

IDÉES DE PHYSIQUE

Du soleil pour chauffer... et refroidir

En jouant sur les différences de densité entre les régions chaudes et froides, on peut créer une circulation au sein d'un fluide et un transfert de chaleur. Des chauffe-eaux et des climatiseurs solaires fonctionnent sur ce principe.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Comment disposer d'eau chaude dans son habitation tout en se passant d'électricité ? Chauffer l'eau avec des capteurs solaires n'est pas tout ; encore faut-il assurer la circulation de l'eau dans ces capteurs pour les alimenter en eau froide et acheminer l'eau chaude dans le réservoir qui la stockera jusqu'à son utilisation.

La solution ? Réaliser un thermosiphon, c'est-à-dire provoquer une circulation grâce à la différence de masse volumique entre l'eau chaude et l'eau froide, différence responsable de mouvements dits de convection. En adaptant ce principe à la circulation de l'air, il est aussi possible d'utiliser la chaleur du soleil pour, paradoxalement, rafraîchir une maison en plein été.

La convection thermique en guise de moteur

Comment fonctionnent ces dispositifs, qui n'ont pas besoin de pompes ? Commençons par le phénomène de convection. Lorsqu'on place une casserole d'eau sur un feu ou une plaque chauffante, on peut voir que l'eau se met en mouvement bien avant que l'ébullition ne débute (voir la figure 1). Cette convection a pour origine les écarts de température au sein du liquide, qui créent des différences de masse volumique.

La masse d'un litre d'eau est de un kilogramme à 4°C sous pression atmosphérique. Mais ce n'est pas le cas à d'autres

températures. Plus la température est élevée, plus les molécules d'eau s'agitent et brisent les liaisons intermoléculaires qui confèrent au liquide sa cohésion, de sorte que l'eau se dilate : la masse d'eau contenue dans un litre diminue. À 20°C, cette diminution est minime – un peu moins de deux grammes. Mais à 50°C, la différence atteint déjà 12 grammes, et à 100°C elle est de 42 grammes. Un litre d'eau fait alors 958 grammes, et la différence est notable.

Pour en revenir à la casserole chauffée, l'eau au-dessus du feu s'échauffe plus vite que l'eau située à la périphérie du récipient. La colonne d'eau au centre est donc moins

dense et exerce au fond de la casserole une pression inférieure à celle de la colonne d'eau périphérique.

Cette différence de pression amorce un mouvement d'ensemble du fluide qui facilite le transfert thermique : au centre, remontée de l'eau chaude et moins dense vers la surface, refroidissement au contact de l'air ambiant, descente de l'eau refroidie et plus dense à la périphérie, réchauffement au fond, et ainsi de suite. On retrouve l'analogie de ce phénomène à l'échelle des océans de notre planète (la circulation thermohaline), mais en beaucoup plus complexe, car la salinité modifie aussi la masse volumique de l'eau de mer.

Comment mettre la convection à profit pour faire circuler sans pompe de l'eau dans un chauffe-eau solaire ? En reproduisant le même phénomène au sein des canalisations du chauffe-eau (voir la figure 2).

Une partie de ce circuit est composée des capteurs solaires et contient de l'eau chaude. C'est un ensemble de tuyaux peints en noir, placés dans une boîte plate au fond noir et au couvercle de verre, afin d'absorber toute la lumière du soleil et d'optimiser le rendement thermique.

Dans une seconde partie se trouve l'eau non encore chauffée, destinée à aller vers les capteurs. Étant donné l'écart de température entre les deux parties, une circulation naturelle peut s'établir. Il existe cependant une différence notable par rapport à la casserole. Dans cet ustensile de



1. DANS UNE CASSEROLE placée sur le feu, l'eau au centre s'échauffe plus vite que celle située en périphérie. Moins dense, elle finit par s'élever, se refroidit au contact de l'air et, devenue plus dense, replonge un peu plus loin. Des rouleaux de convection naissent ainsi.

cuisine, l'écoulement est libre et se déroule à petite échelle (quelques centimètres). Dans un chauffe-eau, en revanche, la différence de pression due aux différences de densité entre l'eau chaude et l'eau froide doit compenser la perte de charge (diminution de la pression le long de l'écoulement) qui résulte de la résistance d'un fluide visqueux à l'écoulement dans de longs tuyaux.

Compenser la perte de charge

Lorsque l'écoulement n'est pas turbulent, cette perte de charge obéit à la loi dite de Poiseuille : elle varie comme le produit du débit par la longueur du tuyau et la puissance quatrième de son diamètre.

Pour s'assurer de la faisabilité du dispositif, comparons la différence de pression entre le bas d'une colonne d'eau à 20 °C et le bas d'une colonne identique d'eau à 50 °C (température aisément atteinte dans un chauffe-eau solaire à usage domestique). La différence de masse volumique entre ces deux températures étant d'une dizaine de grammes par litre, la différence de pression hydrostatique vaut environ 100 pascals (un millième d'atmosphère) pour une colonne haute de un mètre.

