

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY et ÉDOUARD KIERLIK
professeurs de physique à Sorbonne Université, à Paris

FROID OU CHAUD AU TOUCHER ?

Notre peau est sensible aux variations de température. Or celles-ci dépendent notamment de la nature des matériaux que nous touchons.

Lorsque nous marchons pieds nus dans une maison dont la température ambiante est de 20 °C, le carrelage de la salle de bain paraît toujours plus froid que le parquet, en bois, du salon. Pourtant, ces surfaces sont toutes deux à la même température...

D'où vient cette différence de sensation ? Elle résulte du transfert de chaleur entre notre pied et le sol, et de la façon dont nous percevons la température avec notre peau. Et contrairement à ce qui est souvent affirmé, la conduction thermique des matériaux ne suffit pas à tout expliquer.

CONDUCTION THERMIQUE ET CAPACITÉ CALORIFIQUE SE CONJUGENT

Quelles sont les grandeurs physiques en jeu ? Commençons par chauffer un matériau, initialement à température ambiante, en contrôlant la puissance qu'il reçoit, par exemple en exposant à la lumière du soleil un objet noirci.

Au début, l'élévation de la température de sa surface directement exposée

dépend de la capacité calorifique par unité de volume de l'objet. Pour une même énergie absorbée, plus la capacité calorifique est grande et moins la hausse de température est importante : le matériau peut emmagasiner facilement l'énergie reçue.

Ensuite, comme cet échauffement conduit à un écart de température entre la surface et le cœur de l'objet, il apparaît au sein du matériau un flux de chaleur, par conduction. C'est là qu'intervient une seconde grandeur : la conductivité thermique. Plus celle-ci est élevée, plus le transfert de chaleur est rapide.

Le flux de chaleur qui quitte la surface vers l'intérieur du matériau contrecarre le stockage de chaleur au voisinage de la surface : ainsi, l'élévation de température à la surface sera faible si la capacité calorifique (stockage) et la conductivité thermique (conduction) sont élevées. Le calcul montre que la hausse de température dépend d'une seule grandeur : l'« effusivité », égale à la racine carrée du produit de la capacité calorifique volumique par la conductivité thermique.



L'effusivité traduit *in fine* l'aptitude d'un matériau à absorber ou à restituer de l'énergie thermique. Elle joue un rôle essentiel dans de multiples situations, notamment quand on apporte brutalement de l'énergie thermique (trempe des métaux et tous les procédés de soudage ou d'usinage par exemple).

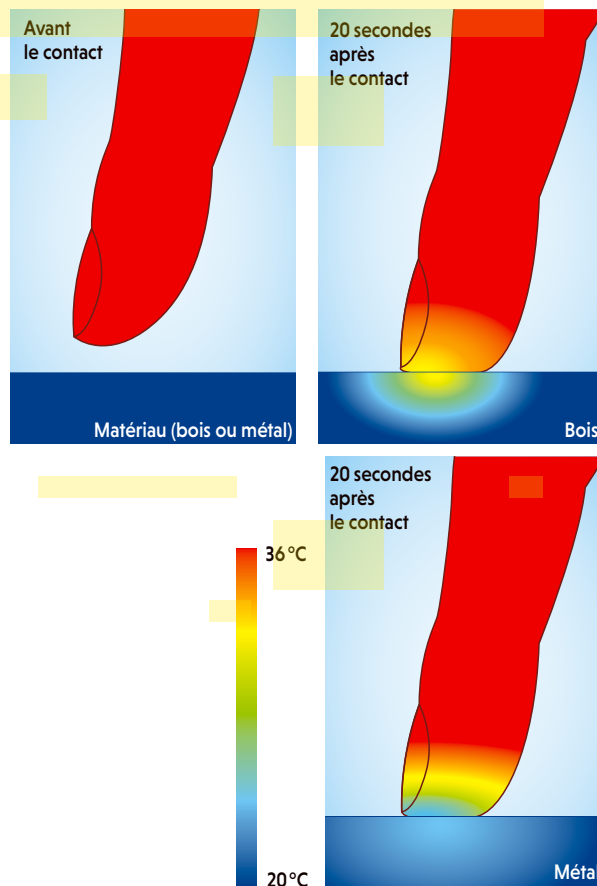
Que se passe-t-il quand nous marchons pieds nus ou saisissons des objets ? Dans ces situations, il n'y a pas de contrôle de la puissance chauffante, mais une mise en contact de deux corps de températures différentes. L'application des lois de la thermodynamique conduit à un résultat remarquable : la température

