

Concours

Des maisons intelligentes

Que sais-tu des maisons intelligentes?

Une maison consomme énormément d'énergie. Pour notre confort, les pièces doivent être chauffées en hiver et rafraîchies en été. Pour nous doucher, nous utilisons de l'eau chaude et pour cuisiner de l'électricité ou du gaz. Cette consommation n'est pas sans poser problème: aujourd'hui, en Suisse, 50 pour cent environ des émissions de CO₂ nocives pour le climat sont liés à la consommation de combustibles destinés à chauffer et à refroidir les bâtiments. Les maisons intelligentes se distinguent par leur consommation énergétique nettement moins élevée et contribuent ainsi de manière notable à la protection de l'environnement. Et ce,

grâce à toute une série d'innovations technologiques qui nous simplifient la vie par la même occasion. Mais qu'est-ce qui rend précisément une maison «intelligente»? Teste tes connaissances et gagne un instrument de mesure d'énergie qui te permettra de reconnaître tes appareils «gourmands en énergie». Le concours est ouvert jusqu'au 15 août 2011.

Gagne un instrument de mesure d'énergie!

Si tu connais les bonnes réponses, tu peux gagner l'un des trois instruments de mesure d'énergie offerts par Siemens Suisse SA.

www.satw.ch/concours

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

a⁺ Mitglied der
Akademien der Wissenschaften Schweiz

Consommation énergétique stabilisée

Chambres d'hôtels intelligentes

Panneaux solaires efficaces

Des instruments
de mesure d'énergie à gagner

Qu'est-ce qu'un watt ?

Le watt (W) est l'unité officielle de puissance et une valeur pour l'énergie produite ou consommée par unité de temps. En Suisse, pour le logement, les déplacements pendulaires et l'alimentation (entre autres), nous consommons une puissance continue d'environ 6000 watts par personne. Cela correspond à 60 à 100 ampoules ou 600 lampes économiques allumées en permanence. On confond souvent la puissance avec l'unité d'énergie, à savoir le kilowattheure (kWh). Les frais d'énergie d'un ménage sont calculés en kWh. Un kilowattheure vous permet, par exemple, de passer l'aspirateur pendant 33 minutes (si la puissance de l'appareil est de 1800 watts).



1 watt = 1 W
1 kilowatt (kW) = 1000 W
1 mégawatt (MW) = 1 000 000 W
1 gigawatt (GW) = 1 000 000 000 W
1 térawatt (TW) = 1 000 000 000 000 W

Quand le frigo se transforme en batterie

Les énergies solaire et éolienne sont respectueuses de l'environnement, mais pas toujours disponibles à tout moment. C'est pourquoi la consommation électrique dans les ménages devra à l'avenir s'adapter à l'offre. Pour ce faire, un groupe de recherche développe une domotique destinée à ce que l'on appelle la «gestion locale du courant».

La plupart des scientifiques sont unanimes: la combustion de sources d'énergie fossiles telles que le mazout ou l'essence joue un rôle déterminant dans le changement climatique. C'est pourquoi il faudra, à l'avenir, utiliser de plus en plus de sources d'énergie renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne. Nous pourrions également remplacer le pétrole par l'électricité pour faire fonctionner nos voitures ou systèmes de chauffage. Mais que se passera-t-il lorsque des nuages cacheront le soleil et que le vent ne soufflera pas alors que la demande en électricité pour cuisiner ou recharger la batterie de la voiture atteindra son maximum?

L'énergie régulatrice qui sort du congélateur

Pour empêcher que le réseau électrique ne tombe en panne, il faut réduire la consommation d'électricité. De même, pour éviter l'arrêt brutal de la cuisinière à la maison, une gestion locale du courant s'impose. Martin Wiederkehr, professeur d'électrotechnique à la Fachhochschule Nordwest-Schweiz (FHNW), explique le système: «Nous éteignons temporairement certains appa-

reils ménagers lorsque le courant est insuffisant sur le réseau et ne les faisons à nouveau tourner à pleine puissance que lorsque le courant est disponible en suffisance.» Les appareils ménagers deviennent de cette manière des accumulateurs de courant flexibles. Ainsi, par exemple, si l'on débranche du secteur un congélateur pendant 15 minutes en cas de pénurie de courant, l'utilisateur n'a aucune perte de confort chez lui. Les sticks de poisson ne vont pas dégeler. Qu'importe le moment où l'eau est chauffée par le boiler – lorsque le courant est présent en excès sur le réseau par exemple. Le principal, c'est que nous puissions prendre une douche bien chaude. La Suisse compte des millions de congélateurs et de boilers et le nombre de pompes à chaleur ne cesse d'augmenter, le potentiel d'augmentation de la demande en électricité est donc tout aussi important. Les scientifiques ont calculé qu'à tout moment, grâce à la gestion locale du courant, une puissance d'un gigawatt pourrait être bloquée pendant dix minutes – ce qui correspond à la puissance d'une centrale nucléaire.

