations de biogaz occupent encore une place plutôt modeste dans ces flux de matériaux.

Un objectif essentiel lors de l'optimisation des flux de matériaux est la séparation rigoureuse des matières propres de celles qui sont souillées, ce qui permet, par exemple, dans le cas du ramassage des déchets verts, d'obtenir, après fermentation et

Rendre les faits visibles

L'étude sur les flux biogènes de masse et d'énergie en Suisse, commandée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), offre un bon exemple de prestation globale. À ce propos, la biologiste Karin Scheurer dit : "Le but principal de cette étude a été d'identifier, de comprendre et de quantifier les flux de biomasse les plus importants et les processus qui y sont associés. Ce faisant, l'OFEN voulait créer une base commune pour de futures discussions sur les quantités en présence et les moyens de valorisation des matériaux biogènes."

Dans le domaine des technologies en rapport avec le biogaz, la HSW offre un support pour le développement et l'optimisation de procédés anaérobies (études de fai-

sabilité anaérobie). Cela comprend un éventail complet, qui va de l'analyse des situations au pilotage des procédés, en passant par la détermination des possibilités de décomposition anaérobie. Citons quelques exemples d'études de faisabilité parmi d'autres : la valorisation anaérobie des sous-produits d'abattoir, l'évaluation du taux de dégradabilité et de la production possible de biogaz à partir des eaux d'égout de l'industrie alimentaire, le dépouillement des données d'exploitation de l'installation solaire de séchage des boues de curage située à Bilten. Urs Baier ajoute : "D'une part, les boues de curage ne pourront plus, à l'avenir, être utilisées en agriculture ; d'autre

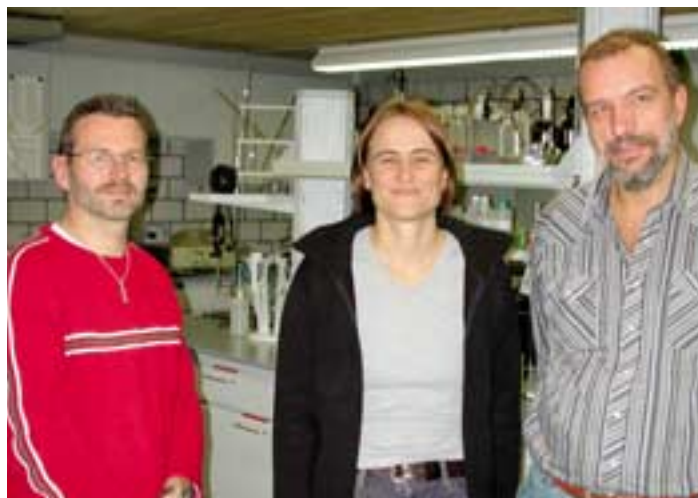
Swiss BioteCHnet

Le réseau de compétences "Swiss BioteCHnet" a été créé en mai 1999 par cinq Hautes Écoles spécialisées qui s'occupent de biotechnologie, dont la HSW. Il est officiellement reconnu depuis le printemps 2001. Sur la base des compétences de la HSW, trois lignes d'action principales ont été définies : la bio-analyse, la création de biomolécules et l'ingénierie des tissus. Un cycle de formation en cours d'emploi, par modules, est offert sur les thèmes correspondants.

Liens Internet

Présentation de la Haute École spécialisée de Wädenswil (HSW)
www.hswzfh.ch

Renseignements de première main sur les biotechnologies à la HSW et sur "Swiss BioteCHnet"
www.biotechnologie.ch



La biotechnologie fait partie des compétences centrales de la Haute École spécialisée de Wädenswil depuis 1994. Urs Baier, Karin Scheurer et Hans Rudolf Zweifel (de g. à d.) font partie de son Groupement de Biotechnologie de l'environnement.

redistribution, un terreau et des engrais de qualité irréprochable. Les flux de matériaux contenant des médicaments, des métaux lourds, etc. (par exemple, les boues d'épuration) doivent être éliminés du circuit biogène. C'est uniquement de cette façon qu'on peut créer des conditions-cadres écologiquement et économiquement durables.

Le rôle particulier de l'élevage des animaux

Les diagrammes de flux massiques et énergétiques en rapport avec les matériaux biogènes en Suisse révèlent, d'une part, l'état actuel des quotes-parts respectives, ce qui facilite aussi la détermination des stratégies à suivre ; d'autre part, ils fournissent des renseignements sur les rapports existant entre les intervenants et les démarches successives dans lesquelles ils sont impliqués.

part, il y a toujours une quantité importante de biomasse disponible en Suisse, qui ne demande qu'à être utilisée pour produire de l'énergie. Le biogaz est d'actualité et le restera. Nous investissons ici toute notre expérience en matière d'environnement et de technologie."

La HSW collabore activement à des projets-pilotes

La Haute École spécialisée de Wädenswil a également contribué scientifiquement à la conception de la partie anaérobie de la bioraffinerie de Schaffhouse. On y emploie un procédé nouveau qui transforme de l'herbe en fibres, protéines et biogaz à travers diverses étapes de traitement. Le concept peut également être appliqué à d'autres matières premières et offre ainsi un éventail intéressant d'applications possibles.

À côté des prestations traditionnelles, le Groupement de Biotechnologie de l'environnement de la HSW compte s'engager dorénavant dans des projets de grande envergure et pluridisciplinaires en rapport avec les questions énergétiques. En ce moment, il s'occupe du sujet d'actualité qu'est la mise en valeur des déchets animaux et des boues de curage par d'autres filières que jusqu'ici.

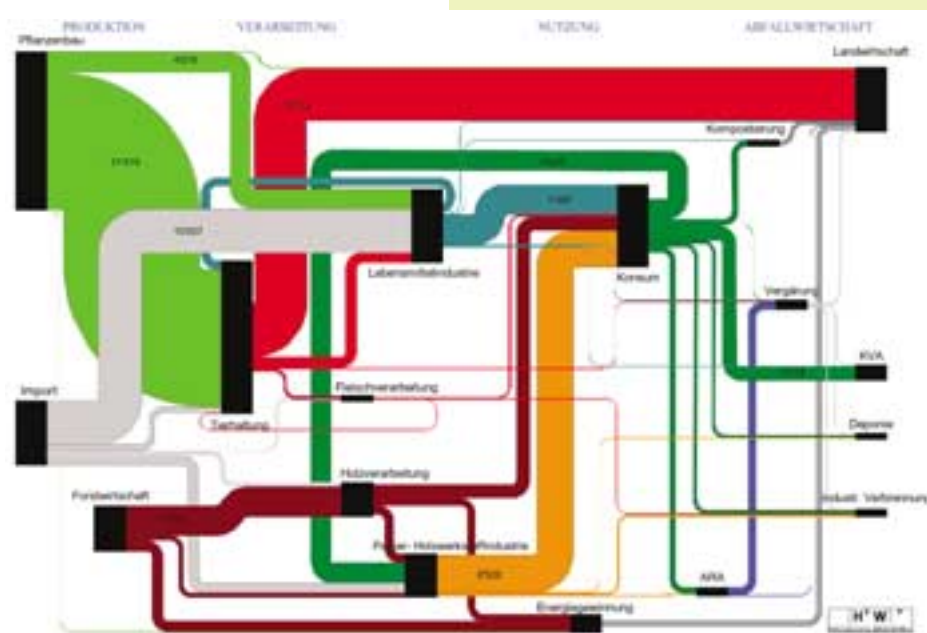
On y décèle que les flux biogènes quantitativement les plus importants proviennent de l'affouragement et de l'élevage des animaux (fumier et purin compris), ce qui justifie l'attention toute particulière accordée à ce secteur.

Cette analyse confirme le bien-fondé de la ligne suivie jusqu'ici en matière d'encouragement de la RD&D dans le domaine de la biomasse ; l'accent est mis sur l'approfondissement des connaissances en rapport avec l'étude, la construction et l'exploitation d'installations de biogaz au niveau industriel, communal et surtout agricole, entre autres aussi sur le concept de la codigestion d'engrais de ferme et de résidus organiques de provenances diverses. Depuis quelque temps, la plus haute priorité va au renforcement de la mise en œuvre des résultats de longues années de recherche,

À la HSW, les activités de recherche dans le domaine de la biotechnologie sont multiples. À l'avenir, on les percevra plus souvent de l'extérieur, et de manière plus pointue, quand la HSW présentera ses compétences comme partenaire au sein de projets pluridisciplinaires. Le réseau "Swiss BioteCHnet" des Hautes Écoles spécialisées, auquel participent les HES des Deux Bâle, de Berthoud, Winterthur, Zurich et Wädenswil, est l'une de ces voies de communication.

par la réalisation d'installations. Actuellement, par exemple, une bonne douzaine d'installations, qui appliquent à relativement grande échelle ce principe de la co-digestion, sont en service et leur exploitation est rentable. Car, d'une manière générale, cette technique conduit à un meilleur rapport coût/bénéfice dans les installations agricoles de biogaz, puisque l'augmentation de la quantité de gaz obtenue permet de produire davantage d'électricité avec l'unité CCF. Un avantage supplémentaire réside dans le circuit fermé qui en résulte, facile à superviser et de bon rendement énergétique. Ces installations ont déjà largement fait leurs preuves et ouvrent la voie à une importante filière pour l'exploitation future des agents énergétiques biogènes. Toutefois, dans le contexte global, il faut rester réaliste et ne pas surévaluer les possibilités offertes. Les succès obtenus jusqu'ici en matière d'exploitation de la biomasse confirment que seule la collaboration et la mise sur pied de partenariats pour mener à bien les projets peuvent amener une percée. L'économie, la recherche, la Confédération, les Cantons et les Communes apportent ici chacun une contribution précieuse au renforcement des sources d'énergie renouvelables.

