



**Pourquoi** les poissons respirent-ils sous l'eau ? **Pourquoi** ne peut-on pas prévoir la météo plus d'une semaine à l'avance ? **Pourquoi** l'or est-il si rare ? **Pourquoi** l'eau bout-elle plus vite en haut des montagnes ? **Pourquoi** le ciel est-il bleu ? **Pourquoi** est-il si facile de créer du désordre ? **Pourquoi** peut-on commander un écran tactile avec un cornichon ? **Pourquoi** sauter en l'air dans un ascenseur en chute libre ne vous sauvera pas ? **Pourquoi...**

# 50 MYSTÈRES DU QUOTIDIEN

+

## LES 8 GRANDS PRINCIPES DE LA PHYSIQUE



EAU DE TOILETTE  
**CUIR SENSUEL**  
L'ÉLÉGANCE D'ÊTRE SOI



**DANIEL HECHTER**  
PARIS

VENDU EXCLUSIVEMENT EN GRANDES SURFACES

# GEO

## SAVOIR

13, rue Henri-Barbusse,  
92624 Gennevilliers Cedex  
Standard : 01 73 05 45 45. Fax : 01 47 92 66 75.

**RÉDACTEUR EN CHEF** : Eric Meyer  
Secrétariat : Claire Brossillon (6076),  
Corinne Barouger (6061)

**RÉDACTRICE EN CHEF ADJOINTE** :  
Catherine Segal

**DIRECTRICE ARTISTIQUE** : Delphine Denis (4873)  
**RESPONSABLE ÉDITORIALE** : Anne Cantin

**SECRÉTAIRES DE RÉDACTION** :

Laurence Maumouy, 1<sup>re</sup> SR (5776), Christian Debraisse  
**SERVICE PHOTO** : Gisèle Wunderwald

**MAQUETTE** : Christelle Martin (6059)

**TRADUCTEURS** : Emmanuel Basset, Laurence Le Van,  
Volker Saux, Liora Stuhrenberg

**FABRICATION** : Stéphanie Roussies (6340),

Anne-Kathrin Fischer (6286), Jérôme Brotons (6282)

Remerciements à : Laurent Michel

([www.weblinetdescuriostites.com](http://www.weblinetdescuriostites.com))

**Hors-série** édité par  
GROUPE PRISMA MÉDIA

13, rue Henri-Barbusse, 92624 Gennevilliers Cedex Société en nom collectif au capital de 3 000 000 €, d'une durée de 99 ans, ayant pour gérant Gruner + Jahr Communication

GmbH. Ses trois principaux

associés sont Média Communication S.A.S.,  
Gruner + Jahr Communication GmbH,  
France Constance Verlag GmbH & Co KG.

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION** : Rolf Heinz

**ÉDITEUR** : Martin Trautmann

Directrice marketing : Delphine Schapira

Chef de groupe : Virginie Bausan.

Directrice commerciale : Virginie Lubot.

Directrice commerciale (opérations spéciales) : Géraldine Pangrazzi. Directeur de publicité : Arnaud Maillard. Responsables de clientèle : Evelyne Allain Tholy, Pauline Minighetti. Responsable Luxe Pôle Premium : Constance Dufour.

Responsable Back Office : Céline Baude. Responsable exécution : Sandra Ozenda. Assistante commerciale : Corinne Prod'homme. Directrice des études éditoriales : Isabelle Demally Engelsen. Directrice marketing client : Nathalie Lefebvre du Prey. Directeur commercialisation réseau : Serge Hayes. Directeur des ventes : Bruno Recurt

Imprimé en Allemagne :

MOHN Media Mohndruck GmbH,

Carl-Bertelsmann-Straße 161 M, 33311 Gütersloh

© Prisma Média 2014. Dépôt légal : juin-juillet 2014.

Diffusion Prestalis : ISSN 0220-8245.

Création : mars 1979. Commission paritaire : n° 0913 K 83550

# GEO

## kompakt

Gruner + Jahr Communication GmbH  
Brieffach 24, 20444 Hamburg, Allemagne  
tél. +49 40/3703-0, [www.GEOkompakt.de](http://www.GEOkompakt.de)

**RÉDACTEUR EN CHEF** : Michael Schaper

**CONCEPTION ÉDITORIALE** : Henning Engela

**CONSEILLER SCIENTIFIQUE** : Peter Thoms

**DIRECTEUR ARTISTIQUE** : Torsten Laaker

**RÉDACTION** : Jörg Auf dem Kampf,

Rainer Harf, Sebastian Witte

**DIRECTION PHOTO** : Lars Lindemann

**RÉVISION** : Susanne Gilges, Bettina Sössenich

**AUTEURS** : Ilona Baldus, Ute Eberle, Katrin Ewert, Peggy Giertz, Marion Hombach, Ute Kehse, Jochen Pioch, Alexandra Rigos, Stefan Sedlmaier, Bertram Weiß

**ILLUSTRATEURS** : Tim Wehrmann, Mick Klaack, Eric Tscherner  
**PHOTOGRAPHES** : Achim Mülhaupt, Benno Kraehahn, Vincent Fournier

**ÉDITEUR** : Peter-Matthias Gaede

**DIRECTION DE LA PUBLICATION** : Gerd Brüne,

Thomas Lindner

Copyright © 2013 Gruner + Jahr Hamburg



Derek Hulson

# Délicieuses questions d'enfant

Ce sont des questions d'enfant, auxquelles les parents souvent n'ont pas de réponse. Parce qu'eux-mêmes n'osent plus se les poser. Pourquoi la neige est-elle blanche ? Le ciel bleu ? Pourquoi ne faut-il pas mettre de couteau ou de papier aluminium au micro-ondes ? Et, plus récemment, pourquoi l'écran de du smartphone ne réagit-il pas lorsque notre main est couverte d'un gant ? De ces dizaines de «pourquoi», qui se cachent derrière les phénomènes du quotidien, du plus trivial (pourquoi, diable, les saucisses de Francfort se fendent-elles systématiquement dans le sens de la longueur ?) au plus fondamental (au fait, pourquoi y a-t-il du sable sur la plage ?), nous en avons choisi cinquante, et les avons soumises à des physiciens.

Au-delà du mérite qu'elles ont de nous permettre de rétablir notre autorité intellectuelle face aux enfants curieux, ces questions possèdent d'autres avantages. En nous faisant pénétrer dans les strates invisibles de la matière, dans l'immensité du cosmos, dans les laboratoires de recherche, elles nous entraînent dans ce monde optimiste qu'est celui de la découverte, de la nouveauté, de l'invention. Un monde où l'on pourrait fabriquer des câbles ou des ressorts aussi solides qu'en acier, à partir du... fil d'araignée. Un monde où l'on pourrait capter la foudre, ce qui permettrait, en domestiquant l'énergie d'un seul éclair, de fournir l'énergie nécessaire à un foyer de deux personnes pendant un an. Les questions d'enfant ont cette grande vertu : elles ouvrent la porte des rêves.

ÉRIC MEYER

Rédacteur en chef

Retrouvez GEO SAVOIR sur iPad

Nos précédents numéros, notamment ceux consacrés à l'alimentation (septembre 2012) et au sport (septembre 2013) sont disponibles sur tablettes (LeKiosk et ePresse).





Un iceberg flotte sur la mer et un glaçon sur la grenadine, mais un cube de vodka gelé coule. Un mystère expliqué par la forme des molécules H<sub>2</sub>O. **p.74**



L'échographie utilise des ultrasons pour explorer l'invisible. **p.114**



Notre miroir nous ment. Ou serait-ce notre cerveau? **p.52**



C'est une fatalité. Malgré tous nos efforts, le désordre progresse sans cesse. Décourageant, mais scientifiquement prouvé. **p.44**

## SOMMAIRE

# POURQUOI...

... le ciel est bleu	22
... les ventouses collent	24
... les craies crissent sur les tableaux	26
... on ne peut pas mettre de métal au micro-ondes	28
... les bateaux flottent	30
... la neige est blanche	31
... les poissons respirent sous l'eau	32
... les avions volent	34
... on entend ce qui se passe au coin de la rue, même si on ne le voit pas	36
... il y a des éclairs pendant les orages	38
... on est plus léger à marée haute qu'à marée basse	40
... les pierres retombent plus vite que les plumes	42
... il est plus facile de créer du désordre que de mettre de l'ordre	44
... le verre est transparent	46
... le feu dégage de la lumière	48
... un ruisseau fait du bruit même s'il est tout petit	49
... l'air chaud monte	50
... un miroir renvoie un reflet inversé de droite à gauche, mais pas de haut en bas	52
... la Lune ne tombe pas sur la Terre	54
... il y a du sable sur les plages	56
... sauter dans un ascenseur qui s'écrase ne vous sauvera pas	58
... personne ne peut prévoir la météo plus d'une semaine à l'avance	60
... un fil d'araignée est plus solide que l'acier	62
... les saucisses se fendent toujours dans le sens de la longueur lorsqu'on les chauffe	64
... un boomerang revient à son point de départ	66
... tout ce qui est sous l'eau nous apparaît plus gros	68
... un réfrigérateur produit plus de chaud que de froid	70
... le sel empêche le verglas de se former sur les routes	72
... la glace flotte sur l'eau	74

... les flûtes produisent un son lorsqu'on souffle dedans	76
... une plaque à induction froide peut cuire des aliments	78
... le champagne jaillit comme un geyser	80
... une radio peut capter des signaux invisibles	82
... au billard, la boule blanche reste immobile après la frappe	84
... la glace est glissante	86
... une bougie s'éteint lorsqu'on souffle dessus, alors que l'air attise les flammes	88
... l'électricité est mortelle à 220 volts, mais pas à 10 000	90
... l'or est rare	92
... rien ne va plus vite que la lumière	93
... il y a des saisons	94
... l'eau bout plus vite en haut des montagnes	96
... un aimant attire le fer	98
... on peut retirer une nappe d'un coup sec sans rien faire tomber	100
... il y a des embouteillages même sur l'autoroute	102
... on peut faire entrer autant d'air dans une bouteille de plongée	104
... on peut commander un écran tactile avec un cornichon, mais pas quand on porte des gants	106
... on fait de la buée quand il fait froid	108
... il est plus facile de faire la vaisselle à l'eau chaude	110
... nous ne sentons pas que la Terre file dans l'espace à plus de 100 000 km/h	112
... des sons permettent de voir ce qui est invisible	114

## COMMENT...

### Les 8 principes fondamentaux de la physique

6

Ces lois expliquent à elles seules presque tous les phénomènes de notre quotidien.



Depuis les frères Montgolfier, l'homme utilise une propriété des gaz: plus ils s'échauffent, moins ils sont denses, plus ils sont légers.

**p.50**



Les poissons ont besoin d'air. Où le trouvent-ils?



Les particules de métal réfléchissent les micro-ondes. Dangereux.

**p.28**



Les ondes radio se diffusent dans l'espace telles des vaguelettes sur un étang. Insoupçonnables, elles transmettent une foule d'informations.

**p.82**



# Les 8 principes fondamentaux de la physique

La présence de la Lune dans notre ciel, le voyage de nos émissions de radio préférées à travers les airs et la fatalité du désordre, qui ne peut qu'empirer... On peut expliquer presque tous les phénomènes de notre monde à partir d'une poignée de principes : les lois de la physique, qui régissent notre quotidien.



# 1.

## Tout mouvement s'explique par une force

**LE PRINCIPE.** Seule une force peut faire prendre de la vitesse à un corps, le freiner ou modifier sa trajectoire. Si aucune force n'agit, rien ne change.

Les objets inanimés, expliquent les physiciens, ont un point commun avec les humains : leur propension à l'inertie. En clair, cela signifie qu'un corps ne change pas de direction ou de vitesse de lui-même. Ceci vaut aussi pour des inventions humaines comme les vélos, les voitures, les avions et les fusées : pour les mettre en mouvement, il faut une force accélératrice. Pour les arrêter, il faut une force qui les freine. Selon la loi de l'inertie, en l'absence de force, les corps se déplacent toujours à la même vitesse et en ligne droite dans l'espace. Mais, dès qu'une force agit sur eux, ils accélèrent, ralentissent ou changent de trajectoire. Sur Terre, c'est un peu différent, et un véhicule en mouvement finit toujours par s'arrêter de lui-même. Cependant, là aussi, c'est parce qu'une force entre en action : le frottement, qui oppose une résistance au mouvement et ralentit l'objet.

La piste de Cap Canaveral, en Floride. Pour freiner à l'atterrissement, une navette spatiale doit déployer des forces considérables.





