

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 113 (1987)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Utilisation combinée de l'air, du soleil et du terrain comme sources froides de pompes à chaleur  
**Autor:** Lambert, Eric / Périllard, André / Stähli, Charles  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76362>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Utilisation combinée de l'air, du soleil et du terrain comme sources froides de pompes à chaleur

L'utilisation d'une pompe à chaleur permet de fournir à un chauffage, ou à un chauffe-eau, davantage d'énergie sous forme de chaleur qu'on n'en consomme sous forme d'électricité, de mazout, de gaz, etc. La différence est prélevée d'une source de chaleur dont la température est inférieure à celle requise par l'utilisateur. Le terrain, l'air ambiant et, avec certaines restrictions dans le temps, le rayonnement solaire sont des sources de chaleur qui sont disponibles pratiquement partout. Pour pouvoir utiliser ces sources de manière combinée, il faut disposer soit d'un registre terrestre, soit de capteurs-échangeurs, ou encore des deux simultanément, placés du côté froid de la pompe à chaleur (celui de l'évaporateur).

## Evolution comparative des performances de capteurs-échangeurs en sous-toiture

par Eric Lambert, André Périllard et Charles Stähli, Yverdon-les-Bains

Les capteurs-échangeurs en sous-toiture sont des éléments invisibles, qui peuvent jouer le rôle de sources performantes de pompes à chaleur, assurant une production d'énergie thermique à fin de chauffage d'immeubles, par exemple.

Le but principal de la recherche menée a été l'étude comparative des performances de deux capteurs-échangeurs en sous-toiture d'orientations différentes, avec celles de trois autres capteurs-échangeurs dont deux de référence. Cette étude s'est faite dans des conditions réelles d'utilisation, pour le chauffage d'une maison familiale située sur le Plateau suisse à une altitude de 576 m et exposée aux vents. Un autre but de ce travail a été, d'une part, d'étudier les éventuels avantages pratiques et économiques de l'utilisation de capteurs-échangeurs en sous-toiture, d'autre part de mettre en évidence les précautions techniques à respecter lors de leur implantation.

Les deux capteurs-échangeurs en sous-toiture C6 et C7 étudiés sont de construction identique. Ils sont formés d'un réseau de tuyaux en polyéthylène situés entre la tuile et la sous-toiture, sur le contre-lattage. L'un est placé sous un pan de toit est, l'autre sous un pan de toit ouest. Ils fonctionnent essentiellement comme échangeurs, le captage du rayonnement solaire direct se faisant par la tuile qui chauffe le milieu duquel ils extraient l'énergie thermique. Quant aux deux capteurs-échangeurs nommés FI et FII, ils sont constitués de tuyaux soit jointifs, soit disjoints, et situés sur un pan de toit ouest. De par sa structure, le second a de meilleures propriétés d'échangeur que le premier, qui capte le

rayonnement solaire direct plus efficacement. Le dernier capteur-échangeur, appelé J, est constitué de tubes munis d'ailettes et situé dans un plan vertical exposé au sud. Il s'est révélé présenter de remarquables qualités d'échangeur.

Les mesures effectuées du mois de mai 1984 au mois d'avril 1985 permettent le calcul de l'énergie thermique extraite de chaque capteur-échangeur par unité de surface active projetée et aussi par unité de différence de température entre l'environnement et l'élément (coefficient d'échange  $K$ ), en fonction des grandeurs météorologiques.

Les coefficients d'échange des capteurs-échangeurs, obtenus pour de faibles vitesses du vent, sont de l'ordre de 25, 20, 60 et 130  $W/m^2 \cdot K$  respectivement pour les capteurs-échangeurs en sous-toiture et pour FI, FII et J. Ces coefficients passent à 40, 35, 100 et 210  $W/m^2 \cdot K$  pour une vitesse de vent de 7 m/s. La variation détaillée de l'évolution de ces coefficients d'échange, en fonction de la vitesse du vent et de l'humidité relative

Ce 23 mars, l'Ecole d'ingénieurs de l'Etat de Vaud (EINEV), à Yverdon-les-Bains, organise une journée d'information consacrée au sujet de cet article (voir le memento des manifestations dans le présent numéro), destinée aux architectes, aux ingénieurs et à toutes les personnes intéressées au captage actif de l'énergie de l'environnement pour le chauffage des bâtiments.