Diagramme des flux énergétiques des matériaux biogènes en Suisse, en GWh. On constate ici une correspondance frappante avec le diagramme des flux massiques.





Conception compacte

L'installation de biogaz de Zernez au service de la gastronomie et de l'agriculture

Au cours de l'été 1999, la famille Grass de Zernez a construit elle-même une installation compacte de biogaz, à côté de l'étable. Le travail se basait sur un manuel élaboré avec le soutien de l'OFEN et sur des connaissances acquises grâce à la fréquentation de cours et à des visites d'installations de démonstration en exploitation, financées par l'OFEN. Philipp Grass ajoute: "C'est grâce au Service des boissons pour restaurants et hôtels de la région que mon père a d'abord eu l'idée de fabriquer du compost avec des restes de nourriture. Mais ce système de valorisation n'est malheureusement pas adapté aux conditions climatiques de notre région. Cela nous a poussés à nous tourner vers la production de biogaz. Le fait de tout construire nous-mêmes nous a obligés à découvrir tous les aspects de cette technique."

L'exploitation biologique s'occupe de la valorisation des restes alimentaires de la région

L'exploitation agricole biologique se consacre à l'élevage bovin et compte 47 vaches et une cinquantaine de veaux ; ce qui représente un cheptel d'environ 65 unités de gros bétail. Avec environ 250 tonnes

de restes alimentaires disponibles par année, c'est juste ce qu'il faut à une installation compacte de biogaz ; ces chiffres conduisent aussi à un bilan nutritif favorable.

L'installation, basée sur un concept standardisé, est exploitée depuis septembre 1999. Elle travaille de 10 à 13 heures par jour et produit environ 150'000 kWh d'électricité par an.

Une installation compacte de dimensions standard

Cette installation faisait partie de la série de trois objets pilotes et de démonstration de l'OFEN destinée à tester dans la pratique le mode de construction compact, avantageux en terme d'investissement. Le réservoir à gaz est réalisé en matière synthétique extensible et a été placé au-dessus du digesteur afin d'économiser de la place. La chaleur produite par l'installation combinée chaleur-force modulaire (45 kW_{el}), avec moteur à combustion interne et générateur, permet, d'une part, d'assurer une température de fermentation optimale de 35 à 40 °C

dans le digesteur et, d'autre part, de subvenir aux besoins domestiques.

Les caractéristiques des substances résiduelles (lisier) sont considérablement améliorées par la fermentation qui a lieu dans l'installation de biogaz. Une quantité supérieure d'azote assimilable par les plantes a un effet positif sur les prés, surtout en Engadine où les périodes de végétation estivales sont courtes. Enfin, il y a moins d'émissions d'odeurs à l'épandage du lisier.



Filipp Grass: "L'installation compacte de biogaz représente une activité idéale pour notre exploitation."

Liens Internet

Le producteur de biogaz Grass de Zernez fait partie de l'Association des producteurs d'électricité écologique
www.oekostrom-ch.ch

Renseignements complémentaires sur l'énergie et l'environnement
www.energieundumwelt.ch

Le réservoir à biogaz en matière synthétique offre des conditions idéales, également pour la production hivernale, et ce malgré la rigueur du climat local.



Une augmentation de la production est possible

Filipp Grass précise : "La neige et la glace ne posent aucun problème pour la production de biogaz. L'installation a un fonctionnement fiable pendant toute l'année et est en grande partie automatisée. Si les conditions de reprise de l'électricité que nous produisons ici étaient meilleures, nous pourrions atteindre la rentabilité prévue et même augmenter notre production. À côté des restes alimentaires, nous utilisons également de la vieille huile de table utilisée en gastronomie, que nous faisons préalablement contrôler par un laboratoire pour être certains qu'elle ne contient pas de traces d'huiles minérales. En été, lorsque le bétail est dehors, nous mélangeons petit à petit le matériel de litière de la saison hivernale aux produits introduits dans le digesteur. Enfin, nous avons placé des conteneurs spéciaux devant notre établissement, afin que la population locale puisse y déposer ses déchets verts."



Une partie de la chaleur industrielle est utilisée pour la fermentation, l'autre partie est envoyée dans un réservoir avec chauffe-eau (en haut) pour la consommation domestique. Les tonneaux avec les restes alimentaires (à g.).

Du biogaz pour des piles à combustible

Sulzer Hexis SA développe, produit et commercialise des piles à combustible SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) à haute température. L'appareil de la série d'essai est conçu pour fonctionner avec du gaz naturel comme combustible.

Mais la technologie SOFC est peu exigeante quant à la qualité du gaz et accepte de nombreux combustibles. Depuis octobre 2001, l'installation de biogaz Chabloz à Lully (VD) accueille une installation pilote.



La pile à combustible SOFC est montée à côté de l'installation de production de biogaz de Lully; les essais peuvent commencer.

La pile à combustible travaille en parallèle avec l'installation CCF modulaire en exploitation chez cet agriculteur. Le biogaz est analysé pratiquement sans interruption pour déterminer la teneur en méthane et en gaz carbonique et mesurer l'efficacité du filtre introduit pour éliminer l'hydrogène sulfuré, l'ammoniac et les composés chlorés.

Les essais antérieurs en laboratoire ont montré que les performances ne sont que peu affectées par la composition du gaz. Les essais en cours, qui sont encouragés par l'OFEN et qui dureront jusqu'en août 2002, ont pour but de déterminer dans quelle mesure cette installation décentralisée de production combinée d'électricité et de chaleur à partir du biogaz fait ses preuves dans la pratique.

www.hexis.ch

Tomber sur un terrain fertile

Une opération de *marketing* en faveur de l'utilisation de la biomasse dans toute la Suisse porte ses fruits

Dans le cadre du programme SuisseEnergie, la société Ernst Basler + Partner SA a mis sur pied au cours de cette année, en collaboration avec Biol Conseils SA et pour le compte de l'Office fédéral de l'énergie, deux centres d'information (l'un en Suisse alémanique, l'autre en Suisse romande) sur le thème de l'utilisation de la biomasse (sans le bois) comme source d'énergie. Pendant de nombreuses années, Ernst Basler +



Hans-Christian Angele : "Le matériel d'information mis au point peut toucher un public encore plus large."

Partner SA s'est occupée de consultations dans les domaines de l'énergie et de l'environnement, de projets énergétiques, d'installations d'épuration des eaux usées, etc., ainsi que d'opérations de communication et de relations publiques. L'expérience acquise au cours de ces activités lui permet maintenant de se lancer dans une opération de marketing au niveau national, dont le but est d'intensifier l'utilisation des technologies liées à la biomasse. Le chef du projet, Hans-Christian Angele, nous parle des mesures concrètes prises par ces centres d'information.

Quelles sont aujourd'hui les conditions-cadres qui prévalent pour la valorisation de la biomasse ?

Hans-Christian Angele : Notre point de départ est l'utilisation de l'énergie contenue dans les déchets organiques produits quotidiennement, déchets dont la quantité devrait se situer entre 1 et 1,5 million de tonnes par an. Seuls 10% environ des déchets verts collectés séparément aujourd'hui – ils sont 500'000 t par année – sont utilisés à des fins énergétiques. Au moins un quart des 2,6 millions de tonnes d'ordures ménagères brûlées dans les usines d'incinération pourraient être transformées par fermentation. De plus, 300'000 t de verdure sont enlevées ou compostées en dehors de toute centralisation et échappent à la statistique des déchets. Enfin, l'agriculture offre des possibilités qui n'ont pas encore été épuisées. Dans tous ces cas, il est aussi important de prendre en considération des solutions globales et pluridisciplinaires potentiellement rentables. C'est pourquoi nous voulons tout d'abord sensibiliser les personnes, leur montrer les utilisations et les possibilités offertes, et donner des conseils pratiques aux intéressés.

En ce moment, vous mettez l'accent sur les projets communaux et artisanaux. De quels systèmes de valorisation peut-on parler dans ce cas ?

Diverses approches couronnées de succès ont démontré que l'on obtient un effet d'évergure lorsque l'on trouve d'abord des solutions dans les agglomérations et que l'on fait en sorte que la population puisse voir les effets de l'utilisation flexible des produits finaux, tels que l'électricité, la chaleur et le carburant. Les déchets organiques sont traités de façon pratiquement inodore dans les installations de digestion et produisent surtout du biogaz, du compost et de l'engrais liquide. Il faut citer ici les installations de gaz de compost qui contribuent à l'essor des véhicules à gaz, et les réseaux régionaux de chauffage. L'installation du Seeland à Aarberg, par exemple, transforme le biogaz en électricité et livre la chaleur résiduelle à l'entreprise E. Bernasconi SA qui produit des éléments préfabriqués en béton. Un autre projet intéressant est celui de l'entreprise ROM à Frauenfeld où

Un circuit fermé à la Migros

En se basant sur le concept d'élimination des déchets intitulé "L'énergie de la biomasse", la Coopérative Migros Zurich a mis sur pied un circuit fermé de matières biogènes en collaboration avec la société Kompogas SA. Ce circuit permet de traiter la totalité des déchets verts de l'entreprise en provenance des succursales et de la production, ainsi que les restes de repas; ces matériaux sont transformés en biogaz qui est à son tour utilisé pour les transports de l'entreprise. Chaque année, environ 2'500 t de biomasse servent à produire de l'énergie (et de la terre de com-



post) et remplacent environ 250'000 litres de diesel. Ce biogaz constitue le carburant de huit camions et d'un véhicule de service de la coopérative, qui livrent les produits frais à plusieurs succursales peu éloignées. On estime à environ 60'000 t de biomasse les possibilités d'utilisation offertes par l'ensemble



L'information sert à la sensibilisation ; elle est donc un facteur important de succès.

la production de compost occupe une place plus importante.