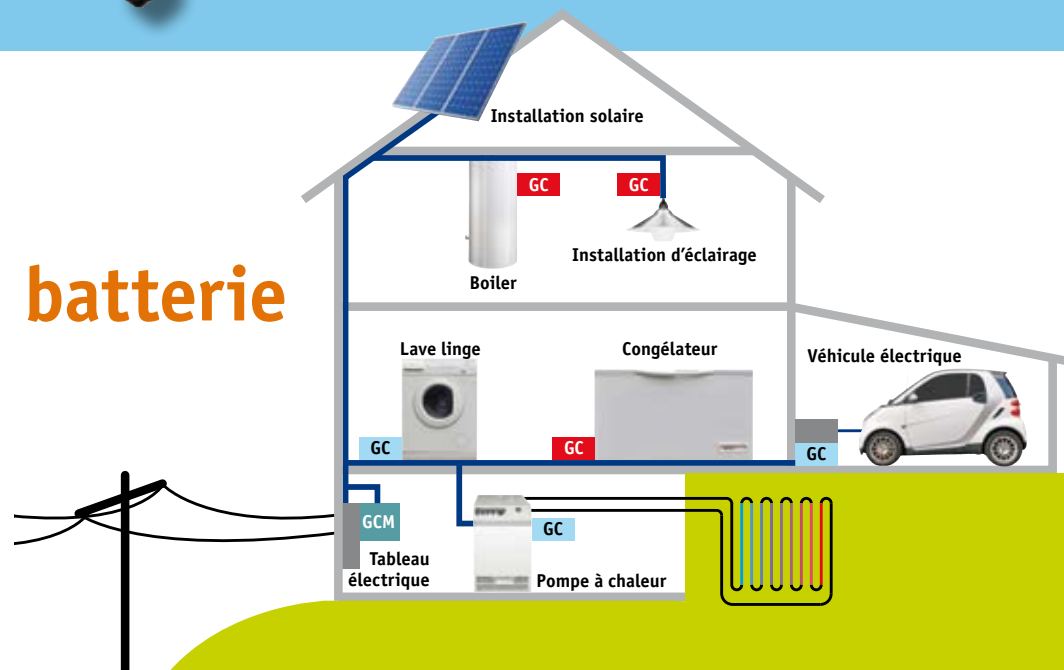


Schéma de la gestion locale du courant

Chaque appareil est équipé d'un «gestionnaire de courant» (GC) qui lui permet de communiquer avec le «gestionnaire de courant maison» (GCM). Le gestionnaire de courant maison reçoit, via le réseau électrique, des informations sur la quantité de courant disponible sur le réseau à ce moment-là. Il transmet ensuite des instructions concernant le moment où l'appareil doit augmenter ou réduire sa consommation électrique et la manière dont le congélateur ou la pompe à chaleur doivent, eux aussi, augmenter ou réduire leur consommation électrique. On pourrait gérer la consommation de la même manière par Internet sans fil (WLAN). Dans le futur, les batteries de véhicules électriques pourraient également être utilisées pour la gestion locale du courant.

Des batteries de voiture qui stabilisent également le réseau

Aujourd'hui, Wiederkehr est convaincu de la faisabilité technique et économique de la gestion locale du courant. Toutefois, selon le chercheur, il faudra encore attendre avant que les fabricants équipent leurs appareils ménagers de microprocesseurs pour un contrôle intelligent du courant. Des standards de communication acceptés par tous seront d'abord nécessaires. Wiederkehr a franchi une étape supplémentaire dans un pro-

jet réalisé avec la Haute école de Lucerne: outre les appareils ménagers, les batteries de voitures électriques pourraient aussi être utilisées pour stabiliser le réseau électrique. En supposant que dans le futur nombre d'entre nous rouleront non plus à l'essence mais à l'électricité, des milliers de batteries seraient disponibles pour stabiliser le réseau. Nous n'en sommes pas encore là, mais Wiederkehr en est convaincu: «Nous vivons un bouleversement dans le domaine de l'exploitation intelligente de l'électricité.»