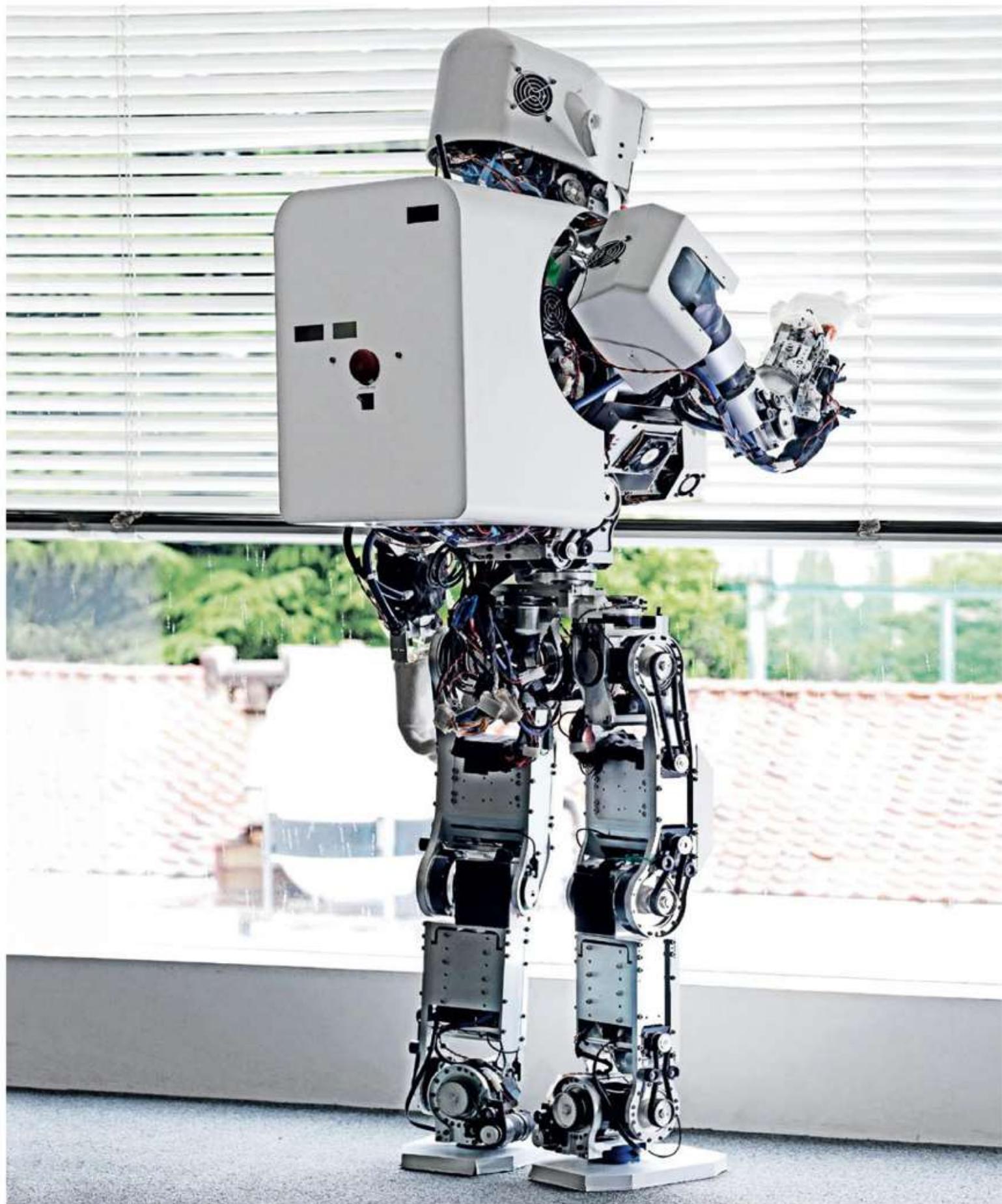
## 2.

### La masse a un pouvoir : la gravitation

**LE PRINCIPE.** Les masses, c'est-à-dire les accumulations de matière, s'attirent mutuellement. Plus la masse d'un objet est grande, plus sa force d'attraction est importante.

Une force fait tourner les planètes autour du Soleil, et la Lune autour de la Terre. On l'appelle gravitation. Elle permet à notre planète de retenir à sa surface les océans ou les molécules de gaz de l'atmosphère. C'est elle aussi qui précipite immuablement vers le bas chaque pierre, chaque être vivant, chaque grain de poussière – et qui nous permet, à nous autres humains, de nous maintenir au sol. Mais les grands astres n'ont pas le monopole de cette force. Les masses plus petites elles aussi s'attirent mutuellement, bien que plus faiblement. Deux bouteilles d'eau posées côte à côte s'attirent, même si leur force gravitationnelle est si faible que nous ne pouvons pas la percevoir. Seuls des instruments de mesure ultrasensibles permettraient de la mesurer.

Avec sa masse immense, la Terre attire à elle cet astronaute qui s'entraîne dans l'Utah (Etats-Unis) en vue d'une mission sur Mars. Sur la planète rouge, la pesanteur serait moins forte, car Mars ne représente environ qu'un dixième de la masse de la Terre.



## 3.

### Les charges contraires s'attirent

**LE PRINCIPE.** Entre les particules chargées en électricité, des forces puissantes s'exercent. Les charges identiques se repoussent ; les charges contraires s'attirent. Cette loi est cruciale, car elle permet la formation des atomes.

Toute la matière qui nous entoure est composée de minuscules «briques», les atomes. Eux-mêmes sont formés de particules encore plus petites : un noyau, chargé positivement, et des électrons, chargés négativement, qui gravitent autour du noyau et constituent l'enveloppe de l'atome. L'attraction mutuelle qui s'exerce entre ces particules différemment chargées explique la stabilité des atomes – et donc de la matière. Les humains ne ressentent, en principe, rien de cette force électromagnétique, car les atomes contiennent le plus souvent autant de charges positives que négatives, qui, par conséquent, s'équilibrivent. Cette force peut cependant être exploitée. Si le courant électrique circule, c'est parce qu'il est composé de minuscules particules de charge négative, qui sont attirées vers un pôle positif. C'est grâce à cela que peuvent fonctionner, par exemple, les moteurs électriques des appareils ménagers, voitures et autres robots.

La force électromagnétique à l'œuvre dans ses moteurs permet à ce robot japonais de se mouvoir presque comme un humain.







## 4.

### Des pouvoirs invisibles agissent dans l'espace : les champs de force

**LE PRINCIPE.** Certaines forces physiques, comme la pesanteur et l'électromagnétisme, exercent leur action à grande distance, sans aucun support matériel. On dit qu'elles constituent des «champs de force».

**A**u volant d'une voiture, sur un court de tennis, au tir à la corde, chacun identifie très bien ce qui relaie la force générée : les pneus, la raquette, la corde. En revanche, il est impossible de voir ce qui attire une pierre vers le sol ou un morceau de métal vers un aimant. La gravité, la force électrique et la force électromagnétique jouent sans qu'il y ait le moindre contact entre les objets sur lesquels elles jouent, parfois à des distances énormes. Il existe pourtant quelque chose qui relie ces objets et permet aux forces de se manifester : les physiciens parlent d'un «champ de force». Il s'agit d'une portion de l'espace, d'une zone invisible dans laquelle la force concernée est perceptible. Si ce champ était visible, il serait à peu près comparable à la lueur dégagée par une ampoule : de même que celle-ci faiblit avec la distance, l'intensité du champ, et donc sa force d'action, déclinent avec l'éloignement.

Les champs de force sont partout. Entre un nuage et le ciel se crée ainsi un champ électrique généré par de minuscules particules aux charges positives et négatives, comme ici, au-dessus de ce radiotélescope implanté dans le désert d'Atacama, au Chili.





## 5.

### En vibrant, les particules électriques créent des ondes

**LE PRINCIPE.** Si des particules chargées en électricité entrent en mouvement, elles génèrent des rayons électromagnétiques. Que ce soit de la lumière visible, des rayons X ou des infrarouges, ils se propagent sous forme d'ondes, qui véhiculent de l'énergie.

Dans notre monde, les ondes électromagnétiques sont partout. Certaines sont perceptibles par l'œil humain sous forme de lumière. D'autres non, comme les rayons X, les ondes radio, les micro-ondes, les infrarouges, les ultraviolets... Malgré leurs différences, toutes ces ondes ont deux points communs. Elles se propagent à la vitesse de la lumière et naissent de la même manière : des particules présentes dans les atomes et porteuses d'une charge électrique négative, appelées électrons, entrent en vibration, par exemple sous l'impulsion d'un courant qui circule en continu dans une antenne. Elles génèrent ainsi une combinaison de champs de force électriques et magnétiques, c'est-à-dire une onde électromagnétique. Le type d'onde émise dépend de la fréquence d'oscillation des électrons.

Cette installation radar sur l'île de Spitsbergen, au nord de la Norvège, émet des ondes dans l'atmosphère. A leur retour sur Terre, celles-ci transmettent des indications sur des turbulences en formation à des kilomètres d'altitude.





## 6.

### La lumière est plus rapide que tout

**LE PRINCIPE.** Les rayons lumineux se propagent à une vitesse imbattable et constante, que leur source (ampoule, étoile, etc.) soit ou non en mouvement.

Un des principes fondamentaux à partir desquels le physicien Albert Einstein développa, au début du XX<sup>e</sup> siècle, sa théorie de la relativité restreinte est la constance de la vitesse de la lumière. Si une voiture roule à 100 km/h et allume ses phares, le faisceau de lumière qu'elle projette ne se diffuse pas à la vitesse de la lumière augmentée de 100 km/h, mais à la vitesse de la lumière, tout simplement. Quelle que soit l'allure de la voiture, rien ne change. D'après la théorie d'Einstein, rien ne peut être plus rapide que la lumière, qui affiche un petit 300 000 kilomètres par seconde. En effet, ses particules, les photons, n'ont pas de masse, donc toute particule de matière dotée d'une masse va moins vite qu'eux. Car propulser une masse, aussi infime soit-elle, à une telle vitesse nécessiterait un déploiement d'énergie littéralement infini.

Sur cette voie rapide de Shanghai, les lieux des phares se propagent à 300 000 km/h/s. Les voitures elles-mêmes ne pourraient jamais atteindre une telle allure : cet exploit demanderait plus d'énergie qu'il n'en existe dans tout l'Univers.





## 7.

### Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme

**LE PRINCIPE.** La quantité totale d'énergie présente dans l'Univers est constante. L'énergie peut simplement changer de forme.

Elle semble s'évanouir aussitôt qu'on l'utilise. Mais en réalité, l'énergie ne peut ni disparaître ni apparaître du néant, elle peut seulement passer d'une forme à une autre. Depuis le big bang, la quantité totale d'énergie disponible dans l'Univers est constante. Lors de la naissance des premières étoiles, de l'énergie issue des noyaux atomiques s'est transformée en chaleur et en lumière. Et depuis des milliards d'années, les êtres vivants sur la Terre se nourrissent de l'énergie des rayons du Soleil pour croître et, dans le cas des végétaux, réaliser la photosynthèse. L'être humain, lorsqu'il brûle du charbon dans une centrale électrique, ne fait qu'utiliser l'énergie stockée dans les molécules des arbres fossilisés pour en tirer de l'électricité. Tôt ou tard, une grande partie de cette énergie est à son tour transformée en chaleur et restituée par la Terre à l'Univers. Certes, toute cette chaleur qui se dilue ainsi dans l'espace n'est plus utile pour l'homme. Elle n'en reste pas moins conservée quelque part dans l'Univers.

La chaleur des profondeurs terrestres réchauffe l'eau du Blue Lagoon, une piscine naturelle près de Reykjavik, en Islande. Même si cette énergie semble disparaître sous forme de vapeur, elle ne se perd pas. Elle est transformée.



Ces arbres taillés qui ornent les rues à Hollywood semblent symboliser l'ordre. En réalité, le travail des jardiniers a, du point de vue de la physique, mené à plus de désordre. En revanche, dans cette serre envahie de plantes mortes (page de droite), impossible d'ignorer le règne du chaos.

## 8.

### Le désordre prend le pouvoir

**LE PRINCIPE.** Le chaos général augmente sans arrêt.

**C**'est irrémédiable et cela remonte à la nuit des temps : dans tout l'Univers, y compris sur Terre, l'ordre se transforme en toujours plus de désordre. Au cœur des étoiles, par exemple, l'énergie des atomes est partiellement transformée en chaleur,

c'est-à-dire en une agitation chaotique. Sur notre planète, des feux anéantissent des forêts, détruisent les cellules bien ordonnées des arbres et ne créent que du désordre : de la chaleur et de la cendre. Aucun de ces processus n'est réversible, car l'ordre ne naît jamais de lui-même, si bien que le désordre (les physiciens parlent d'entropie) ne fait qu'augmenter. Un principe qu'on



ne peut que constater au quotidien. Si un vase tombe au sol et vole en éclats, l'entropie augmente. Le cas inverse – que des éclats s'unissent aléatoirement pour donner un vase – est si improbable qu'il ne surviendra sans doute jamais. Certes, il est possible, dans ce monde de désordre croissant, de produire un peu d'ordre : un vase brisé peut être recollé, un arbre abîmé peut être taillé. Mais la

progression de l'ordre n'est alors qu'apparente. Car, pour toutes ces tâches, un humain doit utiliser, à minima, de la force musculaire. Et ainsi transforme l'énergie chimique ordonnée de la nourriture en dégagement de chaleur, donc en énergie désordonnée. A chaque fois que l'on tente de maîtriser le désordre, celui-ci ne diminue pas, il augmente. □

Le photographe français Vincent Fournier, 43 ans, auteur de cette série, est fasciné par les machines et les utopies techniques. Conseiller scientifique : Dr. Peter Thomas, UFR de Physique de la Philipps-Universität de Marburg.

# ...le ciel est BLEU

**Q**uand, par une belle journée d'été, l'azur du ciel s'étend d'un bout à l'autre de l'horizon, notre moral tourne aussitôt, lui aussi, au beau fixe. La couleur du firmament nous paraît si évidente qu'elle ne nous étonne même plus. Pourtant, elle le devrait. Car finalement, seule la lumière blanche du Soleil nous éclaire. Il n'existe nulle part de source lumineuse bleue.

Si le ciel nous paraît bleu, c'est grâce à l'atmosphère qui enveloppe la Terre. Ou plus précisément à la façon dont les particules gazeuses qui s'y trouvent interagissent avec la lumière solaire. Celle-ci se compose de fréquences lumineuses qui se propagent différemment dans l'espace. Certaines, qui ont de grandes longueurs d'onde, voyagent à la manière des vagues qui se suivent en mer à grande distance l'une de l'autre. D'autres, à faible longueur d'onde, s'apparenteraient plutôt aux rides qui se succèdent très rapidement à la surface d'un étang lors d'une rafale de vent.