Quelles actions avez-vous réalisées jusqu'à présent ?

Puisque les municipalités jouent un rôle important, nous nous sommes particulièrement occupés d'elles pendant cette période. Nous étions présents entre autres à la foire spécialisée "Communes 2001" (BEA Berne) où nous avons eu de nombreux contacts. Nous réalisons également des séances d'information pour les municipalités afin de pouvoir répondre aux questions plus concrètes. Nous avons préparé le matériel nécessaire, en français et en allemand, rassemblé dans un dossier d'information ; ce qui nous permet maintenant de nous adresser à un public plus large. Toutes nos informations se trouvent sur le site Internet www.biomasseenergie.ch. Nous espérons que la conférence de presse nationale du 19 septembre passé conduira à moyenne échéance à la publication d'articles de fond sur ce sujet.



Plusieurs camions de la Coopérative Migros Zurich fonctionnent au biogaz produit par les propres déchets de la Coopérative.

des Coopératives Migros de toute la Suisse. La réalisation zurichoise devrait encourager l'emploi des véhicules à gaz et montrer que l'idée du circuit fermé "matériaux biogènes + transports" n'est pas une utopie.

Liens Internet

Lien Internet sur l'utilisation de l'énergie de la biomasse

www.biomasseenergie.ch

Centre d'information en Suisse romande : Biol Conseils SA à Fribourg

www.biolconseils.ch

Centre d'information en Suisse allemande : Ernst Basler + Partner SA à Zollikon

www.ebp.ch

Centre d'information sur l'environnement de la Migros Zurich

www.miosphere.ch

La société Kompogas SA transforme la biomasse en carburant

www.kompogas.ch

Les installations communales et artisanales seront-elles toujours votre préoccupation principale en 2002 ?

Oui, nous voulons continuer à agir dans ce sens l'année prochaine ; mais nous voudrions aussi nous occuper d'autres questions comme la formation professionnelle, continue ou de base, des employés des exploitants de ces installations et des responsables communaux de la voirie. Nous prévoyons également un échange approprié des expériences entre les milieux concernés afin d'améliorer la valorisation de la biomasse. Parmi les nouveautés, nous allons nous engager davantage en faveur de la codigestion pour laquelle tous les intervenants (agriculteurs, entreprises de service et communes) devront collaborer. Nous voyons là un facteur de succès essentiel, si la sensibilisation préalable est tombée sur un sol fertile.

D'après vous, comment va se développer le domaine de l'utilisation de la biomasse ?

Nos enquêtes ont démontré que l'idée du tri des déchets avant leur ramassage est bien accueillie par la population. Si le ramassage est adapté en conséquence, les déchets biogènes pourront être utilisés à une échelle beaucoup plus grande. Aujourd'hui, nous avons une technique bien au point pour produire du biogaz ; l'approvisionnement décentralisé en énergie ainsi réalisé est neutre en terme de CO₂. En rassemblant tous les intervenants, on arrive à trouver des solutions judicieuses et intéressantes, comme le projet de la Coopérative Migros Zurich le montre fort bien.

IEA Bioenergy

Grâce à la participation active de la Suisse au Programme Biomasse de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), des experts suisses ont eu l'occasion de contribuer aux échanges d'informations et de collaborer aux projets de la recherche mondiale, avec pour objectif la généralisation de l'utilisation de la biomasse. De nos jours, à l'échelle du monde, les matériaux biogènes couvrent 14% des besoins primaires en énergie. Il est parfaitement réaliste d'envisager une nouvelle progression importante. En Allemagne, on escompte, sur la base de la loi sur les sources d'énergie renouvelables, une quote-part de 10% à moyen terme, et à long terme de 30%, alors que la valeur actuelle est de 1%.

Le projet AIE "Energy from Biological Conversion of Organic Waste", qui s'est déroulé de 1998 à 2000, avait pour objet la production, le traitement et l'utilisation du biogaz. Le projet "Energy from Biogas and Landfill Gas" poursuit ce travail de 2001 à 2003 sous la direction de la Suisse. L'OFEN, responsable en tant qu'*Operating Agent*, a confié la direction des opérations à Arthur Wellinger (Nova Energie Sàrl, CH-8356 Ettenhausen).

www.ieabioenergy.com

Quand l'optimisation remplace du courant

Dans l'agriculture, l'utilisation ciblée des sources d'énergie renouvelables permet une réduction des besoins en électricité

**Jean-Louis Hersener
Urs Meier**

Consortium "REAL"
c/o Bureau d'ingé-
nieurs Hersener
CH-8542
Wiesendangen

Dans l'agriculture, la mécanisation a conduit à une augmentation de la consommation d'énergie achetée. Aujourd'hui, une exploitation moyenne de plaine qui se consacre à la production laitière et aux cultures, consomme environ 14'000 kWh d'énergie électrique et à peu près 5'000 litres de carburant par an. Pour la Suisse entière, cela correspond à 775 GWh de courant, 178 millions de litres de diesel et 27 millions de litres d'essence. À quelles fins ces énergies sont-elles utilisées ? Où serait-il possible de les employer de façon plus rationnelle ? Et où pourrait-on employer la biomasse à plus grande échelle ? Voilà les questions auxquelles l'étude "Utilisation rationnelle de l'énergie dans l'agriculture" apporte une réponse, étude commandée par l'OFEN et publiée vers le milieu de l'année 2001.

Réduire la consommation d'électricité – Économiser le carburant

L'analyse énergétique a démontré que la consommation d'électricité ne concernait pratiquement que l'élevage. Ici, ce sont principalement la réfrigération du lait, la climatisation des bâtiments, le nettoyage et la production d'eau chaude ainsi que le séchage du foin qui sont en cause. Il serait possible, par exemple, d'économiser de l'énergie en installant des capteurs solaires thermiques destinés au séchage du foin et à la production d'eau chaude. En ce qui concerne la réfrigération du lait, on pourrait récupérer de l'énergie avec une pompe à chaleur. Dans l'ensemble, on estime à environ 35% la réduction possible de la consommation de courant par rapport à la valeur actuelle.

Le tracteur représente l'outil de travail le plus important pour la culture des champs. La consommation annuelle moyenne pour un hectare de terrain agricole est d'environ 200 litres de diesel et dépend beaucoup du genre de culture. Les motofaucheuses sont les plus grandes consommatrices d'essence et servent principalement à la préparation

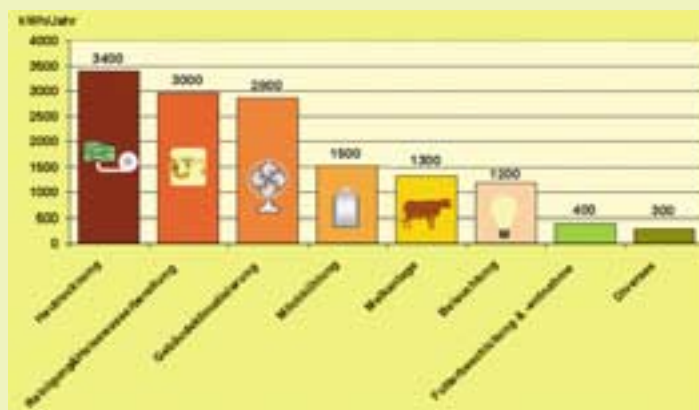
du fourrage. À cela s'ajoutent les déplacements en automobile pour la livraison du lait et les transports. Une économie de carburant peut être réalisée par des mesures bien connues, telles que le contrôle de la pression des pneus, des services d'entretien réguliers, une façon défensive de conduire, etc.

Les sources d'énergie renouvelables à portée de main

Dans les exploitations agricoles, le colza, le bois et le purin représentent la plus importante biomasse utilisable pour la production d'énergie. À l'aide des sources d'énergie renouvelables, il est possible de produire



Pour la culture des champs, le tracteur est l'outil le plus important pour un travail rationnel. Mais il est aussi le principal consommateur de diesel.



jusqu'à 100% de la chaleur nécessaire, par le chauffage au bois; de même pour l'électricité, en recourant aux installations fonctionnant au biogaz.

Bien que le potentiel de la biomasse dans l'agriculture soit considérable, un approvisionnement autarcique en énergie comprenant des carburants et du courant électrique n'est pas réaliste dans les conditions actuelles. Pour l'énergie de chauffage, on voit bien comment on pourrait procéder par étapes et obtenir une réduction marquante de la consommation d'énergie par rapport à aujourd'hui. Mais l'utilisation accrue d'électricité et de carburants produits à partir de la biomasse nécessite encore des conditions de base nettement améliorées.

Consommation d'électricité pour les divers travaux dans une exploitation moyenne de plaine se consacrant à la production laitière et à la culture des champs.