Grâce à la Keycard insérée dans le support de carte (photo à gauche), la commande sait que le client se trouve dans la chambre d'hôtel.



La haute technologie pour éviter toute chaleur excessive

Les bâtiments doivent non seulement être chauffés en hiver, mais aussi de plus en plus souvent rafraîchis en été. Au cours de ces dernières années, le nombre d'espaces climatisés a fortement augmenté, une tendance qui pourrait se poursuivre dans les années à venir. A cela s'ajoute l'élévation des températures estivales au cours des prochaines années en raison du réchauffement climatique. Pour éviter que la consommation électrique des prochains étés ne continue de grimper, de nouveaux concepts de climatisation sont indispensables pour rafraîchir les maisons de manière efficace et écologique.

Un concept qui permettrait de rafraîchir les maisons dotées d'une façade en verre serait particulièrement intéressant car celles-ci absorbent énormément de lumière solaire qui chauffe les pièces. Les solutions nécessaires pour palier ce problème sont compliquées, comme en témoigne la Prime Tower de Zurich, le plus haut bâtiment de Suisse avec ses 126 mètres. La façade high-tech verte se compose de 4300 éléments dotés d'un triple vitrage. Un élément sur trois sert de déflecteur et peut être ouvert vers l'extérieur pour aérer le bâtiment. Cinq moteurs spéciaux permettent de faire bouger les fenêtres qui pèsent chacune 360 kilos.

Une chambre d'hôtel qui s'adapte continuellement

La technique de réglage intelligent permet de réduire considérablement la consommation énergétique des hôtels. Selon que le client se trouve ou non dans sa chambre, les pièces sont chauffées et éclairées différemment.

A première vue, rien ne distingue l'hôtel Sihlcity d'un autre hôtel de Zurich. Lorsque Hans Müller se rend à la réception pour prendre possession de la chambre qu'il a réservée trois jours plus tôt, une charmante hôtesse d'accueil lui remet sa clé une fois les dernières formalités réglées. Cette clé n'est toutefois pas une clé comme les autres. Il s'agit d'une Keycard. Cette carte permettra à Hans Müller d'ouvrir la porte de sa chambre, d'accéder à tous les espaces communs de l'hôtel et même de régler sa note le lendemain matin.

Une clé de chambre qui règle le chauffage

Mais la Keycard est capable de bien plus encore: l'hôtel compte en effet parmi les établissements où système de réservation, clés de chambre et domotique sont intelligemment liés. L'état de la chambre évolue en fonction de l'endroit où Monsieur Müller se trouve avec sa Keycard. Avant l'arrivée de Monsieur Müller après le check-in, celle-ci se trouve en état de somnolence, en mode pré-confort. La température ambiante a été légèrement diminuée, les lumières sont tou-

tes éteintes. Dès que Monsieur Müller ouvre la porte, la chambre se réveille et passe en mode confort: les lampes de base s'allument et la température augmente pour atteindre un niveau confortable. Monsieur Müller insère la Keycard dans un support de carte spécial. Il aimerait que la chambre soit bien chauffée et règle la température via le support de carte. En l'espace de quelques minutes, la température de la chambre correspond à celle souhaitée par Monsieur Müller.

Lorsque Monsieur Müller quitte sa chambre pour aller manger, celle-ci retombe en état de somnolence: toutes les lampes s'éteignent automatiquement, y compris la lampe de table que Monsieur Müller a oublié d'éteindre, tandis que le système de chauffage est mis à l'arrêt jusqu'à ce que la température pré-confort préréglée soit atteinte. Lorsque le lendemain, Monsieur Müller règle sa note à la réception et quitte l'hôtel, la chambre passe à un mode encore plus économique: en attendant le check-in du prochain client, elle se trouve dans un état de sommeil profond,