Les longueurs d'onde déterminent la couleur des rayons lumineux. Lorsqu'elles sont grandes, ceux-ci nous apparaissent rouges. Quand elles sont un peu plus courtes, la lumière est orange. Encore un peu plus courtes et elle devient jaune... puis verte, puis bleue. Et quand toutes ces longueurs d'ondes se mélangent, nous percevons une lumière blanche. Comme celle du Soleil dans sa forme d'origine. Sauf qu'en cheminant vers la surface de la Terre, les myriades de particules qui créent cet aveuglant rayonnement solaire se heurtent à celles de l'atmosphère : des molécules de gaz comme l'oxygène et l'azote, mais aussi des grains de poussière. Lorsqu'une onde lumineuse entre en collision avec une de ces entités microscopiques, elle est déviée de sa trajectoire. Les physiciens disent que la lumière est «diffusée».

Ces collisions ne se déroulent néanmoins pas toutes de la même façon. Les rayons de lumière bleue, qui ont les longueurs d'onde les plus courtes,

oscillent à plus grande fréquence que les autres. Ils entrent ainsi en contact avec les particules de l'atmosphère beaucoup plus fréquemment que les rayons rouges, orange, jaunes ou verts. Par conséquent, ils sont bien plus souvent déviés.

Lorsque les rayons bleus sont ainsi détournés de leur trajectoire, ils poursuivent leur chemin dans une autre direction, tombent de nouveau sur des particules, sont une nouvelle fois détournés, et ainsi de suite. Les rayons de lumière bleue «diffusés» se propagent ainsi tous azimuts à travers le firmament, et atteignent enfin la surface terrestre et l'œil de l'observateur. Ils n'arrivent donc plus directement du Soleil, mais d'une multitude de directions différentes depuis le ciel. Et celui-ci prend ainsi sa couleur bleue.

La majeure partie de la lumière solaire nous parvient toutefois telle qu'elle est partie du Soleil, c'est-à-dire non-diffusée. Et c'est pour cela que l'astre lui-même nous apparaît blanc. Du moins tant qu'il est encore haut dans le ciel. Car à son lever et à son coucher, il est alors bas sur l'horizon, et ses rayons doivent voyager plus longtemps à travers l'atmosphère qu'à d'autres heures de la journée, avant de nous atteindre. Au cours de ces longs trajets du matin et du soir, presque toute la lumière bleue, à longueur d'onde courte, est perdue dans l'atmosphère, de sorte que seuls les rayons à grande longueur d'onde, les rouges et les orange, parviennent jusqu'à l'observateur. Ainsi s'expliquent nos aubes et crépuscules rougeoyants.

Mais le ciel n'a pas toujours été de ce bleu familier. Jusqu'à il y a 2,5 milliards d'années, notre atmosphère contenait probablement beaucoup de méthane. A cette époque, la question aurait alors plutôt été : «Pourquoi le ciel est-il orange?» □

Les fréquences lumineuses ne se propagent pas de façon identique dans l'espace



Le firmament est bleu alors que la lumière qui nous parvient du soleil est blanche. Explication : les rayons bleus que contient cette lumière sont plus fréquemment déviés par l'air que les rouges, orange ou jaunes.

# ...les ventouses collent

**C**'est un défi singulier qui attend tous les jours *Thyroptera tricolor*, une chauve-souris d'Amérique centrale. Cette créature a pour habitude de se reposer à l'intérieur de feuilles enroulées sur elles-mêmes, comme des tubes. Mais comment tenir sur leur surface glissante ? Elle y parvient grâce à un attribut anatomique très particulier : ses mains – qui, chez les chauves-souris, se trouvent au bout des ailes – et ses pieds sont munis de ventouses.

Dans la nature, cet ingénieux système est très courant : on le retrouve chez le cilié (un être unicellulaire), le ver solitaire, la sangsue, la bernique, le dytique bordé (un coléoptère), la pieuvre, et bien d'autres espèces encore. Quant à l'homme, il utilise les ventouses comme un accessoire, pour fixer un GPS à un pare-brise, faire adhérer un appareil électroménager au sol, ou encore accrocher un porte-serviettes au mur.

La force mystérieuse à l'œuvre derrière le mécanisme de la ventouse est tout simplement celle de l'air. C'est la pression des particules d'air présentes dans notre atmosphère qui permet à ce dispositif d'adhérer à une surface. L'intensité incroyable de cette pression fut prouvée en 1657 par le chercheur allemand Otto von Guericke lors d'une expérience spectaculaire. Le scientifique fit assembler deux demi-sphères de cuivre face à face. Elles étaient jointes de sorte que l'air extérieur ne pouvait s'immiscer entre elles. Puis, à travers une valve refermable, il pompa l'air contenu à l'intérieur de la sphère ainsi formée pour créer un vide. Von Guericke fit atteler six chevaux de chaque côté de l'ensemble. L'idée était de tenter de séparer les deux demi-sphères. Mais, cela s'avéra impossible : la simple pression de l'atmosphère comprimait si solidement les deux moitiés l'une contre l'autre que les douze chevaux tirèrent en vain.

Nous, humains, ne remarquons pas la pression de l'air, car les forces qui agissent de tous côtés sur notre corps se compensent. Et également parce que nous y sommes habitués, tout simplement.

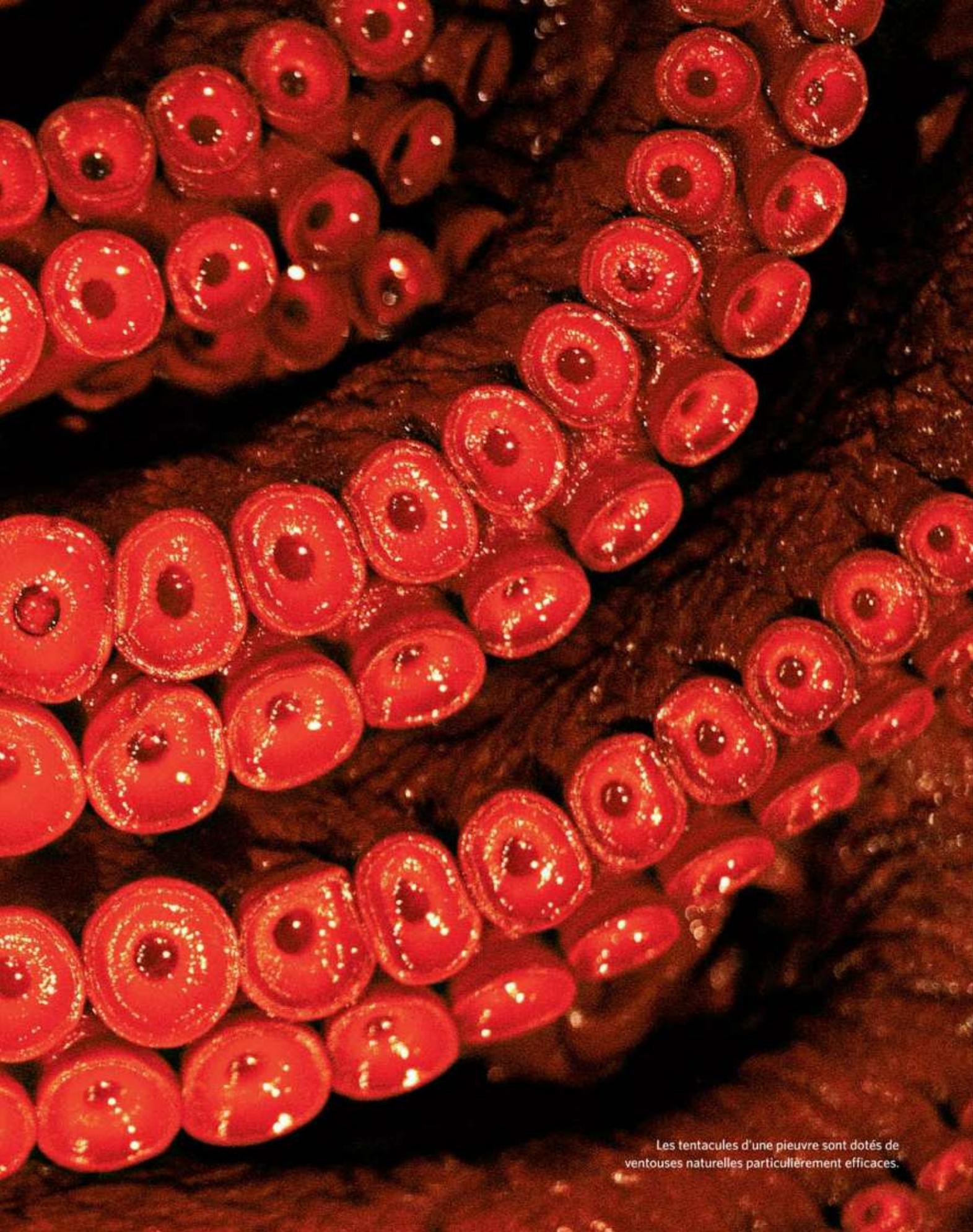
Mais comment cette force se déploie-t-elle dans le cas des ventouses ? Le plus souvent, celles-ci ont la forme d'un minuscule entonnoir, d'une coupelle ou d'un bol. Fabriquées dans un matériau déformable, elles sont facilement applicables sur une surface lisse comme le verre ou le carrelage. Lorsqu'on appuie dessus, elles s'aplatissent, et l'air qui s'y trouvait est alors en grande partie expulsé. Grâce à sa plasticité, la ventouse tente ensuite de revenir à sa forme d'origine. Du coup son pourtour se ferme hermétiquement.

Désormais, il y a sous la ventouse beaucoup moins d'air qu'à l'extérieur : elle abrite une zone de basse pression (ou dépression). Or, chaque particule, aussi infime soit-elle, a une masse. Comme les particules d'air sont beaucoup plus nombreuses en dehors de la ventouse, celle-ci subit une force supérieure de l'extérieur, qui la presse contre la surface sur laquelle elle a été appliquée. Le principe est donc aussi simple que génial, et la profusion de ventouses dans le monde animal est la preuve de l'efficacité de ce dispositif.

Et de sa polyvalence : on le retrouve chez des espèces très différentes qui l'ont développé indépendamment les unes des autres. Le ver solitaire s'en sert pour s'ancrer dans l'estomac de son animal hôte. Les membres antérieurs du dytique bordé mâle, équipés de deux grosses ventouses et d'autres plus petites, lui évitent de glisser sur la carapace lisse de sa partenaire lors de l'accouplement. Quant aux sangsues, dotées d'une ventouse à l'avant et d'une autre à l'arrière, elles s'en servent pour se déplacer : elles actionnent la ventouse arrière, s'étirent vers l'avant, puis font adhérer la ventouse avant et tractent leur corps grâce à celle-ci.

L'homme, lui, n'utilise pas le principe de la basse pression que pour fixer des crochets dans sa salle de bains : des grues modernes peuvent, en ayant recours à la même astuce avec de puissantes pompes générant un vide d'air, soulever jusqu'à 50 000 kilos !

Leur profusion dans le monde animal démontre leur efficacité



Les tentacules d'une pieuvre sont dotés de ventouses naturelles particulièrement efficaces.

# ...les craies cissent sur les tableaux

**L**e rire d'un bébé ou le gargouillis d'un ruisseau sont des sonorités que l'homme ressent comme éminemment bienfaisantes. Le crissement d'une craie sur un tableau noir, au contraire, constitue, comme la plainte aiguë d'un couteau qu'on affûte sur une meuleuse métallique, le comble du bruit désagréable. L'effet provoqué dans le cerveau par ces sonorités stridentes a été étudié en 2012 par une équipe de recherche germano-britannique. Grâce à l'imagerie par résonance magnétique (IRM), ces chercheurs ont scruté l'activité cérébrale de cobayes exposés à 74 bruits différents. Et se sont aperçus que les sons engendrés par les vibrations d'une craie ou d'un couteau déclenchent des réactions fortes dans la zone de notre cerveau qui gère les émotions.

Ces sons déchirants ont un point commun : ils surviennent lorsqu'on frotte un objet sur une surface et qu'il glisse puis butte successivement sur celle-ci. Les phases de mouvement alternent ainsi avec les phases d'arrêt. Cette progression saccadée, que les spécialistes qualifient d'effet «stick-slip» ou «collé-glissé», repose sur le fait qu'il faut plus de force pour faire bouger un corps matériel lorsqu'il est au repos que pour le maintenir en mouvement quand il est déjà en train de se déplacer.

Quiconque a déjà essayé de pousser une grosse armoire le sait : une fois surmontée la résistance de départ (le frottement statique ou adhérence), l'armoire finit par avancer par à-coups. Ensuite, continuer à la déplacer est moins fatigant, car le frottement de glissement est en général bien plus faible que le frottement statique.

Il en va de même pour une craie sur un tableau. Ni la surface du tableau ni la pointe de la craie ne sont lisses. Leur microstructure évoque plutôt un paysage de collines. On peut alors se représenter le morceau de craie comme un bâtonnet un peu souple qui butte sans cesse sur les minuscules asperités du tableau. La pointe de la craie achoppe, s'arrête tandis que son autre extrémité, celle tenue

par les doigts, poursuit son mouvement. La craie se bloque donc légèrement. Et, quand la tension devient trop forte, sa pointe s'émette. La poussière qui en résulte amoindrit alors la force de frottement : la craie continue son chemin et retrouve aussitôt sa forme d'origine. Tant que la pression est maintenue, ce processus de collé-glissé se répète ainsi, à une cadence très rapide, en l'espace de quelques millisecondes.