La bioraffinerie produit des fibres et de l'énergie

En exploitation depuis le début d'octobre 2001, la bioraffinerie de Schaffhouse, la première du genre dans le monde entier, transforme l'herbe que lui livrent les agriculteurs en produits techniques. Elle devrait atteindre 50% de sa capacité de traitement d'ici la fin de l'année.

Un premier nettoyage, puis le conditionnement et le lavage précèdent la séparation des fibres et leur séchage. La chaleur nécessaire est fournie par une installation de couplage chaleur-force (CCF) modulaire fonctionnant avec le biogaz produit sur place ; sa puissance électrique est de 600 kW_{el}, sa puissance thermique de 805 kW_{th}. Ces produits fibreux d'un nouveau genre sont déjà commercialisés avec succès, par exemple, sous forme de produits en matière plastique renforcée à l'aide de ces fibres (caisses à outils). Après avoir été retravaillées, celles-ci peuvent aussi être utilisées sous forme de "2B-Gratec", un produit à insuffler comme isolation thermique dans des éléments de construction. Plusieurs toitures et un nouveau bâtiment Minergie ont déjà bénéficié de cette nouvelle méthode. Les parois acoustiques absorbantes sont une autre application de ces fibres, par exemple, pour l'aménagement des bureaux.

Les clients de la nouvelle raffinerie reçoivent directement leur biogaz (classé GreenGAS) et leur électricité (classée GreenSTROM) par les réseaux correspondants.

www.etawatt.ch
www.2bio.ch

Un aperçu des émissions

Les émissions d'oxydes d'azote et de particules des chaudières à bois automatiques en exploitation

Certes, les émissions d'oxydes d'azote et de particules des chaudières à bois en Suisse sont modestes à l'heure actuelle, à côté de celles de l'industrie, de l'artisanat et du secteur des transports. Toutefois, les chaudières de ce type émettent davantage de polluants par unité de chaleur utile que celles à mazout ou à gaz. Une étude encouragée par l'OFEN a permis de saisir et de chiffrer ces émissions sur la base de plus de mille mesures faites sur quelque 250 chaudières à bois automatiques en exploitation.

De meilleures perspectives commerciales grâce aux améliorations

L'étude a montré que les installations avaient pour la plupart une puissance nominale de chaudière de moins de 500 kW et qu'elles étaient alimentées avec du bois déchiqueté non traité ou avec des plaquettes. Ce sont celles qui, de par leur taille, auront les meilleures chances de s'imposer sur le marché. Mais leurs perspectives commerciales seront encore meilleures si l'on continue à améliorer leur compatibilité avec l'environnement en réduisant leurs émissions d'oxydes d'azote et de particules.

La principale source des oxydes d'azote est l'azote constitutif du bois lui-même. Mais les émissions dépendent aussi de la technique de combustion employée; on peut les réduire, par exemple, en introduisant l'air ou le combustible de manière étagée dans la chaudière. Le troisième groupe de facteurs déterminants est constitué par les

paramètres d'exploitation de la chaudière, tels l'excès d'air, la température et le facteur de charge.

Des rapports qui ressortent de l'analyse des mesures

Des particules solides et des aérosols se produisent aussi bien quand la combustion est complète que lorsqu'elle ne l'est pas; ces émissions sont donc composées soit de produits contenant du carbone, soit de substances minérales, sels et métaux. Contrairement aux émissions d'oxydes d'azote, celles de particules varient d'une chaudière à bois automatique à l'autre. Les chaudières à foyer volcan ont bien tendance à avoir des émissions plus réduites que celles à grille. Mais on observe une grande différence entre les valeurs les plus élevées pour les plaquettes et celles mesurées dans le cas du bois déchiqueté non traité.

Ce dernier combustible conduit aussi à des émissions d'oxydes d'azote plus élevées. L'excès d'air λ a ici une grande influence, une faible valeur de $\lambda = 1,5 - 1,7$ conduisant à des émissions nettement plus faibles.

Daniel Binggeli

Responsable du domaine Bois de l'OFEN

Étude:

Praxiserhebung über Stickoxid- und Partikelemissionen automatischer Holzfeuerungen; Erhebung und Auswertung von Emissionsdaten; Ph. Hasler et Th. Nussbaumer, Verenum Zurich, Andres Jenni, Ardens Särl, Liestal, décembre 2000

À commander auprès d'ENET.

Un peu plus d'essence pour plus de lumière

Une étude de l'EPF examine l'influence des feux de croisement sur la consommation moyenne

Lino Guzzella

Eric A. Müller

Institut des techniques de mesure et de réglage de l'EPF
CH-8092 Zurich

Martin Pulfer

Responsable du domaine Transports de l'OFEN

D'un point de vue énergétique, quelles sont les conséquences de la circulation des véhicules à moteur avec leurs feux de croisement allumés de jour ? Quelle sera l'influence de nouveaux développements techniques en la matière ? Dans une situation de trafic ordinaire, un véhicule moyen (pour la Suisse) consomme environ 0,25 litre de carburant en plus aux 100 km. Grâce à l'amélioration du rendement des ampoules et des générateurs, ce supplément de consommation devrait plutôt diminuer à l'avenir.

Les feux de croisement, un avantage certain

L'allumage des phares pendant la conduite automobile diurne sert principalement à éviter des accidents. Cette réglementation est en vigueur dans divers pays européens, notamment en Scandinavie, depuis de nombreuses années. Si elle a bien un avantage qui a été confirmé par de nombreuses études, elle présente aussi des inconvénients : une consommation accrue de carburant, éventuellement une plus grande usure des ampoules, l'attention des automobilistes détournée des piétons et des motocyclistes, etc.

Basé au départ tout simplement sur une valeur moyenne, un modèle de calcul a été perfectionné en plusieurs étapes au cours d'un travail de recherche encouragé par l'OFEN. Cette façon de procéder améliore la compréhension des relations physiques entre les divers éléments et permet d'identifier l'influence de chaque facteur. Elle a permis en fin de compte la vérification de l'exactitude du supplément de consommation calculé par simulation numérique. La puissance supposée des feux de croisement pour un véhicule de la classe moyenne est de 165 W, qui se répartissent comme suit : feux de croisement avant (2 x 55 W), feux de position avant (2 x 10 W), éclairage du hayon à l'arrière (2 x 12 W), éclairage de la plaque d'immatriculation (1 x 10 W) et du tableau de bord (1 x 1 W).

L'amélioration du rendement du générateur ouvre de nouvelles perspectives

Les calculs ont démontré que la consommation supplémentaire occasionnée par les feux de croisement ne dépend pas de la



La consommation supplémentaire d'essence occasionnée par l'utilisation des feux de croisement dépend principalement des rendements du générateur et du moteur.

consommation totale du véhicule ; les facteurs décisifs sont ici le rendement du générateur et celui du moteur. Les diverses améliorations prévues pour les véhicules – réduction de la consommation de carburant et des émissions de polluants, d'une part, amélioration du confort de conduite et de la sécurité, d'autre part – entraîneront une augmentation considérable de la consommation d'énergie par les appareils électriques. Afin d'améliorer le rendement de la production d'électricité et de sa distribution, on prévoit deux changements importants dans les années à venir : les installations à 12V seront remplacées par des combinaisons 12V/42V, puis par des installations à 42V. Les modifications concerneront notamment les générateurs et les lampes utilisés, ainsi que l'introduction de commandes automatiques pour les feux de route. Elles permettront de ramener le supplément de consommation à environ 0,1 litre aux 100 km, ce qui en diminuera sensiblement l'importance.

Liens Internet

Institut des techniques de mesure et de réglage de l'EPF de Zurich
www.imrt.mavt.ethz.ch

La combinaison produit plus d'effets

L'OFEN se base sur la combinaison avec des pompes à chaleur pour promouvoir le couplage chaleur-force

Martin Zogg

Chef du programme Chaleur ambiante, rejets thermiques et couplage chaleur-force (UAW) de l'OFEN.

Kirchstutz 3
CH-3414 Oberburg

Fabrice Rognon

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

Au moment de la formulation de la stratégie de promotion du couplage chaleur-force (CCF), il a fallu tenir compte de nombreuses conditions-cadres. D'une part, les objectifs de la politique en matière d'énergie et de climat du programme SuisseEnergie sont clairs : une réduction de 10% est prévue d'ici l'an 2010 pour les émissions provenant des énergies fossiles. En même temps, la consommation d'électricité ne doit augmenter que de 5% au plus. D'autre part, y a aujourd'hui en Suisse et en Europe pléthore d'électricité, ce qui n'incite pas à promouvoir sa production à partir de matières fossiles par couplage chaleur-force, jusqu'en 2010. Mais si les deux initiatives "Moratoire-plus" et "Sortir de nucléaire" devaient être adoptées, le cadre du développement du couplage chaleur-force en serait considérablement modifié.