L'article ci-contre présente un résumé des résultats de ces recherches qui, réalisées à l'Institut fédéral de recherche en matière de réacteurs (EIR) et à l'EINEV, ont porté sur des évaluations comparatives des performances énergétiques de différents éléments capteurs-échangeurs et des études technico-économiques relatives à leur utilisation.

de l'air ambiant, est exposée dans ce travail. D'autre part, sur les capteurs-échangeurs en sous-toiture, protégés par le toit, la présence d'une couche de neige ou de givre ne modifie pratiquement pas leurs performances, comme c'est le cas en revanche pour les autres capteurs-échangeurs.

Les capteurs-échangeurs en sous-toiture étudiés montrent, comparativement à d'autres capteurs-échangeurs tels que FII et J, des performances plus faibles quant à l'énergie extraite par unité de surface projetée. Cependant, le prix de revient de l'énergie thermique produite est pratiquement indépendant du type de capteur-échangeur étudié dans ce travail. Il n'en reste pas moins que les capteurs-échangeurs en sous-toiture présentent de sérieux avantages du point de vue de l'esthétique des bâtiments auxquels ils sont associés et qu'ils ont des performances et une durée de vie moins affectées par des conditions climatiques hivernales extrêmes. Leur installation, qui nécessite les précautions qui seront exposées dans cette étude, est relativement aisée lors d'une construction neuve ou d'une rénovation de toiture. Associés à un registre



Vue d'ensemble de l'installation de la recherche EINEV.

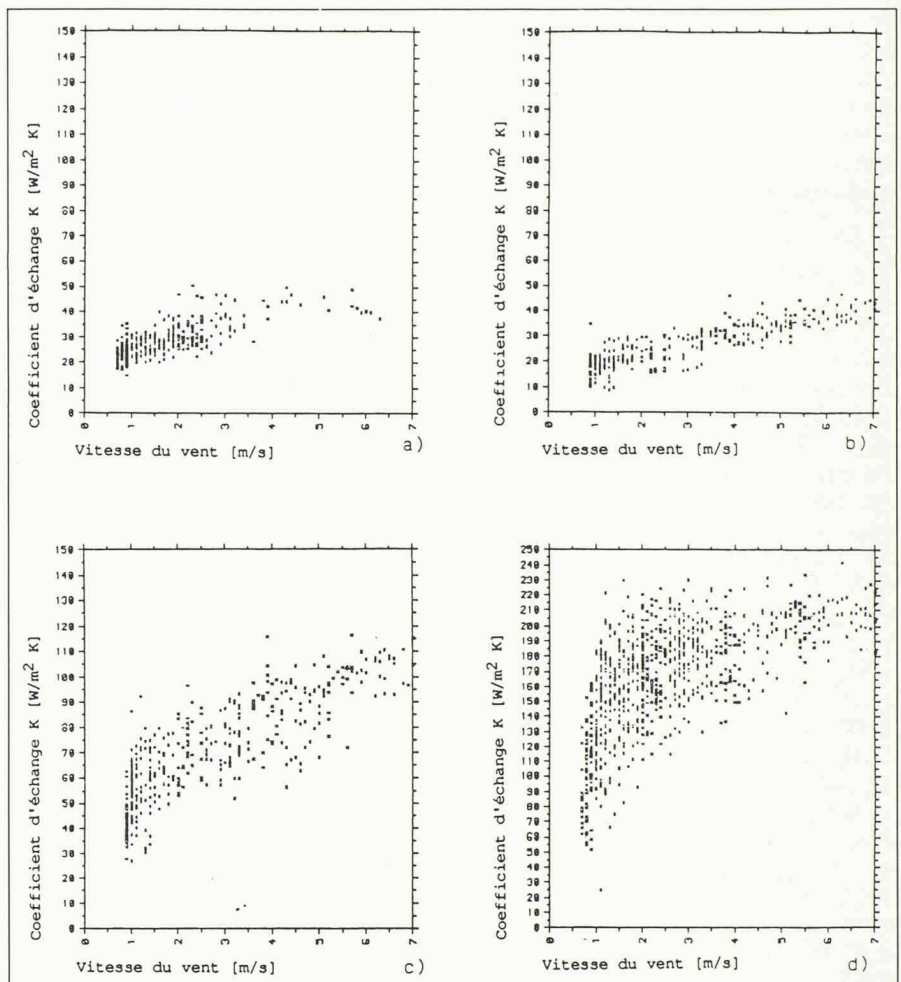
terrestre de surface limitée, ces capteurs-échangeurs peuvent contribuer de façon substantielle, et à un coût acceptable, à la production d'énergie thermique par pompe à chaleur.