Mais d'où provient le bruit ? Il est dû au frottement de glissement, qui fait vibrer la craie telle la corde d'un instrument sous les doigts d'un musicien. Chaque morceau de craie a, en fonction de sa longueur, une «fréquence propre» qui le fait entrer en résonance et l'amplifie le son. Ce qui provoque ce fameux crissement agressif pour nos oreilles. Comme l'ont montré des tests, la hauteur du son dépend en outre de la façon (angle, pression, etc.) dont on applique la craie sur le tableau.

La zone de notre cerveau qui gère les émotions est très sensible à certains bruits. Quant au volume du crissement, il est surprenant : il peut, pendant une fraction de seconde, atteindre le niveau sonore d'une sono de discothèque ou d'un marteau piqueur écoutés à un mètre de distance.

Les bruits stridents dus à l'effet collé-glissé sont courants au quotidien. Parmi les héros de cette physique du crissement : les freins, les meuleuses, les charnières de porte ou encore les chaussures de sport sur un parquet de gymnase. Et même le rebord de ces verres à vin de différentes tailles, que l'on effleure avec adresse pour en tirer des sons harmonieux. □



Comme les surfaces du tableau et de  
la craie ne sont pas absolument lisses,  
elles achoppent l'une sur l'autre.

# ...on ne peut pas mettre de **MÉTAL** au **MICRO-ONDES**

**I**ngénieur pour le fabricant d'électronique Raytheon dans le Massachusetts, l'Américain Percy LeBaron Spencer, déposa, en 1945, un brevet qui a révolutionné nos cuisines. Son invention, décrite comme une nouvelle «méthode de traitement des denrées alimentaires», se présentait sous la forme d'un appareil haut comme un homme, pesant plus de 340 kilos, et capable d'une prouesse jusque-là inédite: chauffer des aliments en un rien de temps. Spencer avait inventé le premier micro-ondes.

Aujourd'hui, des centaines de millions de gens à travers la planète utilisent cette innovation et ne renonceraient pour rien au monde à ses avantages. Car aucun four classique, aucune plaque chauffante, ne sera jamais capable d'amener un plat à température aussi vite qu'un four à micro-ondes. Pourtant, pour bien des utilisateurs, le micro-ondes garde sa part de mystère. Pourquoi ne réchauffe-t-il pas tout ce qu'on y introduit? Pourquoi une soupe, un ragoût de viande ou des nouilles en sauce frémissent-ils très vite, alors que leur récipient en verre reste froid? Pourquoi fait-il éclater les grains de maïs en pop-corn? Et pourquoi est-il hautement déconseillé de placer dans l'appareil certains objets métalliques? Explication: la technologie mise au point par Percy Spencer repose sur une forme particulière de radiations, les micro-ondes. Fortement apparentées aux rayons lumineux, sauf qu'elles n'éclairent pas, ces ondes sont, comme la lumière, des champs d'énergie. Les physiciens parlent d'«ondes électromagnétiques». Elles oscillent à très haute fréquence et se propagent ainsi rapidement dans l'espace. Les radiations utilisées dans les fours à micro-ondes pulsent à une vitesse incroyable: 2,5 milliards de fois par seconde (soit 2,5 GHz).

Si ces rayons entrent en contact avec des substances contenant de l'eau, un phénomène étonnant se produit: l'oscillation des ondes excite les molécules d'H2O, qui se mettent à leur tour à vibrer des milliards de fois. C'est la conséquence d'une loi physique selon laquelle les ondes électromagnétiques agissent sur les particules de matière chargées en électricité. Sur ces molécules d'H2O, par exemple. Ces



particules d'eau présentent deux spécificités : d'une part elles sont extrêmement petites et mobiles, d'autre part leurs charges électriques sont inégalement réparties (ces molécules ont un pôle positif et un pôle négatif). Ces particularités ont pour conséquence qu'elles se laissent entraîner par le va-et-vient des ondes électromagnétiques. Les molécules d'eau vibrent donc sous l'impulsion du rayonnement micro-ondes. Leurs mouvements produisent de la chaleur et permettent ainsi de réchauffer toutes sortes de plats. Car, ne l'oublions pas, tous les aliments renferment une certaine quantité d'eau. Même les grains de maïs qui paraissent bien secs contiennent une part infime d'humidité. Exposée aux micro-ondes, cette eau atteint rapidement une telle température qu'elle finit par s'évaporer brutalement. Le grain éclate alors en une structure à l'aspect mousseux : le pop-corn. En revanche, le plastique ou le verre, des matériaux totalement exempts d'eau, sont traversés par les micro-ondes sans que les molécules qui les composent n'entrent en vibration ni ne s'échauffent.

Et que se passe-t-il pour les objets métalliques ? Pour peu qu'ils soient suffisamment épais, les micro-ondes ricochent quand elles entrent en contact avec eux. Fer, acier, aluminium ou cuivre agissent comme des miroirs : ils réfléchissent les rayonnements riches en énergie. C'est pour cela qu'il est inutile de vouloir faire chauffer dans un four à micro-ondes des aliments contenus dans des récipients en métal. Les ondes sont tout simplement bloquées en chemin, et la nourriture reste froide. Si ces objets métalliques sont particulièrement fins ou pointus, cela peut même devenir dangereux car les minuscules particules chargées négativement qui sont situées à la surface du métal absorbent alors tant d'énergie qu'elles peuvent faire jaillir des étincelles. Le métal peut même fondre. D'où la consigne stricte : pas de couteau, de papier aluminium ou de vaisselle avec un décor métallisé dans le micro-ondes. □

Le fer,  
l'acier, l'aluminium  
font écran  
aux radiations  
du four

Placée au micro-ondes, cette boîte de conserve pourrait, comme d'autres objets métalliques, provoquer des étincelles.

# ...les bateaux flottent

**E**n 1830, lorsqu'un homme d'affaires britannique envoyait une missive urgente à son partenaire des Indes, celle-ci mettait cent huit jours pour voyager de Londres à Bombay. A peine dix ans plus tard, sa missive arrivait à destination en trente-neuf jours. Les délais postaux avaient, en effet, spectaculairement raccourci grâce à un nouveau moyen de transport : les bateaux à vapeur, bien plus rapides et moins dépendants du vent.

Ce progrès a contraint les ingénieurs de l'industrie navale à relever un nouveau défi : les lourdes machines qui propulsaient ces navires vibraient, pétaraient, étaient alimentées au charbon, bref représentaient des contraintes inédites pour lesquelles le bois, matériau traditionnel de construction, n'était plus adapté. Ils se mirent donc à concevoir des coques métalliques. Au début, beaucoup de marins s'en méfièrent : le fer a beau être très résistant, il ne flotte pas, contrairement au bois. Comment donc ces géants des mers tenaient-ils au-dessus des flots alors que chacun de leurs composants, de l'immense plaque d'acier à la vis minuscule, pris séparément, coulerait aussitôt ? Et comment le font-ils encore aujourd'hui alors qu'ils ont gagné en démesure et pèsent parfois des dizaines de milliers de tonnes ?

Etonnamment, c'est l'action d'une seule force qui permet à ces différents bateaux de flotter : la pesanteur. Au premier abord, cela semble illogique. Car, après tout, la gravité terrestre tire tout vers le bas. Mais ce serait oublier un élément déterminant : cette force d'attraction s'exerce aussi sur l'eau. Lorsqu'un navire est mis à l'eau, il déplace une certaine quantité de liquide. Et plus sa coque s'y enfonce, plus cette quantité est importante.

Or, si l'eau est une substance qui se laisse facilement déformer, elle n'est pas compressible. Par conséquent, le déplacement de liquide provoqué conduit inéluctablement à une élévation de la hauteur globale de l'eau. Ce phénomène, mis en évidence

par Archimède, est très net lorsque nous entrons dans notre bain. Dans l'océan, il est imperceptible, car l'élévation se répartit sur une étendue immense. N'empêche que l'eau doit se diriger vers le haut, à l'encontre de la pesanteur.

C'est un peu le même principe que celui d'une balance à deux plateaux : la gravité est aux prises avec les deux parties d'un système. Pour chaque millimètre de coque qui s'enfonce par gravité dans le liquide, de l'eau part vers le haut à l'encontre de cette force. Elle se presse plus fortement contre la partie la plus basse de la coque. Ainsi, une contre-force s'exerce sur l'embarcation. Elle correspond au poids du volume d'eau déplacé : la «flottabilité», selon les physiciens.

Une pierre, une poutre en acier ou un gros bloc de fer subissent, eux aussi, cette force ascensionnelle. Mais comme ils ne déplacent que peu d'eau par rapport à leur poids, la poussée est si faible qu'ils ne flottent pas. Pour maintenir les 76 000 tonnes du paquebot «Queen

Mary 2», il faut donc les répartir dans un grand volume. Une coque contient finalement bien moins d'acier... que d'air. Et ce dernier ne pèse presque rien. Porte-conteneurs, supertankers et paquebots de croisière sont aujourd'hui conçus de telle manière qu'avec un tirant d'eau (la hauteur immergée d'un navire) étonnamment faible, ils déplacent un volume de liquide qui correspond exactement à leur poids total, en tenant compte de leur cargaison.

Au temps des premières coques métalliques, les constructeurs, encore peu à l'aise avec ce matériau, constatèrent à leurs dépens qu'un navire pouvait, contrairement à ce que l'on craignait, avoir trop de flottabilité : certains de ces bateaux s'enfonçaient si peu dans la mer que, dès leur mise à l'eau, ils se retrouvaient la quille en l'air. Les ingénieurs compensèrent ce problème par une solution pragmatique : ils augmentèrent, et répartirent mieux le poids de ces embarcations, en bourrant leurs coques... de briques ! □



## COMBAT DE FORCES

Un bateau qui flotte déplace de grandes quantités d'eau qui, en retour, exercent sur lui une force dirigée vers le haut. Appelée «flottabilité», elle agit contre la gravité.

# ...la neige est **BLANCHE**

**A**u fond, quand on y pense, n'est-ce pas un fait surprenant ? L'eau, à l'état liquide, est transparente. Sous forme de glace aussi, quand elle est en couche fine. Et même lorsqu'elle est vapeur. Ce n'est qu'après être devenue de la neige qu'elle est blanche. Tellement, d'ailleurs, que les contes de fées sont remplis de jeunes filles à la peau aussi blanche que la neige, couleur associée à la pureté et l'innocence.

Comment s'explique cette métamorphose de l'eau incolore, transparente, en neige d'un éclat éblouissant ? Cette dernière naît de la rencontre entre la vapeur d'eau contenue dans un nuage (dont la température est souvent située bien en dessous de 0 °C) avec des grains de poussière ou d'autres particules en suspension dans l'air. Ces divers éléments s'agrègent alors en d'innombrables cristaux de glace minuscules et incolores. Leur forme varie en fonction de la température et du taux d'humidité, mais présente une constante : elle a six côtés, car les molécules d'eau s'agencent toujours selon une structure hexagonale.

Comme un diamant poli, ces cristaux ont plusieurs surfaces lisses. Sous certaines conditions atmosphériques, ils s'assemblent en figures complexes toutes différentes les unes des autres. Celles-ci ont une forme d'étoile et des ramifications très fines. Lors de leur chute, elles s'agglutinent et constituent des flocons cotonneux. Pris séparément, chacun des cristaux composant ces flocons est aussi transparent que le verre ou l'eau : lorsqu'il est touché par un rayon de soleil, une grande partie de la lumière le traverse. Mais le reste du rayon lumineux est reflété par la surface lisse du cristal, qui agit comme un miroir. Comme l'eau ou le verre : lorsque certaines conditions de luminosité sont réunies, on peut voir son reflet dans une flaue d'eau ou la vitrine d'un magasin.

Cependant, dans le cas d'un flocon de neige, les rayons qui traversent les cristaux situés à sa périphérie rencontrent ensuite

d'autres cristaux, dont les surfaces reflètent à leur tour une partie des rayons, alors que le reste du rayonnement lumineux les traverse. Celui-ci se retrouve à son tour partiellement reflété par les cristaux suivants. Et ainsi de suite. En fin de compte, une quantité infime de lumière parvient à traverser l'ensemble du flocon formé d'une myriade de cristaux minuscules. La plus grande partie du rayonnement est reflétée dans toutes les directions possibles.

Cette réflexion – que l'on appelle « diffuse » – de la lumière ne change rien à la couleur de celle-ci. Et comme la lumière du soleil est blanche, c'est ainsi que l'on perçoit la neige. Le phénomène est identique avec de la brume ou un nuage, si ce n'est que, dans ces deux cas, ce ne sont pas des cristaux qui reflètent la lumière, mais de minuscules gouttelettes d'eau. Brume et nuages nous paraissent blancs, sauf lorsqu'ils sont particulièrement denses ou gros : nous les voyons alors gris, car une grande partie de la lumière qu'ils diffusent est alors renvoyée vers le haut du ciel, et non pas dans notre direction.

Mais toutes les matières ne réfléchissent pas la lumière telle qu'elles la reçoivent. La lumière blanche est elle-même le résultat du mélange de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. De nombreux objets « avalent » certaines couleurs et renvoient les autres : c'est ainsi qu'ils nous apparaissent colorés. Les feuilles d'une plante absorbent surtout le bleu et le rouge, mais réfléchissent le vert : nous les voyons donc vertes. Même la neige n'est pas toujours blanche. Au soleil couchant, lorsque la lumière se pare de lueurs rouges, la neige prend de reflets rougeâtres. Et, quand il fait beau, celle qui est située dans la pénombre reflète le bleu du ciel.

Ces variations de couleur échappent à la plupart des gens, mais pas aux artistes. Le peintre expressionniste allemand Ernst Ludwig Kirchner a ainsi peint de nombreux tableaux sur lesquels la neige prend des tons vifs, de l'orange au violet intense. □

La neige réfléchit la quasi-totalité de la lumière du soleil, et celle-ci est en général blanche



# ...les poissons respirent sous l'eau



**L**es plantes, les animaux, les champignons et de nombreuses bactéries, bref, l'immense majorité des êtres vivants sur terre, dépendent d'un gaz volatile, incolore et inodore : l'oxygène. Sans ce gaz, les cellules dont sont faits ces organismes ne peuvent pas effectuer leur métabolisme et meurent rapidement.