Pompes à chaleur et CCF, une combinaison optimum

Au sein du programme SuisseEnergie, le couplage chaleur-force (CCF) basé sur des

agents fossiles ne sera encouragé de la façon particulière décrite ci-dessous que s'il est combiné avec des pompes à chaleur (PAC). Cela pour être certain que la combustion qui lui est liée n'aggrave pas le bilan

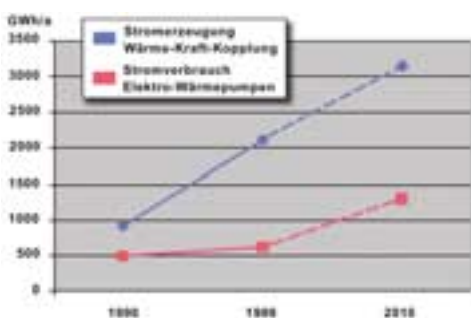
suisse des émissions de CO₂. Cette stratégie combinée CCF et PAC engendre, pour une production identique de chaleur utile, une économie d'énergie primaire de l'ordre de 30 à 50%. Mais dans un premier temps, c'est le remplacement des chauffages électriques qui va libérer l'électricité nécessaire à l'entraînement des pompes à chaleur. En ce qui concerne la recherche et le développement du couplage chaleur-force, les efforts faits jusqu'à présent en collaboration avec le domaine Combustion de l'OFEN se poursuivent, afin d'en améliorer l'efficacité

technique, de réduire les émissions des installations combinées chaleur-force modulaires et d'introduire de nouveaux concepts de diagnostic et de régulation. Il est également raisonnable de poursuivre les activités en rapport avec les installations pilotes et de démonstration, avec les objectifs suivants :

- augmenter le rendement autant que possible;
- promouvoir l'emploi efficace d'installations CCF peu polluantes utilisant des combustibles renouvelables;
- apporter la démonstration que des installations CCF peu polluantes existent, fonctionnant avec des combustibles fossiles et ayant un rendement électrique supérieur à 33% et un rendement global annuel de plus de 90%;
- confirmer que la combinaison CCF et PAC électriques jouit d'un rendement global annuel supérieur à 150%;
- faire avancer la standardisation des installations afin d'obtenir une réduction des coûts pour une meilleure adaptation au marché.

Les sources d'énergie renouvelables, une solution de rechange pour l'avenir

Il faut poursuivre l'observation attentive du marché, en continuant le relevé statistique de toutes les installations CCF et en le comparant au développement des pompes à chaleur. Cela permettra de réagir rapidement à tout changement des conditions-cadres. Dès que le besoin en électricité engendré par le nombre croissant des pompes à chaleur le rendra nécessaire, il faudra lancer la promotion du CCF fossile en collaboration avec les Cantons. Le couplage chaleur-force faisant appel à des sources d'énergie renouvelables est encouragé indépendamment du développement des pompes à chaleur. Il s'agit surtout d'un soutien indirect aux programmes de *marketing* du bois-énergie et des autres biomasses, en particulier de l'emploi accru du CCF dans les installations d'épuration des eaux et dans la production additionnelle d'électricité des usines d'incinération des ordures.



Évolution de la production d'électricité par couplage chaleur-force (CCF, bleu) et de la consommation d'électricité des pompes à chaleur (PAC, rouge).

Liens Internet

Stratégie détaillée de l'OFEN pour le couplage chaleur-force

www.suisse-energie.ch
(Techniques énergétiques)

Informations complémentaires sur le couplage chaleur-force combiné avec des pompes à chaleur
www.waermepumpe.ch/fe

Stockage temporaire de la chaleur dans le sol

Un manuel pour l'étude des installations de production combinée de froid et de chaleur au moyen de sondes géothermiques vient de paraître

Martin Zogg

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

Fabrice Rognon

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

Les données du problème

En comparaison de la production séparée de froid (avec refroidissement du condenseur) – un système encore fréquent aujourd'hui – et de chaleur (par des chaudières à mazout ou à gaz), l'utilisation judicieuse des rejets thermiques d'installations de réfrigération ou de climatisation pour assurer le chauffage de locaux et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) permet en principe d'économiser des quantités substantielles d'énergie. L'exploitation industrielle du froid (chambres froides et réfrigérateurs dans les entreprises) implique généralement des besoins en froid à peu près constants tout au long de l'année. Et les besoins en chaleur pour la production d'ECS ne varient également que peu selon les saisons. Les besoins en froid pour la climatisation de locaux, par contre, se présentent seulement en été et les

besoins de chaleur pour le chauffage de ceux-ci se limitent à la saison de chauffage. Ces grandeurs dépendent, en outre, de la température extérieure qui est soumise à des fluctuations journalières. Aussi les besoins en froid et en chaleur ne concordent-ils en général ni selon le cycle journalier, ni selon les saisons. La figure 1 illustre ce phénomène pour l'exemple traité dans le projet.

La solution par les sondes géothermiques

Si les déséquilibres au cours du cycle journalier peuvent être compensés par des

Tableau

Comparaison entre l'efficacité énergétique de la production séparée et de la production combinée de froid et de chaleur dans le cas de figure étudié, un restaurant.

	Coefficient de performance global
Équipements séparés: machines frigorifiques (froid), pompes à chaleur (chauffage, ECS)	2.4
Combinaison froid/chaleur selon figure 2	2.9

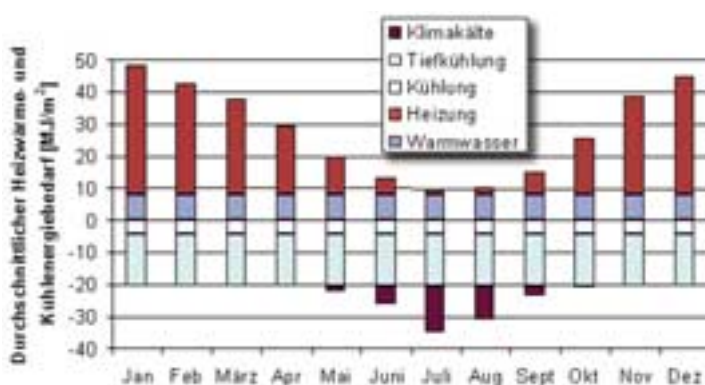
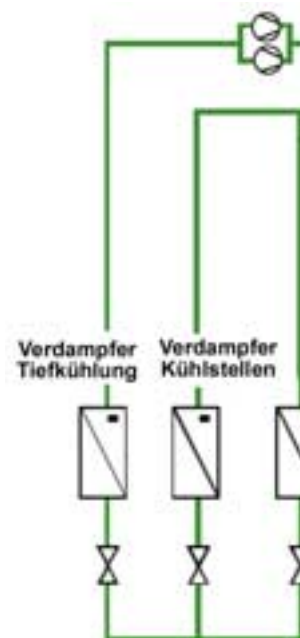


Figure 1
Valeurs mensuelles moyennes mesurées des besoins en énergie de chauffage et de refroidissement dans un restaurant (source: rapport final).

Manuel d'étude détaillé en rapport avec ce projet de recherche de l'OFEN
J. Good, A. Huber, P. Widmer,
Th. Nussbaumer, D. Trüssel, Ch. Schmid:
Gekoppelte Kälte- und Wärmeerzeugung mit Erdwärmesonden, Handbuch zum Planungsvorgehen, Schlussbericht, OFEN 2001.

À commander auprès d'ENET
(n° 210001, CHF 40.-).

réservoirs à eau, la compensation des déséquilibres saisonniers peut s'opérer judicieusement par des sondes géothermiques, voire par de petits champs de telles sondes. Si les besoins en chaleur sont faibles ou inexistant, la chaleur excédentaire reçue par le condenseur peut être transmise à ces sondes géothermiques (caractéristique de l'exploitation estivale). En exploitation hivernale classique, les besoins en chaleur deviennent dominants. C'est alors que le champ de sondes géothermiques peut servir de source de chaleur (d'appoint). La figure 2 montre le schéma simplifié d'une installation combinée froid/chaleur pour une configuration telle qu'on la rencontre souvent dans le contexte du froid industriel, soit avec des unités de réfrigération, de congélation, de production d'ECS et de chauffage de locaux. La particularité de l'installation est un champ de sondes géothermiques intégré compensant les fluctuations de l'offre et de la demande. Les autres caractéristiques de l'installation sont: une puissance du chauffage (au point de dimensionnement) de 32 kW, une puissance ther-



mique pour la production d'ECS de 5kW, une puissance frigorifique pour la climatisation (au point de dimensionnement) de 62 kW et un besoin en froid industriel de 25 kW.

Quel est l'apport de la combinaison froid / chaleur ?

L'efficacité énergétique d'installations combinées froid / chaleur peut être indiquée par le coefficient de performance global (rapport de la somme de toutes les formes d'énergie utile [froid + chaleur] à la consommation totale d'énergie électrique). Dans l'exemple cité ci-dessus, la combinaison froid / chaleur avec l'emploi de sondes géothermiques a permis d'obtenir une amélioration de 21% de l'efficacité énergétique, par comparaison à des équipements séparés de réfrigération et de pompes à chaleur (Tableau).

Le manuel du concepteur-projeteur

Le manuel élaboré sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie traite de la conception de tels systèmes combinés froid / chaleur. Celle-ci s'effectue, à l'exemple du cas concret de l'installation mentionnée, selon les cinq étapes principales suivantes :

1. Besoins en chaleur: détermination de la puissance thermique à installer pour le chauffage des locaux, selon SIA 384/2;

détermination de la demande d'énergie de chauffage, selon SIA 380/1; détermination des besoins en chaleur pour l'ECS ainsi que, le cas échéant, de ceux de procédés industriels à basse température.

2. Besoins en froid: calcul de la puissance frigorifique à installer pour la climatisation des locaux, selon SIA 382/2; calcul de la demande d'énergie de refroidissement du bâtiment; calcul de la puissance frigorifique et de la demande d'énergie frigorifique des appareils de réfrigération et de congélation.
3. Machines frigorifiques et pompes à chaleur: détermination des températures d'évaporation et de condensation; dimensionnement des machines frigorifiques et des pompes à chaleur sur la base de la plus grande puissance frigorifique et / ou de chauffage, respectivement.
4. Dimensionnement du champ de sondes géothermiques sur la base de la chaleur fournie ou soutirée mensuellement du champ, et de la pointe de puissance thermique la plus élevée dans ces deux modes de fonctionnement.
5. Dimensionnement des stocks (ECS, chauffage) destinés à compenser les fluctuations journalières.