Une méthode de dimensionnement de capteurs-échangeurs en sous-toiture connectés en série avec un registre terrestre ayant des caractéristiques pédologiques déterminées est présentée dans ce rapport. Il faut remarquer que l'utilisation d'une pompe à chaleur associée à des capteurs-échangeurs seuls ne permet pas de couvrir les besoins d'énergie thermique d'un bâtiment sans avoir recours à une source d'énergie complémentaire durant les jours les plus froids.

Pour étudier l'aspect technico-économique de l'utilisation de capteurs-échangeurs en sous-toiture, plusieurs variantes sont envisagées. Une des conclusions de cette étude est qu'un chauffage par pompe à chaleur, alimentée par de tels capteurs-échangeurs associés à un registre terrestre, produit une énergie thermique dont le prix de revient, valable durant toute la période d'amortissement des installations et sans tenir compte du renchérissement de l'énergie électrique durant cette période, s'élève à 20 ct./kWh dans les conditions les plus favorables. Ce prix est d'environ 12% plus élevé que celui de l'énergie produite par un chauffage électrique centralisé. Ces deux prix de revient s'égalent dès que le taux de renchérissement annuel de l'énergie électrique atteint une valeur comprise entre 1,5 et 5% selon les cas. Le calcul est fait sur la base d'une période d'amortissement de l'installation de vingt ans, pour une maison bien isolée et pour un prix de l'énergie électrique de 16 ct./kWh de jour et 8 ct./kWh de nuit. L'étude montre encore que la rentabilité de l'installation de chauffage peut être notablement améliorée par une bonne estimation des besoins thermiques, une bonne répartition des consommations de l'énergie électrique à bas et haut tarifs, un dimensionnement optimal de la pompe à chaleur pour fournir l'énergie thermique de base, la couverture des énergies «de pointe» pendant les jours les plus froids étant assurée par un autre système de chauffage peu onéreux.

#### Adresse des auteurs :

Eric Lambert, André Périllard et Charles Stähli, professeurs à l'Ecole d'ingénieurs de l'Etat de Vaud  
1401 Yverdon-les-Bains



Variation du coefficient d'échange K en fonction de la vitesse du vent.

a) C6 b) FI  
c) FII d) J

### Utilisation combinée de l'air et du soleil comme sources froides de pompes à chaleur

par Johannes Keller, Arthur Imhof  
et Jürg Buchli, Colombier

L'idée de compléter un approvisionnement énergétique fondé sur le bois par une pompe à chaleur utilisant, comme sources de chaleur combinées, l'air et le soleil remonte à la deuxième moitié des années septante (projet « Approvisionnement de Sent en chaleur. Etudes et essais en vue de l'approvisionnement en chaleur d'un village de montagne de manière aussi autarcique, rentable et respectueuse de l'environnement que possible »). C'est dans ce cadre qu'on avait développé un élément « capteur/échangeur de chaleur à air » (élément KL) à installer du côté froid de la pompe à chaleur. Il s'agissait d'une construction à l'aspect d'un capteur solaire, recouverte d'un vitrage, dont l'absorbeur était constitué d'un registre d'échangeur à lamelles peint en noir. Au besoin, des ventilateurs établissaient un courant d'air sous la couverture vitrée, autrement dit un courant de convection forcée à travers les lamelles de l'échangeur.

Avant toute réalisation de ce projet, il se révéla nécessaire de vérifier par des essais complémentaires le bien-fondé de la conception de l'élément KL, par comparaison avec d'autres variantes possibles comme, par exemple, le « toit énergétique » ou l'échangeur de chaleur air/eau. Le but du projet NEFF N° 200 était l'identification de l'élément le mieux approprié, compte tenu des performances thermiques, de la durée de vie, des frais d'acquisition et des coûts d'exploitation. Pour cela, on a étudié expérimentalement, à l'aide du banc d'essai en plein air pour capteurs basse température de l'EIR, les éléments suivants :

- une version améliorée de l'élément capteur/échangeur de chaleur à air (élément KL), munie de ventilateurs à vitesse de rotation variable ;
- un échangeur de chaleur air/eau avec ventilateurs ;
- un échangeur de chaleur air/eau sans ventilateur (convecteur) ;
- un capteur solaire basse température sans couverture (capteur NT).

Les éléments a), c) et d) peuvent utiliser, à des degrés variables, aussi bien l'énergie de l'air ambiant que celle du rayonnement solaire, tandis que l'élément b) ne peut extraire de l'énergie que de l'air ambiant.