Constituée d'environ 21 % d'oxygène, l'atmosphère est une véritable source de vie. Chaque homme respire environ 10 000 litres d'air par jour. Ce besoin vital, nous le connaissons bien : lorsque nous plongeons sous l'eau, après une minute nous ressentons une

irrépressible envie de reprendre notre souffle,

**L'eau, en fonction de sa température et de la pression de l'air, absorbe plus ou moins de molécules d'oxygène**

de revenir à la surface. Carpes, harengs ou requins ne connaissent pas cette sensation, or eux aussi ont besoin d'oxygène et doivent respirer pour vivre. Mais, eux, mettent à profit une loi physique formulée par le chimiste britannique William Henry en 1803 et qui porte aujourd'hui son nom. Ce que Henry découvrit, c'est que lorsqu'un gaz entre en contact avec un liquide, il est en partie absorbé par celui-ci (il se dissout). En effet, les gaz sont constitués d'atomes et de molécules qui se déplacent de façon chaotique dans l'espace. Lors de leurs déplacements, certaines de ces particules percutent le liquide, y pénètrent et s'insèrent entre les molécules qui le constituent.

C'est ainsi qu'une portion des molécules d'oxygène provenant de l'air situé en surface des lacs, des mers ou des océans se retrouve dans l'eau. Leur quantité dépend de sa température et de la pression atmosphérique. De façon sommaire, on peut résumer cela ainsi : plus la pression de l'air est faible, moins les particules de



Grâce à leurs branchies, des animaux marins comme ce poisson-coffre peuvent capter l'oxygène contenu dans l'océan.

gaz ont tendance à pénétrer dans l'eau. Et plus l'eau est froide, plus elles sont nombreuses à s'y mêler.

Sa teneur en oxygène demeure cependant relativement faible : un litre d'eau à 10 °C, par exemple, contient approximativement trente fois moins d'oxygène qu'un litre d'air. Mais, aussi faible soit-elle, cette quantité suffit largement aux poissons.

En effet, ceux-ci disposent d'organes respiratoires particulièrement efficaces : les branchies qui filtrent l'eau, entrée par la bouche de l'animal, lors de sa sortie au niveau des ouïes. Elles contiennent une très grande quantité de lamelles microscopiques dont la surface est irriguée de vaisseaux sanguins. Dans ce «réseau miraculeux», le sang n'est séparé de l'eau que par une pellicule extrêmement fine et poreuse. Il capte ainsi très facilement l'oxygène dissous dans l'eau. Cela au prix d'un travail de titan : les branchies doivent filtrer entre 300 à 500 litres d'eau pour obtenir un litre d'oxygène alors que, pour en recueillir la même quantité, une membrane pulmonaire ne doit traiter que 25 litres d'air.

Les branchies ne sont en revanche pas adaptées à la vie sur terre, car dès que ces organes entrent en contact avec l'air, ils se rétractent, les lamelles collent les unes aux autres : trop d'oxygène tue les poissons. Chez l'être humain, ce sont les bronches et leur prolongement, les bronchioles, qui conduisent l'air jusqu'aux alvéoles pulmonaires où le sang se charge en oxygène. Un système perfectionné qui ne nous est malheureusement d'aucune aide pour respirer sous l'eau! □

# ...les avions volent

**T**rois bons kilomètres d'accélération, une vitesse de plus de 300 km/h et l'Antonov AN-225 quitte soudainement le sol. Ce sont alors jusqu'à 640 tonnes, soit l'équivalent de 25 600 sacs de ciment, qui s'élèvent dans les airs. Et il ne faudra qu'une petite minute à cet avion, qui est le plus lourd du monde, pour atteindre une altitude de 1 000 mètres. Chargé à bloc, le réservoir plein, il pourra parcourir une distance de 4 500 kilomètres.

Comment un tel géant peut-il s'élèver dans l'atmosphère et s'y maintenir alors que ses réacteurs ne le propulsent qu'à l'horizontale ? Et qu'est-ce qui permet à un avion d'enfreindre cette loi immuable de la nature, dont on fait l'expérience chaque jour, selon laquelle tout ce qui est plus lourd que l'air retombe au sol ?

Le secret de cette capacité à s'envoler repose sur une force physique de sens contraire à l'attraction terrestre : la force ascensionnelle. Un avion s'élève dans l'air quand cette « poussée élévatrice » (appelée « portance ») est plus importante que la force de gravitation exercée par la Terre. Ce qui est rendu possible essentiellement grâce à la forme et à la position des ailes. Celles-ci sont fixées à la carlingue de telle sorte que leur partie supérieure bombée fende l'air en premier.

Pour faire simple : l'air est dirigé le long des ailes de l'avion de façon à circuler plus rapidement au-dessus qu'en dessous. Cela génère, en raison de diverses lois aérodynamiques, une dépressurisation au-dessus des ailes. Laquelle les aspire, en quelque sorte,

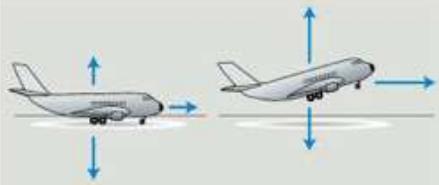
La taille, la forme et la position des ailes doivent être conçues avec une précision extrême



Joel Hollander / Getty Stock



Décoiffant : un Boeing 747 en train d'atterrir sur Saint-Martin, île des Petites Antilles.



### CE QUI PERMET À UN AVION DE QUITTER LE SOL

Un avion subit trois forces au décollage : la gravité terrestre, la propulsion et la force ascensionnelle. Grâce aux ailes, la force ascensionnelle s'accroît à mesure que l'appareil accélère - jusqu'à ce qu'il s'envole.

vers le haut : c'est la fameuse force ascensionnelle. Ce phénomène se vérifie avec une expérience simple. On maintient devant sa bouche une feuille de papier par ses deux coins supérieurs, et lorsqu'on souffle dessus, l'extrémité libre de cette feuille se soulève.

Les avions utilisent aussi le principe de la propulsion à réaction. Lorsque de la matière est projetée dans une direction, son mouvement génère une force de la direction opposée. C'est ce qui se produit quand on bondit par exemple d'un radeau sur une passerelle : la force du saut exerce sur le radeau une force contraire, qui l'éloigne de la passerelle. En ce qui concerne l'avion, la forme des ailes fait que l'air subit une poussée vers le bas, ce qui génère une force dirigée vers le haut. Et plus cette poussée est forte (plus l'avion va vite), plus cette force ascensionnelle est puissante.

La taille, la forme et la position des ailes des aéronefs doivent donc être conçues avec une précision extrême. Et si, en vol, celles-ci sont - ne serait-ce qu'un tout petit peu - trop penchées, le glissement de l'air n'épouse plus étroitement leur surface. N'étant plus porté par la force ascensionnelle, l'avion décroche et s'écrase si le pilote ne corrige pas à temps cette mauvaise position.



### PORTÉ PAR LES REMOUS DE L'AIR

Sur la partie supérieure de l'aile d'un avion, l'air circule plus vite qu'en dessous. Il est également dirigé vers le bas. C'est ce qui crée par réaction une poussée vers le haut.

# ... on entend ce qui se passe au coin de la rue, même si on ne le voit pas

**L**e son et la lumière, aussi différents soient-ils, ont une chose en commun : ils se propagent dans l'espace sous forme d'ondes qui vibrent. Ce sont des molécules d'air qui se déplacent dans le cas du son, et des particules énergétiques immatérielles dans celui de la lumière. Leur propagation s'apparente à celle des vaguelettes qui partent dans toutes les directions lorsqu'on jette un caillou dans un lac pour s'amuser.

Les signaux acoustiques et visuels se déplacent tellement rapidement que nous pouvons voir et entendre un objet qui fait du bruit – un autobus ou un train par exemple – même s'il est très loin. Et même si un obstacle, comme le mur d'un bâtiment, nous en bloque la vue, nous restons généralement en mesure d'entendre les sons qu'il émet. A la différence de la lumière, le son peut donc contourner certains obstacles.

Le fait que les bruits et la musique puissent s'aventurer dans des espaces que les rayons du soleil ne peuvent atteindre tient à une propriété physique : la diffraction. Dans certaines circonstances, les ondes changent de direction. Lorsqu'elles sont perturbées



## INÉGAUX DEVANT L'OBSTACLE...

La longueur d'onde d'une vibration détermine sa capacité à contourner les objets. Si elle est grande, comme pour le son, l'onde encercle les obstacles avant de reprendre son cours. Si elle est faible, l'onde reste bloquée. C'est le cas pour la lumière. D'où l'apparition d'une ombre derrière les objets illuminés.

par un obstacle, elles se coudent comme pour le contourner. C'est ce qu'on observe lorsque des vagues rencontrent une falaise, un piquet émergeant de la mer ou la jetée d'un port.

La force avec laquelle les ondes sont déviées de l'objet qu'elles rencontrent dépend de leur longueur d'onde, c'est-à-dire la distance séparant deux points identiques et consécutifs de l'onde. Pour reprendre l'exemple de l'eau, c'est l'intervalle qui sépare la crête de deux vagues successives.

Déjà au XVII<sup>e</sup> siècle, les chercheurs savaient que le cheminement d'une onde dépend de l'obstacle qu'elle rencontre. En fait, plus la longueur d'onde d'une vibration est grande par rapport à la taille de l'obstacle, plus l'onde aura de facilité à contourner l'élément. Or les sons ont – comme

les vagues dans la mer – une longueur d'onde comprise entre quelques centimètres et plusieurs mètres. Ce qui leur permet de contourner facilement de nombreux objets de notre quotidien. Dans une maison, deux personnes qui se trouvent dans des pièces ou à des étages différents peuvent souvent avoir sans problème une conversation : les ondes sonores – qui, par ailleurs, traversent la matière – se courbent sur les encadrements des portes, suivent les marches d'escalier, escaladent les armoires, envahissant ainsi les moindres recoins de l'espace.

La lumière se comporte en revanche de manière totalement différente. En raison de sa longueur d'onde, qui n'est que de quelques millionièmes de mètre, elle n'est déviée que par des objets microscopiques, comme des bactéries, invisibles à l'œil humain. Et lorsque les vibrations lumineuses rencontrent un obstacle plus grand, elles rebondissent et repartent vers leur point d'origine. Derrière cet obstacle se trouve ainsi un espace dans lequel aucune sorte d'information visuelle ne pénètre : une zone d'ombre.

Une chance pour nous ! Car si la lumière agissait comme le son, il n'y aurait d'ombre nulle part. Et en plein été, aucun chapeau ni parasol ne pourrait servir de refuge contre les rayons du soleil. □





On entend très bien quelqu'un parler au coin de la rue. Mais pour le voir, il faudrait ruser. Utiliser un miroir, par exemple.

POURQUOI...

# ... il y a des **ÉCLAIRS** pendant les **ORAGES**

**N**os aïeux étaient autant fascinés que terrorisés par les orages. Des éclairs transperçant et illuminant le ciel, suivis d'obscur grondements : seuls les dieux pouvaient être à l'origine d'un tel déchaînement de la nature. La réalité, on le sait aujourd'hui, est plus prosaïque : la foudre et les coups de tonnerre ne sont que la manifestation d'un courant électrique puissant qui circule depuis les nuages vers le sol.

Son origine : un processus météorologique et physique qui prend sa source au cœur des nuages orageux, les cumulo-nimbus. Ces gros nuages sont constitués d'une énorme quantité de cristaux de glace et de gouttelettes d'eau. A l'intérieur de ces mastodontes, qui font en moyenne cinq kilomètres de long et parfois plus de dix de haut, règne un courant d'air ascendant puissant. Celui-ci propulse vers le haut les cristaux de glace, plus légers que les fines gouttes d'eau qui, elles, se concentrent dans la partie inférieure du nuage. Comme toute matière, ces cristaux et ces gouttelettes sont composés d'atomes, dont la charge électrique est neutre : ils contiennent autant de particules dont la charge est positive (les protons, qui font partie du noyau de l'atome) que de particules dont la charge est négative (les électrons, qui circulent autour du noyau).

Or, dans les cumulo-nimbus, il se produit un échange de charges électriques. A cause du vif courant d'air ascendant, les cristaux de glace qui s'élèvent et les gouttelettes d'eau qui retombent se croisent à une vitesse folle... et se frottent au passage si violemment qu'une partie des électrons des cristaux de glace se fait arracher et emporté par les atomes des gouttes d'eau. De plus en plus de charges négatives se concentrent donc dans le bas du nuage.

Au bout du compte, cette charge négative devient tellement puissante qu'elle est capable d'exercer un effet sur ce qui se passe à la surface de la terre. Car le



La foudre en train de s'abattre sur la tour Burj Khalifa qui domine Dubai à plus de 820 mètres.



sol contient lui aussi des charges positives et négatives. Celles-ci sont d'ordinaire réparties de manière homogène. Mais comme les charges positives et négatives s'attirent mutuellement – même lorsqu'elles sont très éloignées les unes des autres – les charges négatives concentrées dans le bas du nuage font qu'une quantité énorme de charges positives, habituellement présentes un peu partout dans le sol, se retrouvent alors aspirées vers sa surface. Et se concentrent dans les couches supérieures de la terre.

