

Dans un hammam, avec de l'air saturé, nous transpirons bien, mais en l'absence d'évaporation, qui évacuerait la chaleur du corps, la température ne peut guère y excéder les 50 °C.

Détaillons le processus d'évaporation dans un récipient. Pour simplifier, supposons que l'air ambiant soit parfaitement sec.

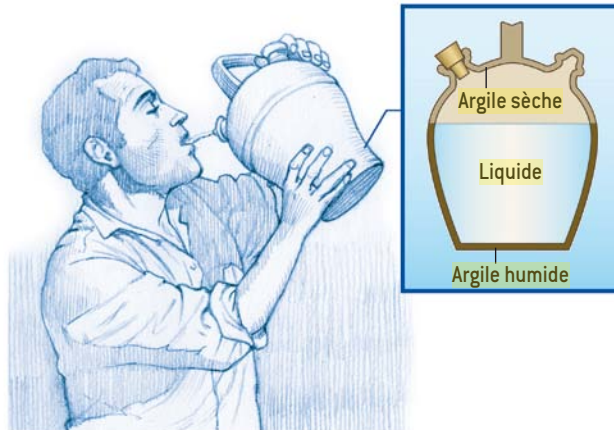
Certaines molécules à la surface de l'eau quittent le liquide. Dans le vide, elles s'éloigneraient définitivement de la surface et la quantité d'eau évaporée par unité de temps serait élevée et constante. Mais dans l'air, elles subissent de nombreuses collisions (plusieurs milliards de fois par seconde !) avec les molécules d'azote et d'oxygène qui le composent. Ces collisions modifient sans cesse la vitesse et la direction des molécules d'eau et les empêchent de s'éloigner rapidement. Elles diffusent donc lentement à partir de l'interface liquide-gaz.

Cette diffusion lente a pour conséquence une accumulation des molécules d'eau : la concentration en vapeur d'eau augmente peu à peu avec le temps, jusqu'à atteindre la saturation.

L'évaporation et le refroidissement qui lui est associé cessent-ils alors ? La diffusion réduit l'évaporation des molécules d'eau, mais elle ne la supprime pas, puisque l'air plus distant reste non saturé. S'ajoute en outre la convection, c'est-à-dire des déplacements de l'air ambiant (vent, courants d'air, etc.) qui peuvent chasser la vapeur d'eau proche de la surface et ainsi renforcer l'évaporation.

Faut-il en conclure que la baisse de température devrait se poursuivre indéfiniment ? Non, car il y a aussi des transferts thermiques : si la température de l'eau liquide devient inférieure à celle de l'air ambiant, il apparaît un flux de chaleur dans le sens inverse, qui tend dans notre cas à réchauffer l'eau. Comme les échanges de matière, ces échanges de chaleur sont tributaires des phénomènes de diffusion et de convection.

Dans l'air, les vitesses des échanges de matière et de chaleur sont comparables. On obtient alors une situation stationnaire où le refroidissement dû à l'évaporation est compensé par l'arrivée de la chaleur, le liquide étant à une température inférieure à celle de son environnement.



2. LE BOTIJO est un cruchon espagnol en argile poreuse. Comme pour d'autres récipients du même type, le liquide qu'il contient est à une température inférieure d'une dizaine de degrés à la température ambiante. Le liquide pénètre dans l'argile poreuse et atteint la surface du récipient, où il s'évapore. Cette évaporation, via la chaleur latente qu'elle nécessite, refroidit le récipient et son contenu.

Dans le cas d'une bouteille ordinaire en verre, la convection est peu efficace, car ce récipient est fermé par un étroit goulot tandis que le transfert thermique est élevé à travers toute la surface de la bouteille, le verre étant un bon conducteur thermique. S'il y a bien évaporation, elle est très faible (on peut laisser une bouteille remplie à l'air libre pour le constater) et le refroidissement insignifiant.

Le botijo : évaporation à travers l'argile poreuse

Pourquoi le refroidissement est-il si efficace dans le *botijo* ou la *zahato*, la gourde en peau des bergers basques, ou encore l'amphore antique ? Le *botijo* est un récipient en argile poreuse (voir la figure 2). L'argile est un bon isolant thermique lorsqu'elle est sèche. C'est le cas pour sa partie située au-dessus du niveau du liquide. Au-dessous, en revanche, la porosité de l'argile laisse l'eau s'infiltrer jusqu'à la surface du récipient, ce qui a deux effets.

Le premier est négatif : en envahissant les pores, l'eau, bon conducteur thermique, se substitue à l'air et l'effet d'isolation de l'argile sèche est partiellement perdu. Le

LES AUTEURS



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



3. UN ENSEIGNANT NIGÉRIEN a conçu en 1995 un réfrigérateur rudimentaire fondé sur l'évaporation. L'espace entre deux jarres emboîtées est rempli de sable maintenu humide. L'évaporation à travers la surface extérieure conduit au refroidissement du dispositif, qui peut contenir diverses denrées solides. Un linge humide sert de couvercle, qui contribue lui aussi à la réfrigération.

BIBLIOGRAPHIE

J. Taine *et al.*,
Transferts thermiques,
Dunod (5^e édition), 2014.

N. M. Nahar *et al.*, Performance
of different passive techniques
for cooling of buildings
in arid regions,
Building and Environment,
vol. 38(1), pp. 109-116, 2003.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

second est positif, car l'eau peut s'évaporer – et refroidir ainsi le contenu liquide – à travers toute la surface de la bouteille et non plus seulement à travers la surface libre du liquide. Il en est de même pour la convection, qui n'est plus limitée par l'étroitesse du goulot.

Par ailleurs, quelle que soit la hauteur de liquide dans le récipient, les échanges de chaleur et l'évaporation se produisent sur une même surface. Si cette surface diminue de moitié, les échanges thermiques et les échanges de matière sont tout deux réduits de moitié, si bien que la boisson garde une température constante, même si le niveau a baissé. En pratique, on atteint 10 à 15 degrés de moins que la température ambiante. Le prix à payer est évidemment une évaporation d'une partie du liquide, mais cette perte est modeste :

il faut environ une trentaine de jours pour que tout le liquide s'évapore.

Le *botijo*, qui permet seulement de refroidir un liquide, a inspiré un Nigérian nommé Mohammed Bah Abba (1964-2010). Vers 1995, cet enseignant a conçu un « réfrigérateur » fondé sur le même principe et qui permet, sans électricité, d'améliorer la conservation des aliments dans son pays.

L'idée ? Du sable humide est placé entre deux jarres de terre cuite emboîtées (voir la figure 3). Tant que le sable est maintenu humide, la température intérieure correspond à celle du liquide du *botijo*. Certes, la température n'est pas celle d'un réfrigérateur électrique (à 4 °C). Mais, dans des contrées dépourvues d'électricité et au climat chaud, une quinzaine de degrés en moins aide à conserver des aliments ou des médicaments sensibles à la chaleur.

france culture

LA MARCHE DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélie Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE

© 2014 France Culture. Tous droits réservés. Photo: M. D. / Contrasto