On a d'abord comparé les apports thermiques journaliers par unité de surface, la température à l'entrée des éléments placés sur le banc d'essai étant maintenue environ 7 °C en dessous de celle de l'air ambiant. On a constaté que l'échangeur de chaleur air/eau se plaçait en tête, avec 10 à 35 kWh/m<sup>2</sup>, suivi du convecteur (7-20 kWh/m<sup>2</sup>) et de l'élément KL (3-15 kWh/m<sup>2</sup>). Le capteur basse température sans couverture fermait la marche (2-7 kWh/m<sup>2</sup>).

On a observé le même ordre en classant les éléments d'après les valeurs mesurées du coefficient de transfert de chaleur  $K$  entre le glycol et l'air. La convection forcée conduit, pour l'échangeur air/eau, à une valeur  $K$  de l'ordre de 260 W/m<sup>2</sup>K, mais en contrepartie les ventilateurs de cet élément doivent être alimentés en électricité. Le coefficient  $K$  du convecteur, élément sans ventilateur, dépend notablement de la vitesse du vent et atteint, par exemple, les 170 W/m<sup>2</sup>K pour une vitesse de 2 m/s déjà. C'est une performance étonnante pour un élément de construction aussi simple. Au contraire, les propriétés thermiques de l'élément KL sont médiocres en regard des perfectionnements techniques dont il est muni; son coefficient  $K$  ne dépasse guère les 110 W/m<sup>2</sup>K, même quand les ventilateurs tournent à pleine vitesse, consommant de l'électricité en quantité non négligeable. Enfin, pour le capteur NT, on a mesuré des valeurs de  $K$  dépendant de la vitesse du vent, mais n'atteignant que 20 W/m<sup>2</sup>K environ pour une vitesse de 2 m/s; cela explique pourquoi cet élément ne se place pas mieux. Il est vrai qu'il est le seul des quatre à ne pas avoir de lamelles pour l'échange de la chaleur. En ce qui concerne le rendement optique  $A$ , qui est un indicateur du pouvoir d'absorption du rayonnement solaire, c'est le capteur NT qui se place en tête avec

Les rapports de ces recherches peuvent être achetés lors de la conférence ou aux adresses suivantes:

Ecole d'ingénieurs de l'Etat de Vaud  
1401 Yverdon-les-Bains

E. Lambert, A. Périllard,  
C. Stähli:

*Evaluation comparative des performances de capteurs-échangeurs en sous-toiture. Etude technico-économique de l'utilisation de tels éléments comme source froide d'une pompe à chaleur.* Fr. 25.-

A. Périllard, C. Stähli:

*Caractéristiques techniques détaillées de l'installation.* Fr. 25.-

Infosolar  
2013 Colombier

EIR Bericht Nr. 3, Dezember 1985

J. Keller, A. Imhof, J. Buchli:

*Kombinierte Nutzung von Luft und Sonne für Wärmepumpenanwendungen, Schlussbericht des NEFF-Projektes Nr. 200.* Fr. 25.-

$A = 0,76$ ; il est suivi de l'élément KL ( $A = 0,65$ ) et du convecteur ( $A = 0,58$ ). Pour combiner de manière appropriée les performances thermiques et la consommation d'énergie des ventilateurs, on a développé un programme d'ordinateur qui simule une installation de pompe à chaleur biénergie, pouvant travailler en parallèle avec un chauffage d'appoint au mazout, et à laquelle chacun des quatre éléments étudiés est branché successivement. Au préalable, on a déterminé quelle surface ces éléments devaient avoir chacun pour que la puissance thermique d'une grande villa puisse être satisfaite dans chaque cas intégralement, sans appoint, de nuit, par une température de 0°C. On a calculé ensuite, pour chaque élément, les apports thermiques mensuels et annuels ainsi que la consommation d'électricité (entraînement de la pompe à chaleur, ventilateurs, appoint pour l'eau chaude sanitaire) et de mazout

(appoint pour le chauffage), en utilisant les données météorologiques respectivement de Kloten et de Davos. On a obtenu finalement le prix de revient annuel moyen du kWh thermique pour chaque élément, dans trois hypothèses différentes de prix des agents énergétiques et pour chaque fois quatre valeurs de la surface installée des éléments. Ce prix de revient tient compte de la durée de vie, des frais d'exploitation et de l'investissement, à l'exclusion toutefois des parties de l'installation présentes dans toutes les variantes (pompe à chaleur, stock chaud, chauffe-eau sanitaire, etc.).