TEMPÉRATURE AU POINT DE CONTACT

La sensation thermique produite lorsque le doigt, qui est à environ 36 °C, touche une surface en bois à 20 °C n'est pas du tout la même que lorsqu'il touche une surface métallique, également à 20 °C. La température au point de contact est la moyenne des températures de la peau et de la surface touchée, pondérées par l'effusivité du matériau respectif. L'effusivité de la peau étant d'environ 1 500 unités du Système international et celle du bois étant d'environ 500 unités, la température au contact doigt-bois est d'environ 32 °C. L'effusivité d'un métal comme l'inox étant de 8 000 unités, la température au contact doigt-métal est d'environ 22,5 °C. Cela explique en partie pourquoi le métal est perçu comme plus froid que le bois. Une explication plus complète demande de prendre en compte le flux de chaleur, qui est plus élevé entre la peau et le métal qu'entre la peau et le bois.



Par temps froid, toucher du bois avec des mains sans gants est bien moins désagréable que de toucher un objet métallique...



qui s'établit presque instantanément à l'interface des deux objets reste constante ensuite.

De plus, cette température est égale à la moyenne des températures des deux matériaux, pondérées par leurs effusivités. Cela signifie que le matériau de plus grande effusivité impose sa température au niveau du contact et que la variation de température en son sein reste faible.

Cette propriété semble expliquer nos sensations de chaud ou froid. La peau étant à une température voisine de 36 °C, elle est souvent plus chaude que les objets d'une habitation à température ambiante, disons 20 °C. Imaginons que

nous saisissons à main nue pendant quelques secondes une barre en inox. Sachant que, dans les unités du Système international (SI), l'effusivité de la peau est d'environ 1500 tandis que celle de l'inox est de 8000, la température de contact sera de 22,5 °C. Et comme la conductivité thermique du métal est élevée, ce surcroît de 2,5 °C gagne rapidement le volume de la barre (voir l'encadré ci-dessus).

Avec du bois, dont l'effusivité est de 500 unités SI, la température de contact sera de 32 °C; mais comme la conductivité thermique de ce matériau est faible, seule une zone peu étendue autour du

contact sera affectée dans un premier temps. En termes de température, il n'y a donc aucun doute: au contact avec le doigt, le bois est plus chaud que le métal.

Bien entendu, l'effet s'amplifie avec la différence de température: en plein hiver à -10 °C, la surface de l'inox serait à -3 °C, de quoi provoquer des gelures, tandis que celle du bois serait à 24 °C.

Et l'effet est inverse lorsque les objets sont plus chauds que la peau. Dans un >

Les auteurs ont récemment publié: **En avant la physique!**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



> sauna où la température ambiante atteint 90 °C, la température de contact serait de 81 °C avec l'inox et de 49 °C avec le bois. On comprend pourquoi les bancs des saunas sont en bois... Ce contraste est aussi apparent en plein été, où l'on a vite fait de se brûler au contact d'une surface métallique exposée en plein soleil.

DES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE

DUES AU FLUX THERMIQUE

La température de contact ne suffit toutefois pas à expliquer complètement nos sensations, pour au moins deux raisons. L'une est physique: la température de contact n'est pas celle qui règne à l'endroit où se trouvent nos cellules nerveuses thermosensibles. L'autre est physiologique: ces cellules ne sont pas des thermomètres.

Commençons par la physique. Tant que les températures des deux corps ne se sont pas égalisées dans tout leur volume, de la chaleur passe du corps chaud au corps froid. L'intensité de ce flux thermique dépend surtout du matériau ayant l'effusivité la plus faible: la main cède ainsi trois fois plus de chaleur à la barre de métal qu'au barreau en bois.

