



Dr Thomas Kopp
Prof. Dr sc. techn. EPFZ
Chef du programme Chaleur
ambiante (R+D) de l'Office
fédéral de l'énergie

La recherche nationale et internationale

Grâce à leur technologie de chauffage favorable à l'environnement, les pompes à chaleur connaissent un succès en forte croissance. Les programmes de recherche au niveau international mais aussi en Suisse permettent d'accélérer la mise en œuvre de cette technologie.

PAC à l'AIE

La promotion des activités pour une plus grande acceptation des pompes à chaleur est assurée, au niveau international, par le Programme sur les Pompes à chaleur (Heat Pump Programme HPP) de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Le Canada, l'Allemagne, la France, la Grande-Bretagne, le Japon, les Pays-Bas, la Norvège, l'Autriche, la Suisse et les USA participent à cette organisation à but non lucratif. Le secrétariat du programme se trouve en Suède (www.heatpumpcentre.org).

Le HPP offre un échange de savoir et d'informations sur le marché et organise des activités de recherche dans des groupes de travail spécialisés. Ces activités sont appelées « Annexes ». Les différents pays décident pour chaque Annexe si les thèmes qui y sont traités sont suffisamment intéressants à leurs yeux pour y collaborer activement. Un rapport est établi pour chaque Annexe, lequel peut être obtenu auprès du Centre sur les pompes à chaleur (CPC). Les travaux d'organisation sont assurés par un coordonnateur (Operating Agent). Depuis la fondation du programme en 1978, la Suisse s'est activement engagée dans différentes équipes d'Annexes et a déjà plusieurs fois assuré le rôle de coordonnateur (voir encadré p. 41).

Canaux d'information

Le programme édite une lettre d'information qui rend compte quatre fois par an des derniers événements du marché, de la recherche et du développement. Cette publication en anglais peut être téléchargée gratuitement sur le site www.heatpumpcentre.org.

Le Programme sur les Pompes à chaleur organise également tous les trois ans l'International Heat Pump Conference. Ces conférences permettent un échange mondial des nouveautés en matière de R&D, marketing et vente, normalisation et test, et de relations globales dans l'utilisation des technologies des pompes à chaleur. Les dernières conférences ont eu lieu en 2002 à Pékin et en 2005 à Las Vegas.

La Suisse a l'honneur d'organiser la prochaine conférence en 2008. Cette conférence de trois jours aura lieu du 20 au 22 mai 2008 à Zurich (www.hpc2008.org). Des workshops sur les activités des Annexes en cours seront d'autre part offerts les 18 et 19 mai.

Quant aux fabricants européens de pompes à chaleur, ils se sont regroupés dans la European Heat Pump Association EHPA (www.ehpa.org).

L'OFEN actif

Les activités de recherche sont vigoureusement soutenues en Suisse par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) avec un budget de recherche annuel d'environ un million de francs consacré au programme Chaleur ambiante, CCF, froid.

Par ailleurs, différents cantons et organisations telles que *swiss-electricresearch*, le fonds Nature AXPO, le Fonds de recherche des Electriciens Romands, le KTI, le Competence Center Energy & Mobility (CCEM, département EPFZ) soutiennent la poursuite du développement dans le domaine des pompes à chaleur.

Les points forts de la recherche sont déterminés, en ce qui concerne l'OFEN, par les concepts de recherche quadri annuels de la CORE (Commission Fédérale pour la Recherche Energétique) entre les différentes activités de recherche sur l'énergie. Actuellement, le concept 2008-2011 est en consultation.

Les activités de recherche suivantes sont nécessaires et seront soutenues par des contributions de l'OFEN :

- Augmentation du coefficient de performance COP de 7 à 8 dans l'exploitation pratique: passage à de nouvelles technologies, nouveaux cycles réversibles (surcritique, plusieurs étages, dépendance de la charge), nouveaux frigorigènes, effet magnétocalorique).
- Optimisation du système et considération globale du système: source de chaleur – pompe à chaleur – accumulation de chaleur

Fig. 1 : Concept d'une pompe à chaleur magnétique à flux axial (P. Egolf et O. Sari, EIVD Yverdon, 2006).

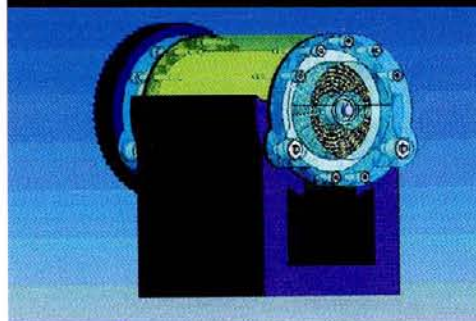




Fig. 2: Pompe à chaleur CO₂ installée sur le toit de l'hôpital du Locle (M. Anstett, Neuchâtel, 2006).