Pour Kloten, les résultats indiquent que, aux prix actuels des agents énergétiques (électricité: 12 ct./kWh, mazout: 80 ct./kg), le convecteur représente la solution la plus économique (frais annuels de production de chaleur Fr. 3453.- ou 7 ct./kWh). Il est suivi du capteur NT (Fr. 3705.- ou 8 ct./kWh), de l'échangeur air/eau à ventilateurs (Fr. 3785.- ou 8 ct./kWh) et de l'élément KL (Fr. 4271.- ou 9 ct./kWh). Rappelons encore une fois que ces prix ne comprennent pas l'amortissement de la pompe à chaleur, du stock, etc., amortissement qui représente à lui seul Fr. 4000.- ou 10 ct./kWh environ. L'ordre de placement des quatre éléments étudiés est indépendant de l'évolution des prix des agents énergétiques. Pour le climat de Davos, les frais annuels de production de chaleur sont plus élevés, mais l'ordre de placement des éléments reste inchangé. En particulier, le surcoût de l'élément KL développé spécialement pour l'utilisation combinée de l'air et du soleil ne se justifie pas.

Adresse des auteurs:

Johannes Keller, Dr phil., Arthur Imhof,  
ing. ETS, et Jürg Buchli, ing. dipl.  
Infosolar  
2013 Colombier

## Industrie et technique

### Un «œil volant» télécommandé

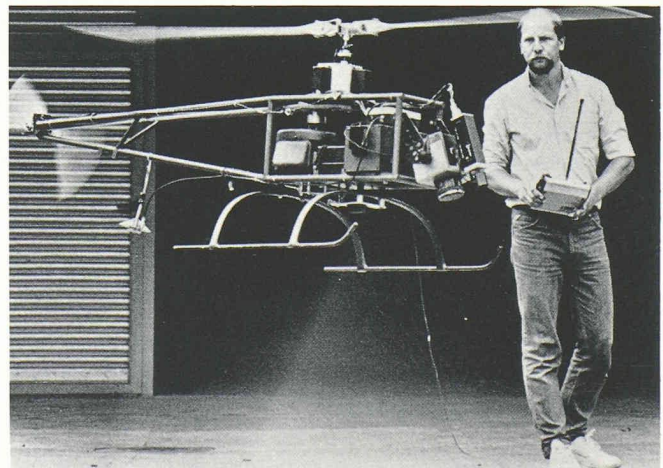
Une entreprise d'Allemagne du Nord, spécialisée dans l'électronique, a mis au point tout récemment un «œil volant», un mini-hélicoptère propulsé par un moteur à essence et capable de transporter une charge utile de 5 kg. Equipé d'une caméra TV spécialement mise au point, d'un émetteur ainsi que d'une télécommande informatisée, l'engin doit pouvoir, en toutes circonstances, opérer dans un rayon d'action allant jusqu'à 12 km. Police, pompiers et la «Bundeswehr» ont d'ores et déjà manifesté un très vif intérêt pour ce nouvel instrument d'observation et de sauvetage qu'est l'«œil volant» d'Osnabrück, capable de missions en tout genre.

L'industrie aéronautique alle-

mande redouble d'efforts en vue de mettre au point une nouvelle génération d'hélicoptères capables de satisfaire des exigences accrues au niveau de la sécurité, de la vitesse, d'un niveau sonore réduit et d'un maniement simplifié à l'extrême. Pour sa part, à Bonn, le Ministère fédéral allemand de la recherche et de la technologie, encourage de nouveaux projets dans le domaine du «high-tech», les technologies d'avant-garde. L'industrie aéronautique et spatiale allemande emploie 70 000 collaborateurs et mobilise 20% de son chiffre d'affaires au titre de la recherche et de la mise au point, contre 2,5% seulement pour l'ensemble des industries manufacturières et de transformation. Pour la recherche et les technologies aéronautiques, le Ministère fédéral allemand de la recherche et de la technologie a inscrit à son budget

1986 près de 200 millions de DM, dont plus de la moitié à titre de financement de base de la *Deutsche Forschungs- und Versuchs-*

*anstalt für Luft- und Raumfahrt* (DFVLR), l'Office allemand de recherche et d'expérimentation aéronautique et spatiale. (na)



En présentant cet «œil volant», une firme allemande d'Osnabrück spécialisée dans l'électronique a confirmé la mise au point d'un mini-hélicoptère télécommandé par ordinateur et capable, dans un rayon de 12 km minimum d'assurer de façon autonome des prises de vues TV.