Pour calculer la perte de charge, il faut estimer le débit de l'installation. Atteindre 50 °C dans le ballon d'eau chaude nécessite une hausse de 30 °C par rapport à la température ambiante. Comme il faut 4 kilojoules pour élever de un degré la température d'un litre d'eau, il faudra, avec un capteur solaire de deux mètres carrés, environ une minute pour chauffer convenablement un litre d'eau si l'on suppose que toute la puissance lumineuse (de l'ordre de un kilowatt par mètre carré) est convertie en chaleur. Avec un débit de un litre par minute dans des tuyaux de diamètre intérieur de l'ordre du centimètre, on trouve une perte de charge d'environ 70 pascals par mètre de tuyau.

Or, comme on l'a vu, la différence de pression hydrostatique entre eau chaude et eau froide est d'environ 100 pascals par mètre vertical. Cela signifie que, en ordre de grandeur et à condition d'utiliser des tuyaux pas trop étroits, la convection

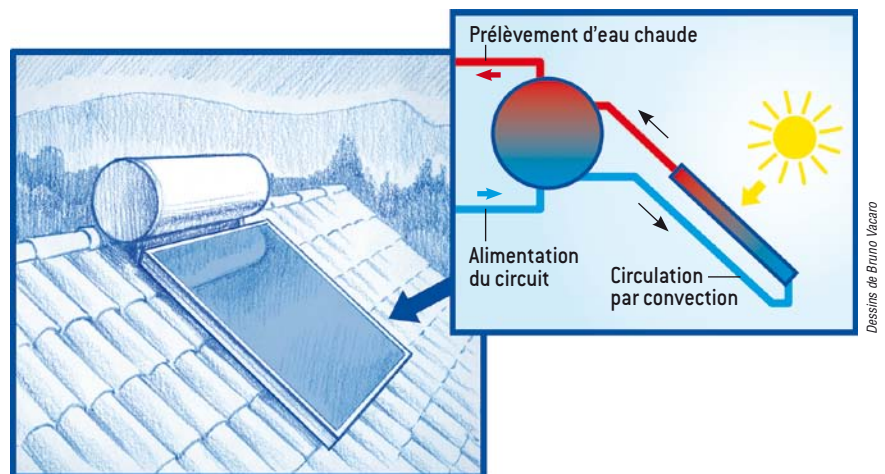
thermique peut faire circuler l'eau dans un tel système. Cela montre aussi que la mise au point et le dimensionnement d'un dispositif efficace exigent un réel savoir-faire, car la marge de manœuvre est faible.

Il y a tout de même un prix à payer. Comme l'eau chaude s'élève, il faut placer le réservoir au-dessus des capteurs solaires, et non au-dessous comme on aurait envie de le faire lorsque les capteurs sont sur le toit d'une maison. Les chauffe-eaux solaires à thermosiphon se reconnaissent ainsi à leur réservoir installé

LES AUTEURS

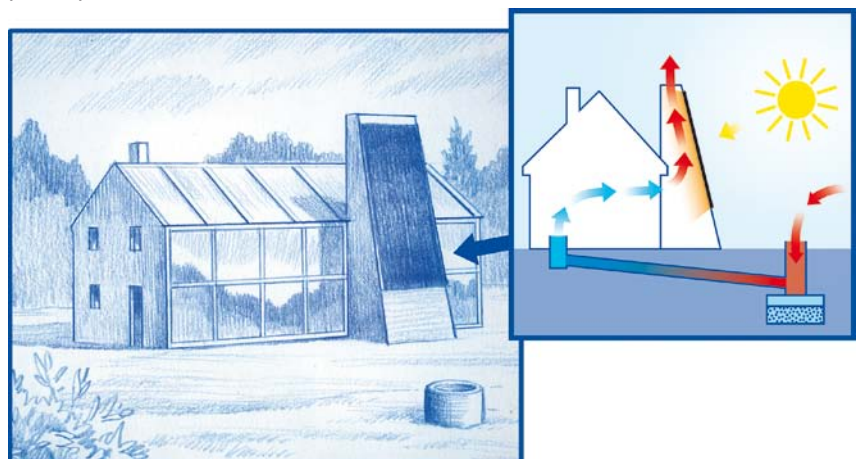


Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



Dessins de Bruno Vacaro

2. DANS UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE, l'eau froide (*en bleu*) est chauffée à l'intérieur d'un panneau qui absorbe le rayonnement du Soleil. Devenue plus chaude donc moins dense (*en rouge*), elle tend à s'élever et crée une circulation qui l'amène au réservoir, surélevé par rapport au panneau.



3. L'EFFET DE THERMOSIPHON peut être utilisé pour rafraîchir une maison. L'air contenu dans la cheminée est chauffé par la façade absorbante, et la différence de température entre cet air et celui qui a été refroidi sous terre crée une circulation. De l'air frais pénètre ainsi dans les pièces à vivre de la maison, tandis que l'air chaud est évacué.