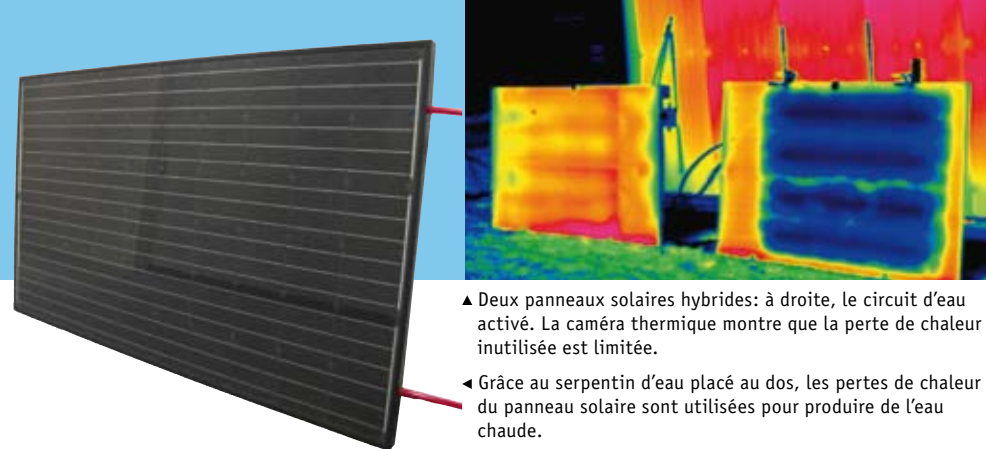
autrement dit en mode économique. La température préréglée diminue encore de manière à ce que la consommation énergétique puisse être réduite au minimum.

10 à 20 pour cent d'énergie en moins

Ce réglage intelligent repose sur un système de contrôle que la société Siemens Buildings Technologies a spécialement conçu pour les hôtels. Aération, chauffage et éclairage de la chambre sont coordonnés par un ordinateur central sans perte de confort pour le client. Les avantages sont évidents pour tous: Monsieur Müller peut modifier la température de sa chambre selon ses envies, et ce malgré le réglage central. L'hôtel quant à lui peut réaliser d'importantes économies: «Le réglage automatique de la température permet de réduire la consommation énergétique de la chambre de 10 à 20 pour cent», explique Kurt Petak, responsable du domaine Hotel Solutions chez Siemens. «De telles économies comptent pour le propriétaire de l'hôtel.»



Une maison équipée de cellules photovoltaïques classiques: la majeure partie de l'énergie solaire captée ne peut être transformée en électricité et se perd en chaleur.



▲ Deux panneaux solaires hybrides: à droite, le circuit d'eau activé. La caméra thermique montre que la perte de chaleur inutilisée est limitée.

◀ Grâce au serpentin d'eau placé au dos, les pertes de chaleur du panneau solaire sont utilisées pour produire de l'eau chaude.

Des panneaux solaires hybrides pour des maisons autonomes

Les capteurs solaires produisent plus de chaleur que d'électricité. L'énergie thermique qui n'est généralement pas utilisée est de plus perdue. Les panneaux solaires «hybrides» permettent de stocker la chaleur pendant plusieurs mois dans le sol et de la réutiliser l'hiver pour chauffer l'habitation.

Aujourd'hui, en Suisse, des milliers de propriétaires de maisons ont installé des panneaux solaires sur leurs toits afin de couvrir leurs besoins électriques. Dommage que la majeure partie de l'énergie solaire captée par la cellule photovoltaïque ne soit pas transformée en électricité et se perde en chaleur! La perte énergétique sous forme de chaleur s'élève généralement à env. 80 pour cent. La chaleur produite constitue de plus un obstacle à la transformation du rayonnement solaire en électricité. Plus les cellules solaires sont chaudes, plus le degré d'efficacité électrique baisse. La perte de chaleur par degré Celsius est de 0,3 pour cent. Autrement dit, les panneaux dont la température atteint 40°C – les cellules solaires peuvent chauffer jusqu'à 70°C - produisent douze pour cent d'électricité en moins. Dans le passé, de nouvelles tentatives visant à refroidir les panneaux solaires tout en utilisant la chaleur perdue pour la maison ont été menées, avec peu de succès jusqu'alors.