Donc, plus les nuages d'orage sont chargés négativement, plus la surface du sol se trouve chargée positivement. Et plus la force d'attraction entre ces nuages et la terre augmente. Au point que la barrière invisible constituée par l'air, qui

Lors de la décharge électrique, la température de l'air peut atteindre 30 000 °C

jusque-là opposait une certaine résistance au passage des électrons, finit par céder. Les électrons des nuages se mettent alors à foncer brutalement vers le sol, entrant en chemin en collision avec des molécules qui composent l'air, ce qui crée un courant électrique (c'est-à-dire un flux de matière chargée). Lequel, tel un court-circuit, file entre ciel et terre, si puissant qu'il chauffe l'air jusqu'à 30 000 °C, soit cinq fois la température de la surface du Soleil. Sous l'action de cette chaleur énorme, il se produit un court instant un flash lumineux : un éclair. Parallèlement, l'atmosphère se dilate soudainement, ce qui produit un bruit fracassant : c'est le tonnerre, ce grondement qui effrayait tant nos ancêtres et qui continue de nous fasciner aujourd'hui.

Un seul éclair est capable de produire jusqu'à 10 milliards de joules en un tiers de seconde : une quantité d'énergie tellement importante qu'elle pourrait facilement subvenir aux besoins d'un foyer de deux personnes pendant un an. Si on réussissait à capter cette formidable source d'énergie, on pourrait couvrir une grande partie des besoins énergétiques mondiaux. Selon les chercheurs en effet, pas moins de 100 éclairs transpercent l'atmosphère à chaque seconde tout autour de la planète. □

#### UN COURANT VENU DES CIEUX

Les gouttes d'eau des cumulonimbus se regroupent dans la partie inférieure du nuage. Leur charge étant négative, elles attirent des charges positives à la surface du sol. La tension entre ces deux pôles croît jusqu'à libérer... un éclair !





POURQUOI...

# ... on est plus léger à marée haute qu'à marée basse

**S**ur les côtes de la mer du Nord se produit, deux fois par jour, un changement d'atmosphère étonnant. De longs filets d'eau se faufilent à travers les vasières, de grandes flaques se forment peu à peu et, en quelques heures, la mer recouvre tout, emplit ports et canaux. Mais ce n'est pas le seul mouvement qui se produit pendant les marées. Il en existe un autre, incroyable, qu'on ne soupçonne même pas : toutes les six heures environ, le sol se soulève, puis s'affaisse sous nos pieds, et ce sur une amplitude qui peut atteindre quarante centimètres à certains endroits de la Terre. Ces phénomènes ont une même cause, que l'on nomme la force de marée. Celle-ci est liée à l'action de la Lune, satellite naturel de la Terre,

et à la rotation de notre planète sur elle-même. Plus exactement, les marées sont provoquées par deux facteurs.

Le premier, capital, est la force d'attraction (ou gravité) de la Lune. Plus un endroit de la Terre est proche de cet astre, plus il est sensible à son influence. Le champ de pesanteur lunaire attire donc davantage les masses d'eau situées sur la portion du globe tournée vers la Lune. Les eaux des mers et des océans, qui se déplacent alors vers cette zone,

forment ce qu'on appelle schématiquement un «bourrelet», c'est-à-dire la marée haute. Et puisque notre planète tourne sur elle-même en vingt-quatre heures, cette marée haute ne se produit pas tout le temps au même endroit. C'est un peu comme si la Terre tournait sous un bourrelet, qui reste quant à lui constamment dirigé vers la Lune.

Pourtant, on remarque que la marée monte et descend deux fois par jour. Il existe donc forcément une deuxième marée haute, située aux antipodes de la première, du côté de la Terre qui est opposé à la Lune ! C'est ici qu'entre en jeu le second facteur : la force centrifuge. Car cette marée des antipodes est elle aussi liée à la gravité, mais d'une façon différente. La Terre et la Lune s'at-

A marée haute, un individu de 100 kilos pèse 20 milligrammes de moins



Michael Mariantoni

Insoupçonnable ! Toutes les six heures environ, le sol se soulève, ne serait-ce que très légèrement, sous nos pieds.

tirent mutuellement. Mais, comme le système formé par notre planète et son satellite est en rotation autour d'un axe (ils gravitent autour du Soleil), ces deux astres se maintiennent à distance l'un de l'autre : c'est l'effet centrifuge. Sur le côté de la Terre qui se trouve le plus éloigné de son satellite naturel, l'effet centrifuge prend le pas sur la force d'attraction de la Lune, affaiblie par la distance. Aux antipodes, c'est donc la force centrifuge qui repousse l'eau vers l'extérieur.

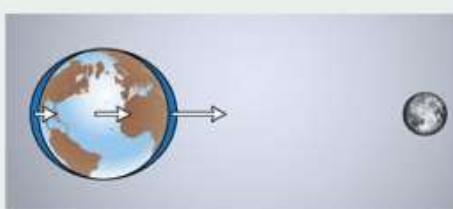
En simplifiant, on peut formuler les choses ainsi : sur le côté de la Terre tourné vers la Lune, il y a un bourrelet parce que l'eau est attirée vers le ciel. De l'autre côté, en revanche, ce bourrelet existe parce que c'est la Terre tout entière qui est soumise à la force centrifuge.

La force de gravité de la Lune agit par ailleurs sur... notre poids. Une balance très précise permet de constater que l'on est – un tout petit peu – plus léger à marée haute : 0,2 millionième de kilo perdu ! Un individu de 100 kilos pèse alors 20 milligrammes de moins. Et c'est la Lune encore qui explique que le sol se soulève sous nos pieds : le champ de pesanteur lunaire a un impact sur la forme de la croûte

terrestre. Car notre planète n'est pas un gros caillou rigide. Sous son écorce, relativement fine, se situent plusieurs couches plus molles, composées d'une sorte de magma visqueux, tandis qu'un noyau dur de fer et de nickel en forme le centre.

La force de marée a de multiples effets. Les allées et venues de la mer sculptent des paysages, des vasières aux falaises. Les raz de marée sont capables de menacer des villes entières. Et la Lune rythme les cycles de vie de nombreux organismes vivants : les limules, ou crabes fer à cheval, ne pondent qu'après la montée des eaux ; certaines micro-algues ne remontent à la surface du sable qu'à marée basse, afin de profiter de la lumière du Soleil pour créer, par photosynthèse, leurs nutriments. Puis se terrent avant la marée haute, pour ne pas se faire emporter.

Mais la créature la plus dépendante de la Lune est le *Clunio marinus*, un moustique de la côte Atlantique de l'Europe. Ses larves vivent dans l'eau, mais ne deviennent adultes et ne pondent qu'à marée basse. Ce petit insecte dispose ainsi de moins de deux heures pour trouver un partenaire et se reproduire. Avant que l'eau ne remonte et mette fin à sa vie. □



### L'ATTRACTION LUNAIRE

Sur la face de la Terre tournée vers la Lune, l'eau est attirée par celle-ci, ce qui crée une marée haute. Aux antipodes, sous l'action de la force centrifuge créée par la rotation autour du Soleil se forme une autre marée haute.

# ...les pierres retombent plus vite que les plumes

**A**vec sa masse gigantesque d'environ 6 000 000 000 000 000 000 000 kilogrammes (soit 6 quadrillions), la Terre exerce une force d'attraction inimaginable. C'est elle qui explique pourquoi notre satellite, la Lune, reste sur son orbite (lire p. 54), pourquoi les fleuves se jettent dans la mer et pourquoi les skieurs dévalent les pistes à toute allure. Mais cette force d'attraction est encore plus perceptible dans le cas d'un objet en chute libre, car un corps filant en direction du sol atteint en quelques secondes une vitesse impressionnante. Il faut, en effet, moins de 1,5 seconde à une brique lâchée d'une hauteur de 10 mètres pour percuter le sol à 50 km/h.

Les objets lourds tombent plus vite que ceux qui sont légers. C'est du moins ce dont notre quotidien nous a persuadés. Tout le monde a vu un flocon de neige, une plume ou un morceau de papier flotter tranquillement dans l'air avant de toucher le sol avec délicatesse. Mais, chose curieuse, si on lâche simultanément, d'un mètre de haut une brique d'un kilogramme et un morceau de plomb – de la même forme et de la même taille – mais qui pèse plus de 11 kilogrammes, ces deux objets semblent tomber presque aussi vite l'un que l'autre. Alors, qu'est-ce qui détermine donc vraiment la vitesse de chute d'un objet ?

Pourquoi une pierre descend-elle beaucoup plus rapidement qu'une plume ? Et pourquoi la différence de masse entre ces objets n'est a priori pas un facteur déterminant ?

La réponse tient en une phrase : c'est l'atmosphère terrestre qui explique à elle seule pourquoi certaines choses tombent plus vite que d'autres. Car l'air s'oppose, tel un obstacle, à tout ce qui le traverse. Quand il est fendu par un objet, il freine sa chute, et ce de manière plus ou moins forte en fonction de la forme de celui-ci. Par exemple, l'air n'oppose qu'une très faible résistance à un corps en forme de goutte. En fait, plus un élément présente de faces perpendiculaires à la direction de la chute, plus la résistance de l'air est forte et freine la dégringolade de l'objet. Les physiciens et ingénieurs savent ainsi calculer exactement comment chaque arête, creux ou irrégularité d'un corps matériel influence la rapidité de sa probable chute.

En simplifiant les choses, on peut dire que plus sa «surface d'attaque», c'est-à-dire sa surface orientée vers le sol pendant la chute, est large, plus la résistance de l'air est forte, et plus lente sera la descente. Lorsqu'on a froissé un morceau de papier, qui, à

C'est l'atmosphère terrestre qui explique à elle seule pourquoi certains objets chutent plus vite que d'autres





plat, virevolterait tranquillement jusqu'à ce qu'il atteigne le sol, la boulette compacte ainsi formée tombe aussi rapidement qu'un caillou.

Bien entendu, la masse de l'objet a tout de même une certaine influence : plus elle est faible, plus la force de résistance de l'air agit comme un frein. Ce que l'on observe très bien lorsqu'on lâche deux objets très légers de même forme, mais de masses très différentes : en effet, contrairement à l'exemple des briques cité plus haut, un ballon rempli d'air arrivera toujours plus lentement au sol qu'un autre rempli de sable.

Ainsi, l'atmosphère, et la résistance qu'elle exerce, explique bien à elle seule pourquoi certains objets tombent plus vite que d'autres. Ce qu'une visite au Centre de technologie spatiale appliquée et de microgravitation de Brême, en Allemagne, montre de manière impressionnante. Là-bas, les physiciens utilisent une tour de chute (ou tour d'impesanteur) pour leurs expériences : un tube long de 110 mètres, placé à la verticale, entièrement vidé de son air. Tous les objets y tombent à la même vitesse : lâchés en son sommet, ils atteignent le sol au bout de 4,74 secondes exactement, qu'il s'agisse de lingots d'or, de balles de tennis, de plumes ou de grains de poussière.

Conclusion : si la Terre n'avait pas d'atmosphère, tout chuterait à la même vitesse. Comme sur la Lune. En 1971, l'astronaute David Scott y fit une expérience (filmée et visible sur Internet). Il prit un marteau dans une main et une plume dans l'autre, puis les lâcha en même temps : les deux objets touchèrent simultanément le sol lunaire. □

Sur la Lune, cette plume toucherait le sol en même temps qu'un objet dont la masse est plus importante que la sienne.

# ... il est plus facile de créer du désordre que de mettre de l'ordre

**C**'est une fatalité : il suffit que des parents laissent leurs enfants un peu seuls et bientôt, le sol de leur chambre est envahi de jouets. Mais ce qui est valable pour une chambre d'enfant l'est aussi pour un bureau ou un frigo : il est difficile d'y maintenir l'ordre. Sur un bureau, les bouts de papier et les stylos se mélangent, les livres, les classeurs et les photocopies s'entassent. Et dans le réfrigérateur, nos yaourts préférés sont parfois impossibles à déceler sous un amoncellement indistinct de victuailles. Comme s'il existait une mystérieuse force de la nature qui créerait le désordre ! L'ordre, quant à lui, ne s'installe jamais de lui-même.

Ce grand mystère s'explique scientifiquement, en calculant le nombre de possibilités qui existe de créer du désordre. Prenons un exemple : pour ranger par ordre alphabétique les copies d'une classe de vingt élèves, il n'y a qu'une façon de procéder : Paul vient avant Pierre, et Pierre avant Pierrick. Mais, en dehors de ce mode de classement, il existe 2,4 trillions ( $2,4 \times 10^{18}$ ) de possibilités de classer ces mêmes devoirs. Tout comme les Lego ne sortent jamais rangés par couleur de leur boîte, les copies ne seraient jamais triées dans l'ordre voulu si on laissait faire le hasard. Ou plus exactement, il y a une chance sur 2,4 milliards de milliards pour qu'on empile sans le vouloir vingt copies

**Les organismes vivants paraissent échapper au chaos général. Mais est-ce si sûr ?**

dans l'ordre alphabétique. Et admettons qu'il faille une seconde pour effectuer chaque tri, quelqu'un les testant tous un par un systématiquement mettrait 2,4 milliards de milliards de secondes pour tomber sur un classement alphabétique, soit 77 milliards d'années. Cinq fois l'âge de l'Univers !

Ce que nous observons au quotidien avec des copies d'élèves ou des Lego, les physiciens le constatent également avec les atomes et les molécules. Par exemple, quand on ouvre une bouteille de limonade, le dioxyde de carbone s'en échappe en sifflant, et ses molécules se mélangent avec celles de l'air. Ce qui se passe alors est certes invisible à l'œil nu, mais n'est

pas anodin : les molécules se déplacent comme des confettis dans l'espace, sans schéma précis, c'est le désordre qui l'emporte encore une fois.