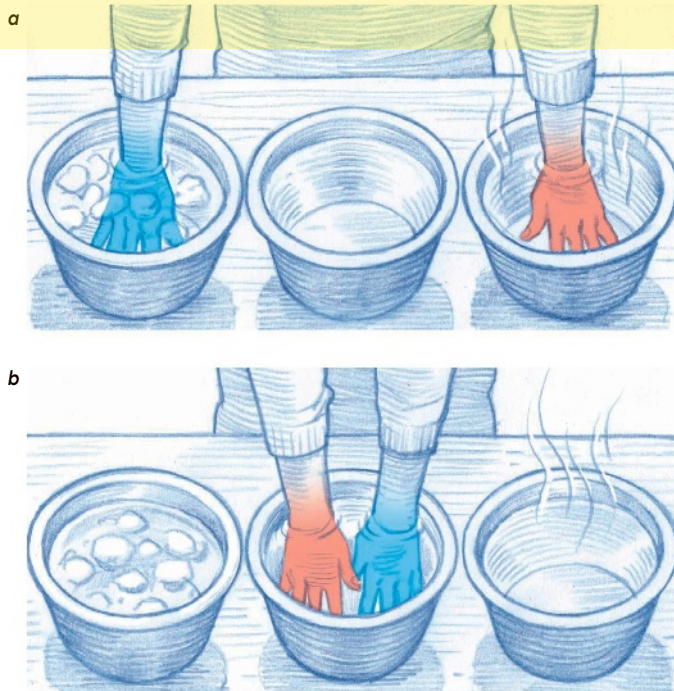
Il en serait de même, mais dans des proportions moindres, avec du carrelage (ou du marbre) et un parquet de bois. C'est aussi pour cela que, afin de décongeler rapidement un aliment, mieux vaut le placer sur une plaque dédiée, en aluminium épais, que sur une planche à découper en bois: le flux thermique sera multiplié par 4 et le temps de décongélation réduit.

Au flux thermique sont associées des variations de température à l'intérieur des corps en contact. Ces variations ne sont pas instantanées. Dans le cas de l'inox, par exemple, en 1 seconde, la variation de température se fait sentir jusqu'à 4 millimètres de profondeur. Mais dans du bois ou dans le doigt, cette distance est nettement inférieure au millimètre. Autrement dit, la température de nos cellules nerveuses situées sous l'épiderme, épais d'environ 1 millimètre, continue à évoluer durant les secondes qui suivent le contact.

Ensuite, l'une des caractéristiques importantes des cellules thermosensibles, sans entrer dans les détails de leurs divers types, est que ces cellules réagissent non pas à la température, mais à la vitesse de variation de cette dernière (voir l'encadré ci-dessus). Autrement dit, ce qui compte pour nos sensations, c'est la phase transitoire durant laquelle la

SENSIBILITÉ AUX VARIATIONS DE TEMPÉRATURE

Les cellules thermosensibles de la peau réagissent aux variations de température et non à la température elle-même. Une expérience simple et bien connue illustre ce fait. On commence par plonger la main gauche dans de l'eau chaude et la main droite dans de l'eau froide, et on attend un peu (a). Puis on plonge les deux mains dans une eau tiède (b); les sensations sont alors inversées: la main gauche transmet une sensation de froid (en bleu), tandis que la main droite transmet une sensation de chaud (en rouge).



température de notre derme évolue, soit quelques secondes. Le résultat est en accord avec la température de contact: plus celle-ci diffère de la température du doigt, plus la variation de la température à l'intérieur du doigt sera importante et plus la sensation de chaud ou de froid sera intense.

Ainsi, si les sensations de température au toucher du bois et du métal sont différentes, c'est parce que les changements de température induits dans notre doigt par le contact avec ces matériaux ne sont pas les mêmes. En fait, lorsque nous touchons un objet, nous sommes sensibles à une combinaison de sa température et de son effusivité, combinaison qui diffère d'un matériau à l'autre.

Ces sensations thermiques ont leur rôle dans le confort et le bien-être. Aussi les concepteurs de vêtements ou même les équipementiers pour l'aménagement intérieur des voitures font-ils de plus en plus attention aux valeurs de l'effusivité des matières utilisées dans leurs produits. ■

BIBLIOGRAPHIE

C. Krapez, **Mesure de l'effusivité thermique**, *Techniques de l'Ingénieur*, R 2 957, septembre 2006 (<https://bit.ly/2ZNZrh6>).

W. M. Bergmann Tiest et A. M. L. Kappers, **Tactile perception of thermal diffusivity**, *Attention, Perception, & Psychophysics*, vol. 71, pp. 481-489, 2009.

A. Sarda et al., **Heat perception measurements of the different parts found in a car passenger compartment**, *Measurement*, vol. 35(1), pp. 65-75, 2004.