Le manuel approfondit tout particulièrement les étapes 4 et 5 et fournit des indications précieuses en vue du choix du système combiné froid / chaleur le mieux adapté à chaque cas.

Auteur : Martin Zogg
Informations sur le programme UAW
www.waermepumpe.ch/fe

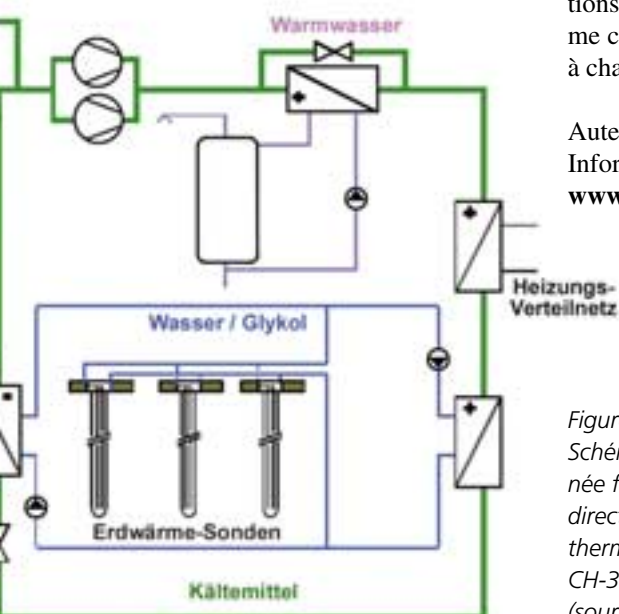


Figure 2
Schéma simplifié d'une installation combinée froid / chaleur avec évaporation directe et un petit champ de sondes géothermiques, réalisée par la maison KWT, CH-3123 Belp, et destinée à un restaurant (source : rapport final).



StratiVari
pour le chauffage et l'eau chaude. Davantage d'énergie solaire, en combinaison avec n'importe quel chauffage.

Nous vous offrons des installations solaires pour

- l'eau chaude sanitaire
- l'eau chaude et le chauffage
- les piscines

SOLTOP –
votre partenaire sûr pour le solaire thermique.



SOLTOP
Schuppisser AG
St. Gallerstrasse 7
CH-8353 Elgg
Tel : 052 364 00 77
Fax : 052 364 00 78
info@soltop.ch
www.soltop.ch

- livrer
- installer
- et déjà le soleil produit de l'eau chaude et chauffe pour vous



La promotion de moteurs électriques de rendement élevé

Un projet pilote du Programme SAVE de l'UE prépare le programme de promotion des moteurs visant à une réduction de la consommation d'électricité

Roland Brüniger

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

Felix Frey

Responsable du
domaine Electricité
de l'OFEN

Des enquêtes et des estimations montrent que les moteurs électriques représentent environ 50% de la consommation totale d'électricité en Allemagne, et même 60% aux USA. En ce qui concerne la Suisse, cette quote-part devrait s'élever à 45% environ. Diverses études nationales et internationales (notamment le Programme suisse d'impulsion RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité) indiquent que des économies considérables d'énergie sont possibles en la matière.

Un projet pilote sert de base à un programme efficace d'économies d'énergie

La Commission de l'Union Européenne (par sa Direction générale Transport et Énergie) a l'intention de réaliser un programme dénommé *Motor Driven Systems Challenge* (MDSC) pour mettre en valeur ces économies d'énergie potentiellement élevées. Ce programme devrait permettre de collecter à grande échelle les connaissances ayant trait à l'amélioration de l'efficacité énergétique des moteurs et des entraînements électriques dans l'industrie, de les diffuser et de les appliquer. Afin de pouvoir mener à bien ce programme, la Commission européenne a préalablement lancé un projet pilote dans le programme SAVE (*Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency*, l'un des programmes du "Programme-cadre Énergie *Energy Framework Programme 1998–2002*" de l'UE) pour vérifier les aspects principaux en rapport avec l'aptitude et les possibilités de mise en œuvre. Tout comme neuf pays de l'Europe (Allemagne, France, Grèce, Grande-Bretagne, Italie, Pays-Bas, Autriche, Portugal et Suède), ainsi que la Norvège et diverses associations industrielles, la Suisse s'est engagée dans ce projet lancé au printemps 2001 et qui devrait durer deux ans.

Du fait de l'utilisation très variée des moteurs et entraînements électriques dans de nombreux domaines industriels, le passage d'une phase d'économies d'énergie possibles à de véritables économies est une question aussi importante que difficile à réaliser. Malgré cela, l'utilisation des données à disposition dans ce domaine reste importante pour le programme Électricité de l'OFEN. Grâce à sa participation au futur programme MDSC, la Suisse pourra maintenant se consacrer, en collaboration avec de nombreux autres pays, à l'application pratique des connaissances techniques existantes.

L'éventail des utilisations possibles des moteurs électriques est très large. Les robots industriels des lignes de montage automobile en sont un exemple.
(Photos: Atlas-Copco)



Les moteurs et entraînements électriques les plus divers destinés à différents types d'applications consomment en Suisse environ 45% de l'électricité.



Les temps forts, aussi bien du projet pilote que du programme qui lui succédera, se situent dans les trois domaines systémiques des compresseurs, des pompes et des

Liens Internet

Vue d'ensemble
du programme de
recherche de
l'OFEN
www.electricity-research.ch

L'Agence de l'énergie pour l'économie, partenaire du projet dans le programme SAVE
www.energie-agentur.ch

ventilateurs. Il est prévu de surmonter les obstacles existants par le biais des moyens suivants :

- Campagne d'information spécifique visant à la prise de conscience du problème par les cadres dirigeants de l'industrie.
- Campagne de persuasion auprès des entreprises industrielles, avec, pour objectif, d'amener les responsables à s'engager à identifier les mesures rentables d'amélioration de l'efficacité énergétique à l'intérieur de leur entreprise et à les mettre en pratique.
- Mise en place des instruments nécessaires pour démontrer le succès des mesures prises.

Les résultats du projet pilote réalisé dans le Programme SAVE aideront la Commission de l'UE à définir le futur programme MDSC proprement dit. Dans un premier temps, un cadre technique et organisateur sera créé, analogue au programme "Green Light" de l'UE ou encore au programme "Motor Challenge" du Département américain de l'énergie (DOE). Le deuxième temps prévoit la mise à l'épreuve dudit cadre avec de nombreux essais réalisés dans une ou deux entreprises industrielles de chaque pays participant. Chacune de ces entreprises fera l'objet d'une étude dans laquelle des mesures propres à économiser de l'électricité au chapitre des moteurs et entraînements

seront évaluées et réalisées. Lors de la troisième phase de ce projet pilote, les résultats seront traités pour en faire une synthèse ; au besoin, toutes les corrections nécessaires seront apportées au programme et le lancement du programme officiel MDSC de l'UE sera préparé.

Le projet pilote a pris un bon départ

Au cours de la première séance qui s'est tenue à Bruxelles en mai 2001, chaque pays participant a été prié de dresser une liste des résultats des projets et programmes de recherche exécutés au niveau national ainsi que des activités en cours, dans le but d'obtenir une vue d'ensemble des informations



Le projet pilote du Programme SAVE s'occupe principalement de moteurs électriques pour les compresseurs, les pompes et les ventilateurs ; c'est une étape préparant le futur programme MDSC.

disponibles. Ces travaux se sont terminés dans le courant de l'été. Vu que chaque pays doit chercher une ou deux entreprises industrielles utilisant à grande échelle les moteurs et entraînements électriques et les inciter à participer au projet pilote, c'est l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC) qui a été contactée. Celle-ci a manifesté un intérêt certain pour le projet pilote du Programme SAVE et s'est déclarée prête à le soutenir et à inciter l'industrie à y participer. On élabore maintenant les conditions-cadres et des plans d'actions concrets qui devront être testés avec les entreprises industrielles participantes.

Bâtiment

6^{es} Journées européennes de la maison passive

C'est dans le cadre de la *Swissbau 02* et de la *Metallbau 02* que se tiendront à Bâle au Centre de congrès *Messe Basel*, les 25 et 26 janvier 2002, les 6^{es} Journées européennes de la maison passive. Sans installation de chauffage classique ni conditionnement d'air, ce type d'édifice est en mesure de procurer toute l'année à ses occupants un confort optimum. La manifestation de deux jours s'articulera autour des cinq sujets suivants :

- Architecture et efficacité énergétique
- La maison passive considérée dans son ensemble comme un système
- L'enveloppe : isolation thermique et étanchéité à l'air
- Les installations techniques
- Rénover en accord avec le standard de la maison passive

Renseignements et inscriptions :
Institut d'énergétique, HES des Deux Bâle (FHBB), CH-4132 Muttens
ou
www.passivhaustagung.ch

12^e "Status-Seminar"

Les 12 et 13 septembre 2002 aura lieu à l'EPF de Zurich le 12^e Séminaire suisse sur l'état de la recherche dans le bâtiment ("Schweizerisches Status-Seminar 2002"). Cette manifestation, dont la réputation n'est plus à faire, fera le point sur la recherche et sur les développements dans le domaine de l'énergie et de l'environnement dans le bâtiment, et en présentera les principaux résultats.