La solution: la pompe à chaleur

Hansjürg Leibundgut, professeur en technique du bâtiment à l'ETH Zurich, a développé ce que l'on appelle un capteur hybride. Celui-ci devrait, dans le futur, approvisionner les maisons aussi bien en électricité qu'en eau chaude. Pour ce faire, il a ajouté au dos de panneaux solaires existants une plaque en aluminium parcourue d'un serpentin de refroidissement comparable à celui qui se trouve au dos des frigos. Comme le verre possède des cellules solaires en silicium similaires et la plaque d'aluminium des coefficients de dilatation différents, les deux couches ne peuvent pas être simplement collées ensemble, sinon le verre risquerait de se fendre sous l'effet de la chaleur. C'est pourquoi Leibundgut fixe la plaque d'aluminium sur le verre au moyen de pinces de manière à ce que les deux couches puissent se dilater indépendamment l'une de l'autre. Un circuit d'eau qui dévie en permanence la chaleur du capteur solaire circule dans le serpentin de refroidissement en aluminium. Leibundgut travaille avec des températures d'eau les plus proches possible de la température ambiante afin de limiter la perte de

chaleur entre le circuit de refroidissement et le milieu ambiant. Ainsi, par exemple, l'eau à 22°C quand elle parvient au panneau solaire et 25°C quand elle le quitte.

Mais on ne peut pas faire grand chose dans un ménage avec une eau à 25°C: elle n'est pas assez chaude pour se doucher ou faire la vaisselle. C'est pourquoi le circuit de refroidissement d'eau est relié à une pompe à chaleur (voir aussi AHA) qui fait grimper la température à 40°C. Une température idéale pour prendre une douche. Pour faire fonctionner cette pompe à chaleur, le système utilise l'électricité provenant des panneaux photovoltaïques installés sur le toit de la maison. Leibundgut a calculé que sur les 800 watts de puissance de rayonnement solaire reçus par un panneau solaire, 150 pouvaient être utilisés via le circuit d'eau comme énergie électrique et 450 à des fins thermiques. Les 200 watts restants se perdent dans la réflexion du verre et la conduction thermique.

L'accumulateur thermique dans le sol

Que se passe-t-il lorsque le ciel est couvert pendant des semaines en automne ou en hiver et que le capteur hybride ne reçoit pratiquement aucun rayon solaire? Pour résoudre ce problème saisonnier, Lei-

bundgut combine le circuit d'eau du capteur et un accumulateur de chaleur dans le sol. Un long tuyau est enfoncé dans le sol à une profondeur de 300 mètres. La température de la terre y est de 20°C environ. En été, lorsque la chaleur est excessive, celle-ci est pompée dans le sol. Cette chaleur acheminée augmente de 3°C la température locale du sol à 300 mètres de profondeur. Cette différence de température est ensuite récupérée en faisant circuler dans le sol de l'eau dont la température est inférieure à 23°C. La pompe à chaleur fait ensuite passer la température à 40°C pour la maison. Le sol joue ainsi le rôle d'accumulateur thermique. Leibundgut en est convaincu: «Les capteurs hybrides s'imposeront dans le futur». Il ajoute: «En fait, leur utilisation n'est judicieuse qu'en combinaison avec un accumulateur de chaleur dans le sol et une pompe à chaleur.»

Pour l'instant, il n'existe que des prototypes de panneaux solaires hybrides. Le chercheur a produit ces derniers en collaboration avec un grand fabricant suisse de matériel photovoltaïque. Toutefois, d'ici mi-2012, ces panneaux devraient être fabriqués par milliers et installés sur les toits des maisons aux quatre coins du monde. Les cellules solaires hybrides pourraient devenir un élément essentiel d'une construction respectueuse du climat.



▲ Assemblée générale de l'association «European Energy Award» à Paris organisée par Cornelia Brandes. Cette association faitière est un «produit d'exportation» suisse qui permet l'échange d'expériences avec des cités européennes de l'énergie.



▲ Remise d'un label Gold au syndic de Schaffhouse, cité de l'énergie.

◀ La conseillère en énergie Cornelia Brandes



▲ Conférence de presse à l'occasion des 20 ans d'existence de l'association faitière Cité de l'énergie

«Le travail avec les communes est varié et concret»

En tant que physicienne, Cornelia Brandes souhaitait comprendre comment fonctionnait le monde. Aujourd'hui, elle explique aux communes comment celles-ci peuvent réduire leur consommation énergétique quotidienne.

En tant que conseillère en énergie, j'ai conseillé au cours de ces dernières années d'innombrables communes désireuses d'optimiser leur consommation énergétique. Cette activité me permet de découvrir sans cesse de nouveaux aspects et défis. Chaque commune est en effet un cas particulier. Les problèmes d'une petite commune rurale de 1000 âmes sont en fin de compte totalement différents de ceux d'une ville de 100 000 habitants.