- fourniture de chaleur en combinaison avec le bâtiment et ses affectations, développement de systèmes pour une valorisation multiple (chauffage, eau chaude, refroidissement, récupération de chaleur, déshumidification).
- Standardisation pour la réduction des coûts: mise en valeur de nouvelles sources de chaleur, nouvelles voies pour l'incorporation du système de chauffage (plug and play), miniaturisation.

Le remplacement des chauffages électriques par des pompes à chaleur constitue un objectif important.

Etant donné qu'actuellement la consommation totale de courant des chauffages électriques en Suisse continue à être cinq fois supérieure à la consommation totale de toutes les pompes à chaleur, le remplacement des chauffages électriques par des pompes à chaleur constitue un objectif important. La totalité des 100 000 pompes à chaleur actuellement en service représente environ 1,3% de la consommation nationale d'énergie électrique.

La direction du programme de l'OFEN – Chaleur ambiante, CCF, froid – publie annuellement un rapport lors du séminaire déjà traditionnel de Berthoud sur les dernières connaissances en matière de R&D ou des applications de pompes à chaleur.

Le prochain – et déjà 14^e séminaire de Berthoud – aura lieu le 13 juin 2007. Les intervenants rendront compte des résultats de leurs recherches dans le domaine de la pompe à chaleur air-eau, de l'analyse de l'exergie, de la pompe à chaleur et de la machine frigorifique magnétiques, de la charge de boilers, de la pompe à chaleur dans les maisons MINERGIE et passives et des activités de recherche internationales du Programme sur les Pompes à chaleur de l'AIE.

Coefficient de performance

A côté des objectifs de la CORE, les relations physiques doivent également être considérées dans toutes les activités de recherche. Le processus des pompes à chaleur est un processus thermodynamique cyclique, qui, dans un cas théorique idéal, peut être constitué par quatre modifications d'état sans pertes. Le coefficient de performance (COP) atteignable à cette

occasion ne dépend que des températures de la source de chaleur et du chauffage:

$$\text{COP}_{\text{ideal}} = \frac{Q_{\text{chauffage}} [\text{kW}]}{P_{\text{moteur}} [\text{kW}]} = \frac{T_{\text{chauffage}} [^{\circ}\text{K}]}{T_{\text{chauffage}} [^{\circ}\text{K}] - T_{\text{source chaleur}} [^{\circ}\text{K}]}$$

Pour le cas d'application fréquent comportant un chauffage par le sol à 35° C et une sonde géothermique avec une température de saumure de 5[°C], il en résulte la relation théorique d'un COP maximal de $308.15/30 = 10.27$. A l'heure actuelle, les pompes à chaleur n'atteignent effectivement qu'environ 40-50% des valeurs maximales possibles du fait de conditions effectives telles que le frottement et la diminution de température dans les processus d'échange de chaleur.

Dans ce cadre, il apparaît tout particulièrement que l'ambition d'approcher les valeurs théoriques diminue lorsque les écarts de température sont inférieurs, étant donné que les conditions effectives entrent davantage en considération dans ces cas. Si la chaleur doit directement être prélevée de l'air de l'environnement, les indices de performance diminuent du fait des plus basses températures de l'air et de l'humidité qu'il contient, laquelle peut entraîner un givrage dans l'échangeur de chaleur à air. Si la pompe à chaleur pouvait directement « pomper » la chaleur de la terre de 5° C à la température ambiante de 20[°C], on atteindrait un COP de 19,54.

Projets suisses en cours

Etant donné que la pompe à chaleur a aujourd'hui atteint, sur les plans technique et économique, de bonnes positions concurrentielles par rapport aux autres systèmes

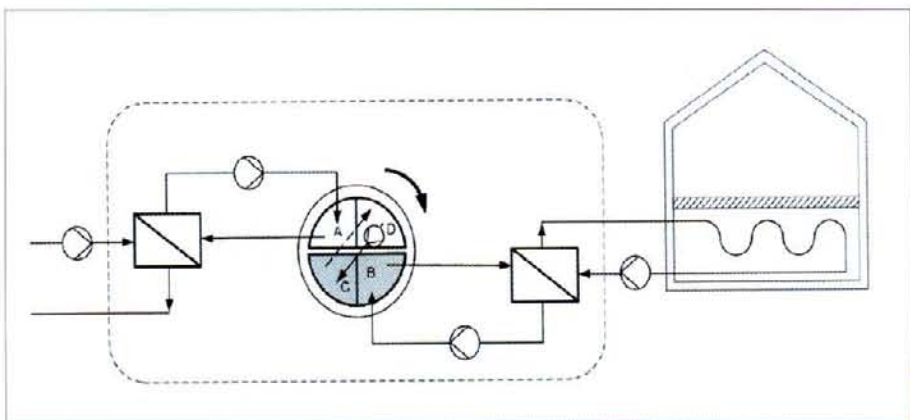


Fig. 4: Schéma d'une pompe à chaleur magnétocalorique pour le chauffage d'une maison (P. Egolf et al., HEIG Yverdon-le-Bains, 2006).