Cette tendance au chaos est générale. Si un vase tombe, il éclate en morceaux. Si l'on renverse un verre, l'eau se répand partout sur la table. Si un œuf tombe par terre, le jaune et le blanc se mélangent. De l'ordre vient toujours le désordre. Jamais l'inverse. En automne, le vent éparsille les feuilles au lieu de les ordonner en un tas soigné. Un tremblement de terre détruit les maisons, mais il n'en a jamais bâti.

Les physiciens ont découvert que cette prédisposition répond à un principe naturel fondamental : l'entropie (du grec *entropia* : transformation). Plus l'entropie croît, plus un système est désordonné.

Les organismes vivants semblent toutefois faire exception : leurs molécules et leurs atomes paraissent s'agencer en structures bien ordonnées, qu'il s'agisse de ceux d'une cellule, de la feuille d'un arbre ou d'un être vivant dans sa globalité. Une grande partie de la nature s'opposerait-elle donc à l'entropie ?

Non, en réalité. Car on doit toujours considérer un système dans son ensemble. Et pas seulement l'une de ses parties, un organisme isolé. L'ordonnancement de la vie sur terre n'existe que parce qu'ailleurs le désordre prévaut. C'est ainsi que fonctionne le principe de l'entropie. Lorsque les hommes ou les animaux mangent des plantes ou de la viande, ils détruisent par la digestion un système cellulaire qui était auparavant extrêmement bien ordonné.

Mais le plus important est que chaque être vivant dégage en permanence de la chaleur (par sa respiration, ses mouvements, etc.). Ce rayonnement présente un très haut degré de désordre. Il s'échappe vers l'Univers où il se distribue, augmentant ainsi l'entropie du cosmos tout entier.

Et ce qui se passe à une petite échelle avec les êtres vivant sur Terre se produit également dans les étoiles et les galaxies : partout l'énergie rayonne sous forme de chaleur. Certains scientifiques pensent que ce processus conduit l'Univers à être, globalement, de plus en plus chaotique. A notre échelle, cette énergie continue à faire avancer la vie. Et les parents continuent à ranger la chambre de leurs enfants... □



Jérôme Yon



La lutte contre l'entropie est un combat perdu d'avance, comme semble en être convaincue cette écolière japonaise.

# ...le verre est transparent

**L**es Egyptiens de l'Antiquité connaissaient déjà la recette : 15 unités de sable quartzé, 2 de carbonate de potassium, 2 de calcaire, et 1 de soude, puis chauffer le tout dans un four pendant dix heures jusqu'à obtenir une pâte visqueuse et rougeoyante. En séchant, elle devient un matériau extrêmement utile : étanche, non inflammable, résistant bien à l'acidité, qui peut prendre plusieurs formes pratiques dans la vie de tous les jours et dont la surface lisse est facile à laver. Le verre.

Mais ce qui est sans doute le plus étonnant, c'est que ce matériau dur comme de la pierre laisse passer toute la lumière visible. Comme si le verre était constitué d'air. Très peu d'autres corps solides sont aussi transparents que lui : quelques minéraux comme les diamants, les cristaux de roche ou la calcite, et des matières artificielles, telles que le Plexiglas et certains types de céramiques.

La capacité d'un matériau à laisser passer la lumière n'est pas nécessairement liée à l'épaisseur de celui-ci. Lorsque l'on appose des feuilles d'aluminium ultrafines sur des fenêtres par exemple, la pièce est plongée dans l'obscurité, même par grand soleil. La densité en atomes – les éléments de base constituant la matière – d'une substance ne joue pas non plus de rôle particulier dans ce phénomène. Le verre a, en effet, une plus grande densité d'atomes qu'une tuile, une planche de bois ou encore un morceau de charbon !

Le fait que le verre laisse passer la lumière tient en réalité bien plus à certaines de ces particules élémentaires minuscules qui constituent les atomes : les électrons. Ceux-ci gravitent rapidement autour du noyau de l'atome, formant en quelque sorte l'enveloppe de ce dernier. Schématiquement, on peut représenter cette enveloppe comme un bâtiment de plusieurs étages

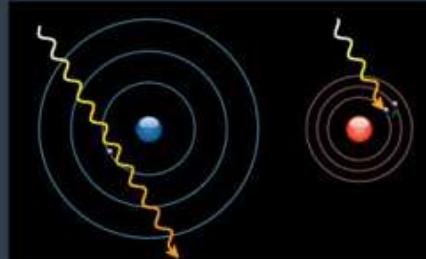
d'électrons ; les physiciens parlent de «niveaux d'énergie». Or, la lumière, elle-même, est composée de rayons d'énergies différentes. Lorsqu'un rayon touche un atome de matière, les électrons absorbent l'énergie de ses particules lumineuses (les photons) pour se catapulter au niveau supérieur. Lors de ce processus, les photons disparaissent, comme s'ils se faisaient engloutir. Les matières qui absorbent l'ensemble de la lumière nous apparaissent ainsi de couleur noire.

Mais un électron ne peut se propulser dans la couche immédiatement supérieure à la sienne que si les photons apportent l'exacte quantité d'énergie nécessaire à ce saut. Si les particules de lumière possèdent trop ou pas assez d'énergie, l'électron reste à son niveau d'origine : il ne lui arrive rien, et aux photons non plus. Dans ces circonstances, la lumière parvient à traverser la matière sans encombre : et celle-ci nous apparaît transparente.

Or dans la plupart des matériaux qui peuplent notre quotidien, les couches d'électrons de l'enveloppe de l'atome se superposent de manière très serrée. Donc les photons qui composent la lumière trouvent toujours un électron qui les absorbe, et qui passe ensuite dans la couche supérieure. La lumière se retrouve ainsi complètement ou en partie absorbée. Et ces matériaux sont donc opaques. Dans les substances transparentes comme le verre, les couches d'électrons sont en revanche tellement écartées les unes des autres que l'énergie de la lumière ne suffit pas à propulser les électrons vers le niveau supérieur. Mais la lumière contient aussi des rayons invisibles : les ultraviolets (UV). Ils possèdent une énergie supérieure à la lumière visible et peuvent ainsi déplacer vers le niveau supérieur les électrons contenus dans le verre. Ils sont donc quant à eux absorbés par les objets ou surfaces en verre.

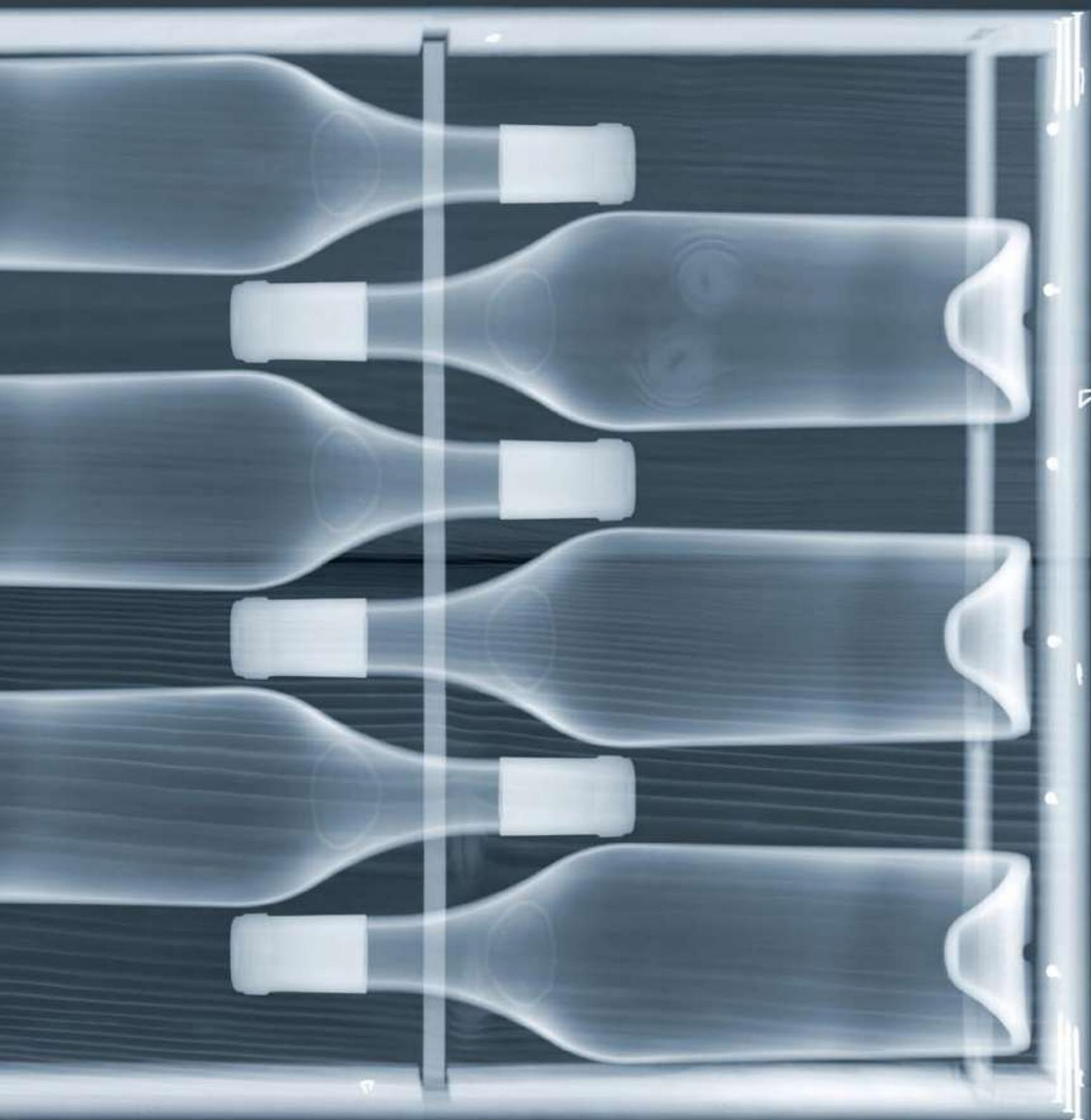
Ce qui présente un avantage certain : impossible de prendre un coup de soleil aussi rapidement derrière le vitrage de sa véranda que sur la plage ! □

## Les matières qui «avalent» les photons apparaissent opaques



### ENTRE LES MAILLES DU FILET

Dans un matériau transparent, les couches d'électrons autour du noyau de l'atome (en bleu), écartées, laissent passer la lumière (en jaune). Dans un matériau opaque (en rouge), les niveaux sont plus serrés : la lumière heurte les électrons, qui l'absorbent.



Impossible de voir à travers cette caisse de bouteilles de vin sans tricher (ici avec des rayons X).

# ...le FEU dégage de la lumière

**N**os ancêtres réalisèrent un énorme pas en avant il y a environ 1,5 million d'années. Les premiers hominidés apprirent à ranimer les braises des incendies naturels et à les rapporter au sein de leurs hordes. Ils commencèrent ainsi à entretenir les premiers foyers de l'humanité. Voilà ce qu'ont déduit les scientifiques après la découverte de certains fossiles dans l'est de l'Afrique. Bien plus tard, les hommes apprirent à allumer un feu eux-mêmes. Et celui-ci est devenu infiniment précieux. Il permettait de se protéger contre les prédateurs, de se réchauffer et de faire griller de la viande. Les flammes rougeoyantes projetaient ainsi leurs lueurs dans la nuit et aidaient à combattre l'une des angoisses originelles de l'homme : la peur de l'obscurité.

Le feu est donc indissociable de notre histoire. Pourtant, les scientifiques ont découvert il y a quelques décennies seulement la raison précise pour laquelle les flammes sont lumineuses, et leur composition exacte. Il a fallu pour cela attendre que l'on comprenne que la matière est constituée de molécules, et celles-ci d'atomes, puis que l'on étudie comment ces particules interagissent.

Qu'il s'agisse de papier, de pétrole, de bois ou de caoutchouc, le phénomène physique auquel ces matériaux obéissent quand ils se consument est toujours le même : leurs molécules, sous l'action d'une énergie d'activation – l'allumette qu'on gratte par exemple –, entrent en contact avec l'oxygène présent dans l'air, ce qui produit des gaz, notamment du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), de la chaleur et même de l'eau.

Sous l'effet de la combustion, les électrons présents dans ces molécules convertissent leur supplément d'énergie en radiation bleutée. C'est elle qu'on remarque autour de la mèche d'une bougie allumée ou à la surface des bûches incandescentes.

Dans un feu, les températures atteignent très vite un niveau extrême (la chaleur dégagée par la flamme

d'une simple bougie peut dépasser les 1 000 °C). Ceci a deux conséquences importantes : d'une part le combustible émet encore plus de gaz (le feu s'attise lui-même en quelque sorte), et d'autre part la partie la plus caractéristique de la flamme, cette langue jaune et rouge que dessinent tous les enfants, apparaît. Ces couleurs sont dues à la présence d'innombrables particules de suie qui ne mesurent que quelques millionièmes de millimètres et se composent principalement de carbone. Sous l'effet de la chaleur, les atomes de carbone se mettent à vibrer très violemment. Et ces vibrations entraînent le rougeoiement des particules de suie.

Ceci tient à la loi selon laquelle tout corps, aussi minuscule soit-il, émet un rayonnement. Ces rayons ne sont d'ordinaire pas visibles à l'œil nu, mais ils deviennent lorsque la température de l'objet atteint quelques centaines de degrés Celsius. Ils se colorent alors en rouge (une plaque de cuisson, par exemple). Puis, plus la température monte, plus la couleur de la matière tire vers le blanc. Car à l'intérieur de la flamme, la température des particules de suie augmente tellement qu'elles émettent une lumière d'un jaune très clair, presque blanc (d'où l'expression «chauffer à blanc»).