- Concepts durables de bâtiments, construction écologique
- Technologie des matériaux super-isolants
- Systèmes performants de chauffage et de ventilation pour les maisons à basse consommation d'énergie
- Outils modernes pour l'étude des projets.

Renseignements :
Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen (ZEN)
www.empa.ch/zen



Essai de l'IMF – Inert Matrix Fuel

Un combustible nucléaire d'un nouveau genre est mis à l'épreuve de la pratique

Christian Hellwig

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

Wolfgang Kröger

Chef du programme
Sûreté nucléaire et
gestion des déchets
radioactifs
Institut Paul Scherrer
(IPS)
CH-5232 Villigen

**Christophe
de Reyff**

Responsable du
domaine Énergie
nucléaire de l'OFEN

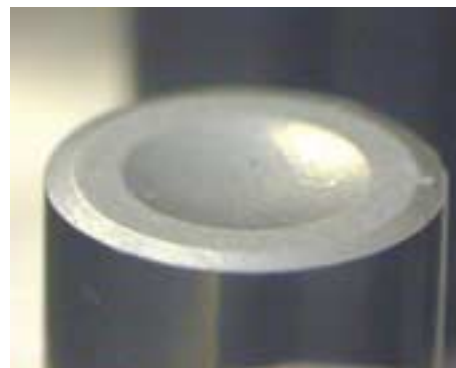
Dans un réacteur nucléaire, on observe à la fois un dégagement d'énergie causé par la fission de l'uranium²³⁵ et la production de plutonium par d'autres noyaux (U^{238}) de ce même métal qui ont capturé des neutrons. Ce plutonium est lui-même en grande partie fissile ; il est récupéré aujourd'hui au cours du retraitement, mélangé à de l'oxyde d'uranium et utilisé comme combustible MOX (*Mixed OXide fuel*) pour produire de l'énergie. Ce combustible MOX, qui contient de l'uranium, produit à son tour du plutonium. C'est pourquoi les chercheurs de l'IPS ont mis au point un combustible de remplacement exempt d'uranium, à base d'oxyde de zirconium contenant du plutonium. Actuellement des essais systématiques de ce combustible, dit à matrice inerte (*Inert Matrix Fuel*, IMF), sont effectués pour examiner si son comportement dans la pratique correspond aux prévisions.

Un projet pluridisciplinaire

Dans l'IMF, le plutonium est "emballé" dans une matrice inerte en termes de neutrons, sans uranium ; ce qui permet une utilisation énergétique dans le réacteur sans nouvelle production de plutonium. Au cours de ce processus, la teneur en plutonium par unité d'énergie produite est réduite. Dans le cas de l'IMF, il s'agit d'une réduction de deux fois et demie supérieure à celle du MOX.

L'IPS travaille de manière pluridisciplinaire depuis le début des années 90 au développement de l'IMF. Le Laboratoire de physique des réacteurs a procédé aux calculs généraux du cœur et à des analyses de sûreté. Les résultats ont permis de définir les conditions d'irradiation. Après des expériences réalisées à l'IPS dans le réacteur PROTEUS de puissance zéro, les premières irradiations ont eu lieu au milieu de l'an 2000 à Halden (Norvège) dans le réacteur d'essai des matériaux appartenant à

l'OCDE. Le Laboratoire d'étude du comportement des matériaux a procédé aux évaluations nécessaires, préparant ainsi les bases de la fabrication des pastilles d'IMF. Très tôt, l'attention des chercheurs s'est portée sur l'oxyde de zirconium, matière première éprouvée de la famille des céramiques, dont ils ont testé la résistance aux rayonnements. Enfin, les premiers essais du comportement d'un tel combustible dans un futur dépôt permanent ont eu lieu en collaboration avec le Laboratoire de la sûreté du stockage.

**Essais comparatifs de l'IMF et du MOX**

Dans le réacteur à eau bouillante de Halden, les pastilles d'IMF, préparées à l'IPS par frittage et placées dans trois barres, ont été testées en comparaison avec le comportement de trois autres barres de combustible MOX irradiées simultanément. Les barres ont été irradiées à puissance linéique modérée, c'est-à-dire bien inférieure à 30 kW/m, de façon à vérifier les prévisions de base. La puissance maximum prévue a été atteinte après une quinzaine de jours. Les premiers résultats ont confirmé l'exactitude des prévisions en ce qui concerne la conductivité thermique et les caractéristiques essentielles du comportement de ce matériau. Au centre des pastilles de combustible, la température est plus élevée qu'avec le MOX, car la conductivité thermique est moindre. On a observé, en outre, un deuxième frittage d'intensité surprenante. La ré-

Le développement du combustible à matrice inerte (IMF) s'est déroulé à l'IPS sur une base pluridisciplinaire. Depuis lors, de nombreux essais d'irradiation ont confirmé ses qualités dans la pratique ; il sera une solution de remplacement du combustible MOX très répandu.





Trois barres de combustible MOX et trois d'IMF ont été testées par irradiation dans le réacteur d'essai des matériaux de l'OCDE à Halden (N), de manière à vérifier les résultats des calculs de simulation.

partition des pores, la structure des grains et l'homogénéité du matériau sont en revanche de qualité comparable à celles du MOX.

Dans la seconde phase des essais, un emplacement de grande puissance a été choisi dans le réacteur (30 – 35 kW/m) pour poursuivre l'étude des effets du rayonnement. Les résultats obtenus ont servi simultanément de base à l'optimisation de la conception du combustible (géométrie, composition) et à l'adaptation des logiciels de simulation modifiés par l'IPS. D'autres séquences d'irradiation vont suivre en vue de vérifier la compatibilité du combustible IMF avec les réacteurs à eau pressurisée actuellement en exploitation.



Le Laboratoire d'étude du comportement des matériaux de l'IPS a mis au point les bases de la fabrication du combustible IMF. La presse à pastilles, que l'on voit ici juste avant sa mise en service, en représente un élément central.

Liens Internet

Laboratoire d'étude du comportement des matériaux de l'Institut Paul Scherrer
<http://lww.web.psi.ch>

Laboratoire de physique des réacteurs de l'Institut Paul Scherrer
<http://lrs.web.psi.ch>

Laboratoire de la sûreté du stockage de l'Institut Paul Scherrer
<http://les.web.psi.ch>

L'IMF répond à plusieurs objectifs

Le concept du combustible IMF est une option intéressante qui permettra de limiter la quantité du plutonium produit accessoirement dans les centrales nucléaires du monde entier, tout en valorisant son énergie dans les réacteurs actuels à eau légère (LWR). Comparée au MOX, la composition des pastilles d'IMF a pour effet une consommation bien plus élevée de plutonium. Un autre avantage de l'IMF réside dans la liaison chimique "insécable" du plutonium, réduisant d'autant plus le risque d'abus. Pour recycler le plutonium, il faut ainsi moins d'éléments de combustible IMF pour une certaine quantité de ce métal, que dans le cas du MOX. Le nombre des places nécessaires dans les bassins de refroidissement des centrales est lui aussi moindre ; ce qui est un argument économique de poids pour les exploitants, vu la lenteur de ce processus pour le plutonium. Enfin, les barres d'IMF conviennent mieux au dépôt géologique puisque l'activité résiduelle du plutonium est moindre et que la matrice chimique est très stable.

La phase actuelle des essais pratiques d'irradiation est un jalon important après les préliminaires théoriques de base. Il y a lieu maintenant d'établir une collaboration avec un fabricant de combustible sur la base de ces résultats. Après l'essai de barres isolées dans des LWR en exploitation commerciale, cette collaboration pourrait déboucher sur la commercialisation d'éléments de combustible IMF dans une quinzaine d'années.

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

Couplage chaleur-force

Die Wärmekraftkopplung im Programm EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE; 09-2001; DE; 4 S.; F&E; SFr. –
 Nr. 210112

Le couplage chaleur-force dans le programme SuisseEnergie

L'Office fédéral de l'énergie OFEN; 09-2001; FR; 4 p.; F&E; SFr. –
 Nr. 210113

BHKW mit Wärmeverbund der IVF HARTMANN AG mit Klärgas aus der

ARA Röti/SH; Optimierte Klärgasnutzung und Verstromung durch Kooperation von ARA und Industrie
 Schlussbericht; Röck Peter M.; IVF; 05-2001; DE; 13 S.; P&D; SFr. 15. –
 Nr. 210076

Biomasse

Forschungsprogramm Biomasse: Überblicksbericht und Jahresbericht 2000

der Beauftragten
 Überblicksbericht und Jahresbericht; Rügsegger Martin, Binggeli Daniel et. al;
 06-2001; DE, FR; 290 S.; F&E; SFr. 30. –
 Nr. 210097

Aerosols from Biomass Combustion: International Seminar at 27 June 2001 in Zurich (Switzerland) organised on behalf of International Energy Agency (IEA) Bioenergy Task 32: Biomass Combustion and Co-firing and the Swiss Federal Office of Energy

Nussbaumer Thomas; Ing. Büro Verenum; 06-2001; EN; 106 p.; F&E; SFr. 40. –
 Nr. 210101

Fleischverarbeitung in der Schweiz: Massen- und Energieflüsse

Kurzversion; Scheurer Karin, Baier Urs; Hochschule Wädenswil; 07-2001; DE, FR, EN; 4 S.; P&D; SFr. 15. –
 Nr. 210103