Il y a 15 ans, je me suis mise à mon compte en créant ma propre société de conseil «Brandes Energie». Aujourd'hui, l'entreprise emploie huit personnes. L'accompagnement des communes qui souhaitent être reconnues comme «cités de l'énergie» représente l'un de nos deux pôles essentiels. J'ai développé ce label il y a 20 ans. Aujourd'hui, cette désignation est un standard reconnu. 220 communes suisses ont déjà reçu cette distinction, auxquelles s'ajoutent quelque 400 communes dans les pays voisins qui

ont repris le concept. Lorsqu'une commune souhaite devenir une cité de l'énergie celle-ci doit remettre en question ses activités dans six domaines: de l'administration des immeubles à la mobilité des employés en passant par la communication, nous examinons 87 aspects concrets en rapport avec la consommation énergétique. Il s'agit d'un processus auquel doivent être associées dès le départ toutes les personnes concernées. Ma tâche consiste à proposer, en collaboration avec les autorités et l'administration, et parfois même avec d'autres services tels que les administrations communales, des mesures qui seront ensuite appliquées par les communes. Nous montrons par exemple comment réduire au minimum la consommation énergétique des maisons appartenant à la commune, comment mieux exploiter les parkings ou comment boucler les cycles de vie des matériaux et énergétiques lors de l'élimination des déchets.

Grâce aux discussions avec les autorités, je connais parfaitement les tâches et les défis des communes. Par ailleurs, je peux, avec mes propositions, engager des changements concrets. Ce qui me plaît précisément dans mon travail: ce sont les communes qui décident de la manière dont les directives émises par les autorités supérieures sont appliquées. Les communes sont également en rapport direct avec la population et les entreprises locales.

Une école de pensée utile

J'ai étudié la physique à l'ETH Zurich. J'ai choisi cette branche car je voulais comprendre comment fonctionnait le monde. Si c'était à refaire, je choisirais sans hésiter les mêmes études. Je n'ai jamais eu l'impression, en tant que femme, que la physique était une branche particulièrement difficile. La physique théorique me fascinait particulièrement à l'époque: j'étais impressionnée par le fait qu'il soit possible de décrire les processus atomiques au moyen de formules et que ces mêmes processus

se déroulent dans un objet aussi banal qu'une table. Après mes études, j'ai eu envie de travailler davantage avec les gens et de me consacrer à des thèmes politiques. J'ai donc rejoint l'administration du canton de Zurich où j'ai participé à l'application de la nouvelle loi sur l'énergie. Je me suis ensuite rendu compte que mon travail dans l'administration ne me correspondait pas réellement. Mon avenir, je le voyais plutôt dans l'économie privée.

«Je n'ai jamais eu l'impression, en tant que femme, que la physique était une branche particulièrement difficile.»

Aujourd'hui, je ne travaille plus vraiment comme physicienne, mais la manière de penser que l'on m'a enseignée influence toujours mon travail quotidien. Lorsque je recherche des solutions avec les communes, il est très utile que je puisse analyser et classer les problèmes et les positions des différents partenaires, surtout quand il s'agit de questions délicates sur le plan politique qui nécessitent beaucoup de tact si l'on veut faire bouger les choses.

AHA!



Une maison qui parle, qui permet de réaliser des économies d'énergie et se préoccupe de ses habitants? Voilà qui est devenu réalité à la Haute école de Lucerne. L'iHomeLab montre ce qu'est concrètement une maison intelligente.



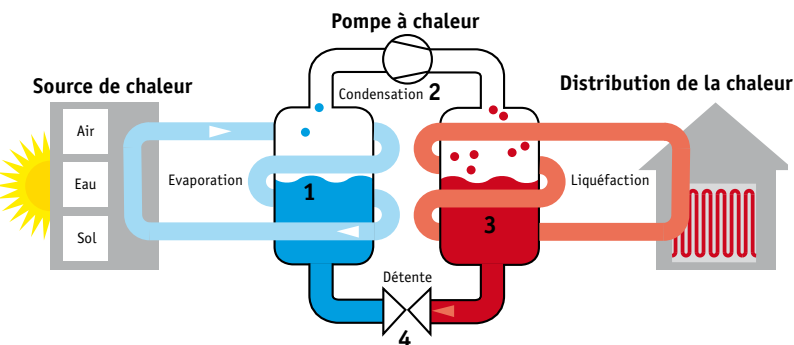
Comment chauffer avec de l'air froid?

