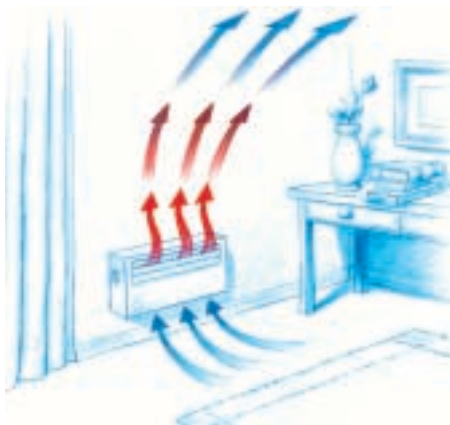




Le fond de l'air effraie

ROLAND LEHOUCQ

La sensation de chaud et de froid dépend de la quantité de chaleur reçue et de la conductivité thermique des matériaux.

« **Q**uelle chaleur ! Mets le ventilateur en route pour avoir un peu d'air frais. » Qui n'a fait cette remarque par une torride journée d'été. Mais pourquoi l'air serait-il plus frais sous prétexte qu'il est agité par les pales du ventilateur ? Avec un peu de mauvais esprit, on peut même affirmer que, le moteur du ventilateur chauffant pendant son fonctionnement, la température de l'air de la pièce augmente légèrement. Pourquoi alors ressentons-nous un courant d'air frais ?

Au sortir d'une douche, une sensation de froid nous étreint. Pourtant l'eau était chaude et la température de la pièce est identique à celle qui régnait au moment où, nu comme un ver, nous sommes entrés dans la douche sans ressentir de fraîcheur particulière.

Le contact avec le plateau de bois du bureau semble plus chaud que celui avec l'un de ses pieds métalliques. Pourtant, bois et métal, situés dans la même pièce, sont *a priori* à la même température.

Toutes ces situations paradoxales résultent de ce que la température ressentie diffère de la température ambiante. Qu'est ce alors que la température d'un corps et comment en ressentons-nous les différents échelons ?

La température du corps

La température interne du corps est de 37 °C et la température ambiante est, dans une atmosphère agréable, de 20 °C. La température de la peau prendra une valeur intermédiaire entre les deux extrêmes qui sera donc légèrement supérieure à la température ambiante (de l'ordre de 25 °C). La température diminue donc de l'intérieur du corps à sa surface, et la peau est surmontée d'une «couche limite» froide où la température rejoint

la température ambiante. C'est pour cette raison qu'après un certain temps, on supporte un bain à 50 °C, par exemple. Même s'il est un peu difficile de rentrer dans un tel bain, après quelques minutes d'immobilité, la fine couche qui surmonte la peau est à une température sensiblement inférieure à 50 °C et le bain ne paraît plus trop chaud. Évidemment, si l'on bouge, l'eau est mélangée et cet effet de couche disparaît.

La température possède deux propriétés importantes. Premièrement, contrairement au volume et à la masse, la température n'est pas une quantité additive : un volume d'eau à 50 °C versé dans un volume d'eau à 20 °C ne fait pas de l'eau à 70 °C. Deuxièmement, chacun sait que la température tend à s'uniformiser, car les zones les plus chaudes réchauffent les plus froides : il y a transfert thermique du chaud vers le froid. À l'aide de ces deux propriétés, on définit l'équilibre thermique d'un corps comme l'état où la température est constante et homogène. La température quantifie alors

l'agitation des atomes composant le corps à l'équilibre thermique : plus ils se déplacent rapidement plus le corps est chaud. À l'équilibre, la température mesure l'énergie cinétique moyenne des atomes du corps ; c'est donc une quantité macroscopique qui reflète la distribution microscopique des vitesses atomiques.

Comment augmenter la température d'un corps ? En lui apportant de l'énergie (on chauffe de l'eau en la plaçant sur du feu ou sur une plaque chauffante) ou du travail mécanique (la compression d'un gaz l'échauffe). Ainsi, en chauffant une barre métallique à l'une de ses extrémités, sa température s'élève de proche en proche sur toute sa longueur. C'est le phénomène de conduction thermique étudié par le mathématicien Joseph Fourier (1768-1830). Empiriquement, Fourier établit que le flux thermique, c'est-à-dire la quantité d'énergie qui passe chaque seconde d'une zone chaude à une autre plus froide, est proportionnel à la section de la barre et à la différence de température entre les deux zones. Le coefficient de proportionnalité, la conductivité thermique du milieu, est d'autant plus grand que le corps transmet efficacement la chaleur.

La conduction résulte de phénomènes microscopiques : à l'endroit chauffé, l'agitation thermique augmente et elle se transmet de proche en proche aux atomes



Dessins de Bruno Vézaro

voisins (voir la figure page 100). Dans le cas des métaux, l'énergie cinétique des électrons libres est transmise par collision entre électrons (les mêmes électrons qui interviennent dans la conduction électrique). Si les métaux sont de bons conducteurs de chaleur et d'électricité, c'est que les électrons peuvent se répartir dans toute la structure cristalline du métal. À l'inverse, les solides non métalliques, comme le bois et le verre, sont de mauvais conducteurs parce que les électrons restent localisés aux voisinages des atomes et ne transmettent pas leur énergie par collision. La conductivité thermique des liquides et des gaz est plus faible, surtout pour les gaz : l'énergie cinétique s'y transmet d'autant moins bien que le milieu est peu dense et les collisions rares.