énergétiques, la rentabilité doit également être prise en considération dans chaque réalisation en vue d'améliorer l'efficacité énergétique.

Les prix des agents énergétiques fossiles continuent à être trop bas, si bien que toutes les améliorations connues ne peuvent être incorporées dans les produits présents sur le marché. L'OFEN promet des améliorations dans le cadre des projets actuellement en cours d'étude qui sont les suivants :

LOREF 2: Optimisation des réfrigérants à air avec réduction de la formation de givre et de glace

Le projet concerne l'optimisation d'un refroidisseur d'air. La géométrie (géométrie et forme des nervures) est optimisée afin que la durée de fonctionnement entre les dégivrages soit plus importante et qu'en conséquence les pertes de dégivrage soient réduites au minimum. L'étude de la constitution de la couche de givre et de glace en cas d'utilisation dans un air ambiant humide en est à la base (voir figure 3).

Analyse de l'exergie des pompes à chaleur air-eau

On peut, par l'analyse des pertes d'exergie¹, déterminer les endroits présentant les écarts

les plus importants par rapport au comportement théorique idéal. Des mesures d'amélioration doivent avant tout être recherchées. Le compresseur et l'évaporateur sont identifiés comme les grands producteurs de pertes d'exergie. Le condenseur est un peu moins sensible.

Etude de faisabilité de pompes à chaleur magnétiques: applications en Suisse

L'effet magnétocalorique est à vrai dire connu depuis déjà des décennies. Mais ce n'est qu'au cours de ces dernières années que l'on a trouvé des matériaux hautement magnétisables autorisant maintenant aussi, du point de vue économique, une utilisation dans des applications de pompes à chaleur. Un circuit de pompage de chaleur peut être généré par l'application d'un champ magnétique qui provoque un échauffement puis par le retrait de ce champ qui fait baisser la température (voir figures 1 et 4). Il s'avère que, pour une application dans des circuits de chauffage classiques avec radiateurs, le principe magnétocalorique ne peut entrer en question. Ce principe pourrait être utilisé dans un proche avenir pour les chauffages par le sol possédant une sonde géothermique comme source de chaleur, étant donné qu'une construction à plusieurs étages est nécessaire. Cependant, la rentabilité n'est pas encore garantie.

Mesures des données énergétiques d'une pompe à chaleur air/eau au CO₂ (R744) pour la préparation d'eau chaude sanitaire dans un hôpital

Un prototype de pompe à chaleur commerciale au CO₂ pour la préparation d'eau sanitaire dans un hôpital a été construit et équipé d'appareillages techniques de mesure (voir figure 2). On a ainsi pu vérifier le fonctionnement et le rendement de l'installation sur plusieurs années. Il s'avère que les pompes à chaleur au CO₂ conviennent très bien pour produire de l'eau sanitaire jusqu'à 80° C. La température d'aller de l'eau froide doit être la plus basse possible. Un COP de 3,2 a été mesuré en moyenne avec une température de l'eau froide de 15° C et une température de l'eau chaude de 75° C pour une température de l'air extérieur de 0° C. La puissance de l'installation s'élève à environ 60 kilowatts (kW).

Préparation d'eau chaude avec des pompes à chaleur

Des boilers d'eau sanitaire peuvent être chauffés avec un échangeur de chaleur interne ou externe. Le projet examine expérimentalement celle des deux possibilités présentant le meilleur rendement. L'échangeur de chaleur externe permet un rendement supérieur de 5%. Aucune régulation de la charge du côté secondaire n'a été utilisée.

Analyse énergétique des grandes pompes à chaleur

De nombreuses pompes à chaleur de grandes dimensions d'une puissance moyenne de 500 kW sont en service en Suisse. Les puissances thermiques installées atteignent jusqu'à 4,5 mégawatts (EPFL). Les valeurs moyennes du COP de ces grandes pompes à chaleur se situent à 3,16, alors que des petites pompes à chaleur comparables de série atteignent en moyenne un COP de 3,4. L'élucidation des causes des plus mauvaises valeurs du COP des grandes installations fait l'objet de ce projet. Les causes se situent dans la distribution de

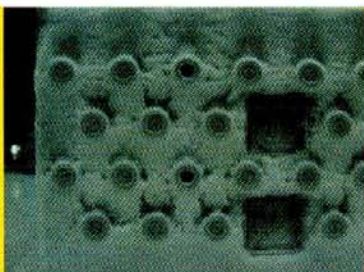


Fig. 3: Essai de formation de givre autour d'un tuyau d'échangeur de chaleur simulé sur une douille à température contrôlée (K. Hilfiker et al., HTA Luzern, 2005).

chaleur à des réseaux plus grands très ramifiés et dans la source de chaleur où la collecte de plus grandes quantités de chaleur à un endroit donné présente plus de pertes que la collecte de nombreuses quantités plus petites à des endroits différents.