En Suisse, plus de 150 000 maisons sont chauffées grâce à la chaleur provenant du milieu ambiant. Celles-ci extraient de l'énergie de l'air ambiant, des nappes phréatiques ou du sol. Bien entendu, le froid de l'air hivernal ou des nappes phréatiques ne chauffe pas directement les maisons. Pour que l'on se sente à l'aise à l'intérieur du bâtiment même par un froid glacial à l'extérieur, une pompe à chaleur qui transforme le froid du milieu ambiant en chaleur utile est indispensable.

Une pompe à chaleur fonctionne à l'inverse d'un frigo. Première étape: le fluide frigorigène est évaporé dans un évaporateur (1). Lors de l'évaporation, le fluide frigorigène extrait de l'énergie de la source de chaleur (l'air ambiant par ex.). Deuxième étape: le fluide frigorigène gazeux est comprimé avec une pompe électrique (2). La température du fluide frigorigène gazeux augmente

fortement. Le fluide frigorigène très chaud est dirigé vers le condenseur où il chauffe l'eau via un échangeur thermique, eau qui sera utilisée pour le chauffage et la douche (3). Lors de cet échange de chaleur, le fluide frigorigène refroidit et redevient liquide. Il est ensuite redirigé vers l'évaporateur via un détendeur (4): le cycle recommence.

Les pompes à chaleur doivent leur succès au fait qu'elles produisent quatre parts de chaleur utile à partir d'une part d'énergie d'entraînement et de trois parts de chaleur ambiante et qu'elles permettent dès lors la production écologique d'énergie thermique. Mais la pompe à chaleur a aussi ses inconvénients: comme la quantité d'électricité nécessaire à son fonctionnement est relativement élevée, il est conseillé d'y avoir recours uniquement si la maison est bien isolée. Des produits chimiques sont en outre utilisés comme fluides frigorigènes dont les effets en pleine nature sont identiques à ceux des gaz à effet de serre. C'est pourquoi l'étanchéité des pompes à chaleur doit être régulièrement contrôlée afin d'éviter toute fuite de ces substances.



A lire

Conseils pour économiser de l'électricité
www.topten.ch

Formation

Apprentissages

Domaines bâtiment et construction
orientation.ch/dyn/1109.aspx?workingfield=4&search=workingfield
Domaines électricité et électronique
orientation.ch/dyn/1109.aspx?workingfield=12&search=workingfield

Cursus universitaires

Architecture, immobilier, électronique et technologie de l'information, génie mécanique, génie de l'environnement
EPF Lausanne: bachelor.epfl.ch/cms/op/edit/lang/fr/formations
ETH Zurich: bwww.ethz.ch/prospectives/programmes

«Technologie de l'énergie et de l'environnement»
Nouveau cursus de la FHNW dès septembre 2011
www.fhnw.ch/technik/eut

A voir

iHomeLab

Une simple petite pression sur l'écran du portable suffit: «Bonjour, dois-je ouvrir la porte?». Lisa nous accueille. La porte s'ouvre sur le futuriste iHomeLab situé à Horw. Lisa est l'«habitante» de l'iHomeLab et accompagne les visiteurs de l'exposition. Lisa n'est pas une personne, mais bien un personnage virtuel dont on n'entend que la voix, car l'iHomeLab est un laboratoire de recherche et un objet de référence qui veut faire de la maison intelligente une expérience concrète.
www.ihomelab.ch

Impressum

SATW Technoscope 1/11, avril 2011
www.satw.ch/technoscope
Conception et rédaction: Dr. Béatrice Miller
Collaborateurs rédactionnels: Dr. Felix Würsten, Samuel Schläfli
Photos: Franz Meier, Marc Bättschmann, FHNW, iHomeLab, Fotolia
Photo de couverture: laboratoire d'automatique de Siemens Suisse SA. Joëlle Weber, en 3^e année d'apprentissage de monteuse-automaticienne, James Kiwic, en 1^{re} année d'apprentissage d'automaticien
Abonnement gratuit et commandes
SATW, Seidengasse 16, CH-8001 Zurich
E-Mail redaktion.technoscope@satw.ch
Tel +41 (0)44 226 50 11
Le Technoscope 2/11 paraîtra en septembre 2011.