Quand on met en contact deux corps de natures et de températures différentes (la main sur une surface métallique par exemple) la température d'équilibre de l'interface de contact se rapprochera de celle du meilleur conducteur thermique. Ainsi, du bois à température ambiante (20 °C) nous paraît plus chaud que du métal à la même température. En effet, la main est un meilleur conducteur de chaleur que le bois et donc, la température de leur interface, qui est aussi celle qui sera ressentie, sera proche de celle de la surface de la main, soit environ 25 °C. À l'inverse, un métal est un bien meilleur conducteur thermique que la main et la température de leur interface sera proche de celle du métal (20 °C) : la chaleur de la main est absorbée plus vite par le métal qu'elle ne peut la fournir.

CONDUCTION ET CONVECTION

Outre ces mouvements de transmission de la chaleur de proche en proche, des mouvements d'ensemble transportent aussi la chaleur. En hiver, lorsque le vent souffle, nous ressentons un froid plus vif, car le transfert thermique par conduction est remplacé par un transfert



par convection, plus efficace. La convection transporte l'énergie thermique par des mouvements macroscopiques de matière, forcés (ventilateurs) ou naturels (mouvements atmosphériques) : la couche limite protectrice est constamment renouvelée.

Par exemple, l'air chaud au voisinage d'un radiateur d'une pièce est moins dense. Sous l'effet de la poussée d'Archimède, il s'élève et est remplacé par de l'air plus froid qui se réchauffe à son tour. Ce mouvement naturel d'air ascendant tend à uniformiser la température de la pièce (voir le cartouche). Des mouvements de convection analogues jouent un rôle considérable dans les phénomènes atmosphériques.

Le vent est un exemple de mouvement de convection forcé qui renforce les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du corps. Quelle est, selon la vitesse du vent, la température ressentie par la peau nue, dont la température de surface est d'environ 25 °C ? On cherche à quelle température «équivalente» doit être l'air ambiant supposé immobile pour que le flux d'énergie entre la peau et l'air soit égal à l'énergie emportée par le vent à la température réelle. L'écart entre la température ressentie et la température réelle est d'autant plus grand que l'écart entre la température réelle et celle de la

peau est grand et que le vent est plus fort (que la convection est plus active). Par exemple, dans un vent à -10 °C soufflant à 30 kilomètres par heure, la température ressentie est de -18 °C (voir le tableau)

BIENFAISANTE ÉVAPORATION

Dans le calcul précédent, l'air est supposé sec. Dans le cas d'un air humide, l'énergie prélevée au corps pour évaporer l'eau renforce la sensation de froid. On comprend ainsi mieux le rôle de la sueur qui, nécessitant une importante quantité d'énergie pour s'évaporer, joue un rôle essentiel dans la régulation thermique humaine (la chaleur de vaporisation de l'eau est de 2,26 kilojoules par gramme). Un courant d'air

sur un visage en sueur donne une forte sensation de fraîcheur, car la convection forcée active l'évaporation (de même que le linge humide sèche plus rapidement quand il y a du vent). Pour mesurer cette activation, observons qu'un thermomètre dont l'extrémité est enveloppée d'un mouchoir en papier humide indique une température bien inférieure à celle du même thermomètre à l'air libre.

Finalement, notre confort thermique ne dépend pas de la température extérieure réelle, mais plutôt du flux thermique entre notre corps et l'air ambiant : la sensation de froid (chaud) est d'autant plus prononcée que le flux thermique sortant de (entrant dans) notre corps est important.

Lorsque vous vous brûlez la main, il est ainsi nécessaire d'évacuer la chaleur emmagasinée en passant la brûlure sous l'eau froide pendant plusieurs minutes. Pour évacuer la chaleur reçue par les grands brûlés, on a envisagé de plonger les victimes dans un bain d'eau à 15 °C circulant autour du corps. Les calculs montrent que, dans les cas les plus graves, la chaleur est évacuée qu'après plusieurs heures. En pratique, la difficulté est de maintenir la température corporelle proche de 37 °C afin d'éviter l'hypothermie.

TEMPÉRATURE AMBIANTE RÉELLE

	-15 °C	-10 °C	-5 °C	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C
5 KM/H	-18 °C	-10 °C	-7 °C	-2 °C	3 °C	9 °C	14 °C	19 °C	25 °C	31 °C	36 °C	41 °C
10 KM/H	-20 °C	-14 °C	-8 °C	-3 °C	2 °C	8 °C	13 °C	19 °C	25 °C	31 °C	37 °C	42 °C
30 KM/H	-24 °C	-18 °C	-12 °C	-6 °C	1 °C	7 °C	12 °C	18 °C	25 °C	32 °C	38 °C	43 °C
50 KM/H	-29 °C	-21 °C	-14 °C	-7 °C	0 °C	6 °C	12 °C	18 °C	25 °C	32 °C	38 °C	44 °C
70 KM/H	-35 °C	-24 °C	-15 °C	-8 °C	-1 °C	6 °C	12 °C	18 °C	25 °C	32 °C	38 °C	44 °C
90 KM/H	-41 °C	-30 °C	-19 °C	-9 °C	-2 °C	5 °C	12 °C	18 °C	25 °C	32 °C	38 °C	45 °C

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA.

S. OLIVIER et H. GIÉ, *Thermodynamique*, Lavoisier Tech & Doc, 1996.

H. WEINSTOCK, *Thermodynamics of cooling a live human body*, in *American Journal of Physics*, vol. 48, pp. 339, 1980.