Régulateur de charge piloté par les conditions atmosphériques

Les pompes à chaleur air-eau présentent en régime constant une augmentation de la puissance calorifique avec des températures de l'air extérieur croissantes. En conséquence, la température à la sortie du condenseur ne diminue que faiblement ou pas du tout, ce qui conduit à une détérioration du COP annuel. La température de distribution doit être régulée en fonction de la courbe de chauffage par la régulation du débit d'eau par le condenseur. Théoriquement, on devrait ainsi escompter un COP annuel supérieur de 20%. Le projet effectue des mesures sur une installation rééquipée et la compare avec une installation conventionnelle.

Solutions standards pour un refroidissement efficace avec des pompes à chaleur

Les pompes à chaleur et machines frigorifiques sont, du point de vue appareillage, de construction identique. Un processus de déshumidification peut également être assuré par des machines frigorifiques. Etant donné que l'architecture moderne fait fréquemment appel à des façades vitrées, l'évacuation de la chaleur en été doit faire l'objet d'une attention particulière. Les pompes à chaleur saumure/eau et eau/eau permettent un refroidissement passif direct par la sonde géothermique. Un refroidissement actif serait également possible si, simultanément, de l'eau sanitaire pouvait être produite. Mais les pompes à chaleur air-eau pourraient également assurer une fonction de refroidissement et de déshumidification. Etant donné qu'une utilisation pour du refroidissement est de plus en plus exigée par les clients, il doit également être énergétiquement efficace. Des solutions standards et des directives de dimensionnement sont élaborées dans le projet en cours et évaluées dans un test pratique.

Monitoring pratique d'installations de pompes à chaleur efficaces

Des pompes à chaleur sont analysées de façon exhaustive depuis 1996 dans le cadre d'un test pratique. Le rapport final de l'analyse pratique des installations de pompes à chaleur ANIS (analyse in situ

Engagement de la Suisse dans diverses Annexes de l'AIE

- Annexe 22: Compression Systems with Natural Working Fluids. Etats participants: Canada, Danemark, Japon, Pays-Bas, Norvège (Operating Agent), Suisse, Royaume-Uni, USA. Achevé en 1999.
- Annexe 23: Heat Pump Systems for Single Room Application. Etats participants: Canada (Operating Agent), France, Suède, Suisse, USA. Achevé en 1999
- Annexe 27: Selected Issues on CO₂ as Working Fluid in Compression Systems. Etats participants: Japon, Norvège (Operating Agent), Suède, Suisse, Royaume-Uni, USA. Achevé en 2004.
- Annexe 28: Test Procedure and Seasonal Performance Calculation of Residential Heat Pumps with Combined Space and Domestic Hot Water Heating. Etats participants: Autriche, Canada, France, Allemagne, Japon, Norvège, Suède, Suisse (coordonateur), Royaume-Uni, USA. Achevé en 2005.
- Annexe 32: Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses. Etats participants: Canada, Allemagne, Suède, Suisse (coordonateur), USA. En cours.

de pompes à chaleur) a été publié en 2005. Sur les 221 machines mesurées, cinquante installations de cette époque présentant les meilleurs rendements ont continué à être suivies et examinées. La raison du bon comportement sera recherchée et publiée pour l'optimisation des autres installations. D'autres informations sur le comportement à long terme et par conséquent le rendement, la fréquence des réparations, la perte de frigorigène et les coûts d'exploitation peuvent également être déterminées. Des rapports annuels et des rapports finaux de projets rendus publics sont publiés sur tous les projets de recherche soutenus par l'OFEN. Ils sont à disposition sur www.energieforschung.ch et www.pompeachaleur.ch.

Responsables:

Fabrice Rognon, Responsable du domaine Chaleur ambiante à l'OFEN
Thomas Kopp, Chef du programme Chaleur ambiante (R+D) de l'OFEN
Max Ehrbar, Chef du programme Chaleur ambiante (P+D) de l'OFEN

Références

¹ Exergie: Potentiel de travail maximal qu'il serait idéalement possible de tirer de chaque unité énergétique transférée ou stockée.

Internet:

www.heatpumpcentre.org
www.ehpa.org
www.energieforschung.ch
www.pompeachaleur.ch
www.pac.ch