Pflanzenöl als Treibstoff im VW Lupo; Erfahrungsbericht (Phase 3 + 4)

Schlussbericht; Böhni Thomas; Energie & Umwelt; 02-2001; DE; 22 S.; P&D; SFr. 15. –
 Nr. 210106

Chimie solaire

Direkte Umwandlung von konzentrierter Sonnenenergie in chemische Energieträger

Schlussbericht; Alxneit I., Sturzenegger M., Tschudi H.R.; Paul Scherrer Institut (PSI); 05-2001; DE; 52 S.; F&E; SFr. 30. –
 Nr. 210074

Solar Power and Chemical Energy Systems: SolarPaces: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Annual Report 2000; Grasse W., Geyer M.; Paul Scherrer Institut (PSI); 04-2001; EN; 82 p.; F&E; SFr. 30. –
 Nr. 210086

Combustion

Perspektiven zur Energienutzung biogener Abfälle in der Schweiz:

Analysen und Empfehlungen einer von BFE/BUWAL begleiteten Arbeitsgruppe
 Schwank O., Aebersold A., Engeli H.; Bundesamt für Energie; 08-1994; DE; 81 S.; F&E; SFr. 40. –
 Nr. 200269

Swiss Motor Modification d'un moteur diesel pour le fonctionnement au gaz naturel en cogénération;

Fonctionnement avec préchambre de combustion
 An experimental investigation of a lean burn natural gas prechamber spark ignition engine for cogeneration
 Rapport final; Röthlisberger Roger, Favrat Daniel; EPFL/DME/LENI; 05-2001; EN; 266 p.; F&E; SFr. 70. –
 Nr. 210081

Géothermie

Long Term Influence of Multiple Heat Extraction Boreholes; Program 3-D

FRACTure and comparison with a g-function calculated with the SBM program
 Rapport intermédiaire / Zwischenbericht / interim report; Brenni R., Kohl Th., Pahud D.; Laboratorio di energia, ecolog; 04-2001; DE, EN; 18 S.; F&E; SFr. 15. –
 Nr. 210099

Tiefe Erdwärmesonde Weggis: Messkampagne zur Dokumentierung der

neuen Einflüsse beim Ausbau der Abnehmerleistung
 Zwischenbericht; Eugster Walter J., Füglistner Hans; 10-2001; DE; 13 S.; P&D; SFr. 15. –
 Nr. 210115

Photovoltaïque

Annual Report 2000 PVPS Photovoltaic Power Systems Programme

Annual Report 2000; IEA International Energy Agency; Université de Fribourg; 01-2001; EN; 94 p.; F&E; SFr. –
 Nr. 210078

Photovoltaic Programme Edition 2001

Summary Report, Project List Annual, Project Reports 2000 (Abstracts); Nowak Stefan et. al; Université de Fribourg; 06-2001; EN; 102 p.; F&E; SFr. –
 Nr. 210079

IEA-PVPS Task 2, Operational performance, maintenance and sizing of photovoltaic power systems and subsystems: Performance Database

Programme Version 1.19, Database 06/2001
 CD-ROM; IEA International Energy Agency; TNC Consulting AG; 06-2001; EN; CD-ROM; F&E; SFr. 40. –
 Nr. 210102

SOLMAX, Système de support en matériau recyclé pour toiture plate

Rapport final PV; Bonvin J., Affolter P.; Solstis Sàrl.; 04-2001; FR, DE; 26 p.; P&D; SFr. 15. –
 Nr. 210077

PV Dächer Altstadt Unterseen: Photovoltaik Dachintegration in geschützter Altstadtumgebung

Schlussbericht; Bigler Fritz; Industrielle Betriebe Interlaken; 08-2001; DE; 10 S.; P&D; SFr. 10. –
 Nr. 210095

Transfert technologique / Système

ENET-NEWS Nr. 49 deutsch
ENET; 09-2001; DE; 36 S.; SFr. –
Nr. 210104

ENET-NEWS No 49 français
ENET; 09-2001; FR; 36 p.; SFr. –
Nr. 210105

Chaleur ambiante

Pulsweitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen: Phase 2a
Zwischenbericht; Gabathuler H.R., Mayer H., Shafai E., Wimmer R.; Gabathuler AG; 06-2001; DE; 20 S.; F&E; SFr. 10. –
Nr. 210087

Standardschaltung für Kleinwärmepumpenanlagen
Zwischenbericht; Afjei Th., Schonhardt U., Eicher H.P., Erb M., Gabathuler H.R., Mayer H., Zweifel G., Achermann M., Renaud P.; Fachhochschule beider Basel; 07-2001; DE; 73 S.; F&E; SFr. 30. –
Nr. 210088

Chauffage et climatisation à l'aide de l'air de l'alluvion ancienne dénoyée
Rapport final; Dériaz Christophe; 08-2001; FR; 16 p.; F&E; SFr. 15. –
Nr. 210109

Erweiterung der Programms WPCalc mit dem Berechnungsmodul für Erdwärmesonden EWS
Schlussbericht; Stalder Martin, Huber Arthur, Albrecht Stefan; Stalder Martin; 08-2001; DE; 22 S.; F&E; SFr. 15. –
Nr. 210110

Énergie éolienne

Vorstudie über die Durchführbarkeit eines Windenergieprojektes „Linthebene“ (Kanton Glarus)
Schlussbericht; Rübsamen Rosemarie; WINDCRAFT AG/SA/LTD; 12-1999; DE; 29 S.; P&D; SFr. 15. –
Nr. 200253

Windparkprojekt Flumserberg
Schlussbericht Vorstudie; Noger Otto; c + n ingenieure gmbh; 12-2000; DE; 30 S.; P&D; SFr. 15. –
Nr. 200254

Projet de parc éolien Flumserberge
Rapport final étude préliminaire; Noger Otto; c + n ingenieure gmbh; 12-2000; FR; 14 p.; P&D; SFr. 15. –
Nr. 200256Wind

Wind Park Project Flumserberge
Final Report of Feasibility Study; Noger Otto; c + n ingenieure gmbh; 12-2000; EN; 14 p.; P&D; SFr. 15. –
Nr. 200257

Rejets de chaleur

Abwärmenutzung aus bestehendem Schmutzwasserkanal in Zwingen:
Energiebilanz und Betriebsverhalten im Jahr 2000
Schlussbericht; Längin Eduard; Elektra Birseck (EBM); 06-2001; DE; 18 S.; F&E; SFr. 15.00
Nr. 210082

Chaleur solaire

Résultats d'une campagne de mesures in situ d'une installation solaire combinée
Rapport partiel; Renoult O., Bony J., Dind Ph.; Ecole d'ingénieurs de l'Etat de Vaud; 08-2001; FR; 31 p.; F&E; SFr. 20. –
Nr. 210111

Transports

VEL Mendrisio 1995 – 2001
Schlussbericht CD-ROM; BFE; BUWAL; Comune di Mendrisio; Kanton TI; ASSOVEL; 10-2001; DE, EN, FR, IT; CD-Rom; P&D; SFr. 20. –
Nr. 210114

Remplacement des chauffages électriques directs par des pompes à chaleur dans 8 villas à Genève; ; Rapport après mise en service et réception finale; Rapport final; Conti & Associés Ingénieurs SA; 02-2001; FR; 22 p.; P&D; SFr. 15. –
Nr. 210075

Erfolgskontrolle der L/W-Wärmepumpe mit Schotterkoffer im MFH
Schlussbericht; Thüler Adrian; Elektra Birseck (EBM); 08-2001; DE; 46 S.; P&D; SFr. 20. –
Nr. 210085

Installation de pompe à chaleur simplifiée; pour le chauffage d'une maison familiale à Prêles (BE)
Rapport final (saisons 1997/1998, 1998/1999 et 1999/2000); Renaud P., Guerra E., Kern M., Chapatte M.; Planair; 06-2001; FR; 36 p.; P&D; SFr. 20. –
Nr. 210100

Manifestations

Janvier 2002

25 – 26 **6. Europäische Passivhaustagung 2002**
Centre de congrès, Bâle — *Messe Basel*
www.passivhaustagung.ch

Mars

7 **EPIQR 1.0**
Cours de formation à la méthode EPIQR – l'outil pour la rénovation – à Lausanne, Fribourg et Genève
info @ epiqr.ch

Mai

16 – 17 **Journées 2002 du photovoltaïque**
Lugano-Canobbio
AES/VSE, PV-Tagung, CH-8023 Zurich

Juin

11 **Grosswärmepumpen und kalte Fernwärme**
9. UAW-Tagung, HES de Berthoud
www.waermepumpe.ch/fe

Septembre

4 – 6 **11th SolarPACES**
International Symposium on Concentrated Solar Power
EPF Zurich
www.solarpaces2002.ch

12 – 13 **12. Schweizerisches Status-Seminar 2002**
"L'énergie et l'environnement dans le bâtiment"
EPF Zurich
www.empa.ch/zen

Le calendrier de l'énergie Sept. 2001 – Févr. 2002

Aperçu chronologique des cours de formation et des manifestations du domaine de l'énergie.

Gratuit; à commander auprès de:
SYNETRUM SA, CH-3280 Morat.

Formulaire de commande des publications et services d'ENET

N° des publications	Titre	Nombre

ENET offre des services spéciaux aux entreprises

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

Société, organisation: _____

Nom: _____ Prénom: _____

Adresse: _____

NPA: _____ Lieu: _____

Téléphone: _____ Téléfax: _____

E-mail: _____

ENET

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

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