C'est donc grâce à la présence de suie qu'un feu de bois, une bougie ou une lampe à pétrole renvoient une lumière claire. A contrario, les flammes n'en contenant pas sont de couleur bleue, quelle que soit leur température. Ainsi, le propane utilisé dans les gazinières peut atteindre 2 000 °C sans perdre sa teinte bleutée.

La seule circonstance dans laquelle une telle flamme change de couleur, c'est lorsqu'on y jette une pincée de poudre de cuivre. Les atomes de ce métal absorbent de l'énergie dégagée par la flamme et la transforment instantanément en lumière colorée : celle-ci vire au vert. Si on y avait jeté de la poussière de lithium, elle aurait été rose vif. L'ajout de potassium aurait produit un violet éclatant, et de sel, un jaune soutenu et intense. □



## CE QUI COLORE LES FLAMMES

Si le feu apparaît jaune clair, c'est que la plupart des combustibles, comme le bois ou la cire, libèrent de minuscules particules de suie, et donc de carbone. A l'intérieur de la flamme, la suie devient si chaude qu'elle émet une radiation électromagnétique, donc de la lumière. Et ce, uniquement quand la température atteint un niveau suffisamment élevé.

# ... un RUISSEAU fait du bruit même s'il est tout petit

**S**ituées à la frontière entre le Brésil et l'Argentine, les chutes d'Iguazú figurent parmi les plus spectaculaires du monde. Là, sur près de trois kilomètres, 275 cascades, soit sept millions de litres d'eau, se jettent chaque seconde dans le vide. Des quantités gigantesques de masses liquides qui, lorsqu'elles percutent le lit de la rivière après un plongeon de quatre-vingts mètres de haut, déclenchent un fracas assourdissant.

Et pourtant, au moment où elle quitte sa source, dans la Serra do Mar, un massif montagneux au sud du Brésil, la rivière Iguaçu (en portugais) ou Iguazú (en espagnol) n'est encore qu'un ruis-

seau qui émet de timides gorgouillis. Ce qui pose une question : pourquoi les cours d'eau, aussi petits et insignifiants soient-ils, produisent-ils du bruit ? Tous les jours on expérimente ce phénomène : quand on verse de l'eau dans un verre vide, on

entend un léger clapotis. À mesure qu'il remplit le récipient, le liquide vibre. Un physicien dirait que sa pression fluctue. Ces variations de pression naissent des collisions répétées de l'eau contre les parois du verre. Fluctuations qui se propagent sous la forme d'ondes sonores. Elles déplacent les molécules d'eau, qui elles-mêmes font vibrer les molécules d'air qu'elles rencontrent en surface. Et ce sont ces vibrations que nous percevons comme des sons. Il en va de même avec un torrent. C'est la force de gravité qui entraîne l'eau vers le bas et la projette contre le lit de pierres et de cailloux. Ainsi, l'eau percuté-t-elle en permanence le sol

Ce sont les variations de pression de l'eau qui provoquent des ondes, **des clapotis et des gargouillis**

ou des obstacles, ce qui induit des fluctuations de pression en série, et donc la propagation sous forme d'ondes sonores. Plus l'eau percuté violemment une surface, plus les changements de pression sont importants. Et plus fort est le bruit. Comme l'eau subit des fluctuations de pression très diverses, les vitesses des vibrations sont aussi différentes, d'où un mélange d'ondes sonores de fréquences distinctes. C'est pourquoi nous percevons ce bruit comme un enchevêtrement de sons. Cet effet est amplifié quand l'eau coule rapidement et que l'air ambiant est agité. Dans un torrent tumultueux, il y a énormément de changements de pression, et par conséquent d'ondes sonores.

A l'inverse, un fleuve large et paisible qui coule sans heurts trouble à peine le silence. Quant au bruit de la mer, il est particulier, à cause des vagues. Celles-ci peuvent atteindre plusieurs mètres de haut et finissent par se briser. A ce moment-là, l'air est emprisonné dans l'eau sous forme de milliards de petites bulles qui se retrouvent déformées et commencent à vibrer. Se forment alors des ondes sonores qui, dans leur intégralité, s'agrègent en un seul son majestueux : le grondement de la mer.

Un son perçu comme agréable et reposant. Pourtant, une seule vague peut produire un vacarme assourdissant. Des mesures prises sous une vague ont montré que le volume sonore peut atteindre les 100 décibels. Un bruit aussi agressif que celui d'un marteau-piqueur entendu à dix mètres de distance. □



Guy Christian / Hemis

# ... l'air chaud monte



**E**n 1783, à Versailles, sous les yeux ébahis du roi Louis XVI et de sa cour, les frères Joseph et Etienne de Montgolfier réussirent à faire s'envoler dans le ciel un ballon de tissu de 12 mètres de diamètre. A son bord, dans un panier suspendu : un coq, un canard et un mouton.

Ces inventeurs avaient découvert qu'un ballon, rendu étanche grâce à une couche de vernis, montait dans les airs s'ils y faisaient pénétrer la fumée d'un feu allumé juste en dessous. Leur montgolfière, après avoir atteint 600 mètres d'altitude, toucha terre à

trois kilomètres de son point de départ, et ses passagers n'en sortirent que légèrement amoités. Les frères Montgolfier venaient d'inaugurer les transports aériens.

Ce prodige s'explique par le même principe physique que celui qui fait voler un voile au-dessus d'un radiateur ou une feuille de papier au-dessus d'une bougie : l'air chaud monte. Un phénomène dû au déplacement de minuscules entités, les molécules de gaz de l'atmosphère.

Dans les matériaux durs, comme les métaux, les molécules sont fixées les unes aux autres par des liaisons assez

rigides. Les molécules des liquides sont également reliées entre elles, mais de manière plus lâche (elles peuvent donc se détacher plus facilement). En revanche, les molécules gazeuses – et c'est même

ce qui fait leur nature – se meuvent rapidement et sans entraves

voler un voile au-dessus d'un radiateur heurtent-elles les unes aux autres en permanence. Plus le gaz est chaud, comme l'air d'une montgolfière par exemple, plus ces molécules se déplacent rapidement et se

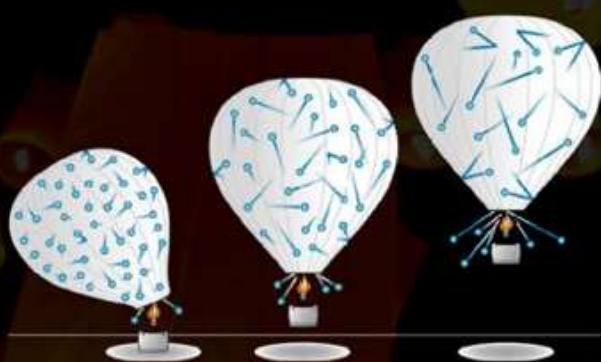
cognent violemment les unes contre les autres ou sur les parois du ballon, comme les boules d'un billard. Etant donné qu'une fois chaudes elles sont beaucoup plus mobiles, les particules de

gaz ont besoin de plus de place que lorsqu'elles étaient froides.

Une partie d'entre elles se trouve ainsi expulsée à l'extérieur du ballon. A l'intérieur, il y a donc moins de molécules de gaz. Du coup, comme la densité de l'air dans la montgolfière est plus faible que celle



Ces lanternes célestes s'élancent dans le ciel de Thaïlande. Elles sont censées porter bonheur et exaucer les vœux.



#### CE QUI POUSSÉ UN BALLON VERS LE HAUT

Lorsque l'air d'un ballon est chauffé à l'aide d'un brûleur, les molécules de gaz se déplacent plus vite, demandant davantage d'espace. Une partie s'échappe alors du ballon. Celui-ci devient plus léger que l'air extérieur qui l'entoure : il s'envole.

de l'air du dehors, le ballon est suffisamment léger pour quitter le plancher des vaches.

Ce principe peut également être observé avec des liquides. Lorsqu'on examine une casse-role remplie d'eau juste avant l'ébullition, on remarque que le liquide se déplace : du fond du récipient – donc près de la source de chaleur –, il remonte en provoquant des remous.

A une échelle beaucoup plus grande, l'ascension de l'air chaud a des conséquences météorologiques. Lorsque le soleil brille, une partie de ses rayons traverse l'atmosphère et est absorbée par le sol. Celui-ci se réchauffe, communique

sa chaleur à l'air à proximité de lui, une couche gazeuse qui s'élève ensuite, laissant au-dessous d'elle une zone de basses pressions, moins dense en molécules.

Au fur et à mesure que la couche d'air chaud monte, des molécules d'air «accourent» pour combler cette zone qu'elle a laissée «vide», certaines d'entre elles parcourant parfois des kilomètres de distance. Et ce qui, dans le cas d'une bougie, d'un radiateur ou même de la montgolfière, prend la forme d'un souffle léger, devient alors un puissant phénomène naturel connu de tous : le vent. □

# ...un miroir renvoie un reflet inversé de droite à gauche, mais pas de haut en bas

**Q**uand nous nous regardons dans un miroir, nous le faisons en partie pour nous assurer de qui nous sommes. Le visage qui s'y reflète révèle une part importante de notre identité. Pourtant, cette image n'est pas tout à fait celle que les autres voient, car le miroir inverse notre visage. Et comme celui-ci est plus ou moins asymétrique, la physionomie que nous renvoie la glace et que nous pensons être la nôtre n'est pas celle que connaît notre entourage.

Dans ce reflet, la droite et la gauche sont interverties. Un texte placé devant un miroir le démontre facilement. Les lettres asymétriques, comme le «L» ou le «P», apparaissent inversées. D'autres données en revanche, comme les proportions, ne changent pas. Dans un miroir dont la surface est régulière et plane, un objet a la même taille que dans la réalité, les angles et les distances restent les mêmes. Et les êtres vivants qui s'y reflètent ne se tiennent jamais sur la tête, mais sur leurs pieds.

Logiquement, on aurait envie de conclure qu'un miroir intervertit la gauche et la droite, mais pas le haut et le bas. Cependant, pour les scientifiques, ce constat ne correspond pas à la réalité. Ce n'est que le résultat d'une interprétation erronée de notre cerveau. Mais d'où vient-elle ?

Soyons clairs : aucun miroir n'inverse la droite et la gauche. On peut le vérifier facilement en collant sur le côté gauche d'une glace un Post-it avec le mot «gauche» et un autre sur le côté droit avec écrit «droite». On lève ensuite le bras gauche, celui où l'on porte habituellement sa montre, en face de ce miroir : notre reflet lève son bras du côté où est collé le mot «gauche». Mais alors pourquoi avons-nous quand même l'impression qu'il s'agit de notre bras droit ? Tout simplement parce que cette inversion se fait mentalement. Nous nous projetons

à la place de la personne qui est dans le miroir, comme si nous faisions volte-face. En effet, pour notre cerveau, ce n'est pas un reflet mais une personne réelle qui nous fait face... et si nous nous mettons dans la perspective de cette personne, le poignet qui porte la montre est celui de droite.

L'illusion vient donc du fait que nous voyons le monde du point de vue du reflet. Et si le haut et le bas, quant à eux, ne nous apparaissent

Richard Kalvar / Magnum Photos



Nous  
voyons le  
monde **du point**  
**de vue** de  
notre reflet



Le visage que nous contemplons dans un miroir n'est pas tout à fait celui que les autres voient.

jamais intervertis dans un miroir placé à la verticale, cela tient tout d'abord au fait que la force d'attraction de la Terre nous rappelle constamment où se situent le bas et le haut. Il s'agit de données permanentes, alors que la droite et la gauche varient en fonction du point de vue de l'individu qui perçoit le monde qui l'entoure. C'est aussi grâce à la force de l'habitude que nous ne voyons pas le haut et le bas inversés : nous gardons la tête en haut pour regarder quelqu'un et nous ne passons pas la

tête entre nos jambes pour l'observer ! Mais que peut-on faire pour se voir exactement comme les autres nous voient ? En utilisant deux miroirs, placés côte à côte et formant un angle de 90 degrés. Il faut se positionner face à l'intersection de ces deux glaces et regarder dans l'angle ainsi formé. Le jeu du double miroir annule l'inversion gauche-droite. Apparaît alors notre «vrai» visage. Une vision inhabituelle qui, pour la plupart des gens, constitue une expérience assez perturbante. □

# ...la Lune ne tombe pas sur la Terre

**U**ne grande partie des vieux satellites qui tournent à faible distance autour de notre planète posent un problème de taille : un jour ils finiront par retomber au sol. Tel fut le sort, en 2011, du satellite de recherche allemand «Rosat», équipé pour observer les rayons X dans l'espace. Après vingt et un ans passés en orbite, cet engin de plusieurs tonnes, endommagé, s'est progressivement rapproché de la Terre... pour terminer en chute libre dans le golfe du Bengale.

Comme tout objet, «Rosat» a obéi à la loi de l'attraction (ou gravitation) universelle. La Terre, en raison de son énorme masse, attire tout autre corps également doté d'une masse. C'est ce qu'a découvert Isaac Newton en 1666. Dès lors, pourquoi les ballons de foot, les boulets de canon et certains vieux satellites retombent-ils inéluctablement sur terre... mais pas la Lune ? Elle aussi est soumise à l'attraction terrestre. Pourtant, ce satellite naturel poursuit sa trajectoire autour de notre planète depuis 4,4 milliards d'années.

Cet exploit tient à sa vitesse. Si la Lune restait immobile – ou si elle était beaucoup plus lente –, elle tomberait du ciel. Mais elle tourne autour de la Terre à environ 3 600 km/h. Si la gravitation disparaissait, la Lune filerait en ligne droite, comme lorsqu'un lanceur de marteau, après avoir enchaîné les moulinets, lâche son boulet en acier. C'est une caractéristique de tout corps en mouvement : s'il n'est soumis à aucune force, il file en ligne droite à une vitesse constante.

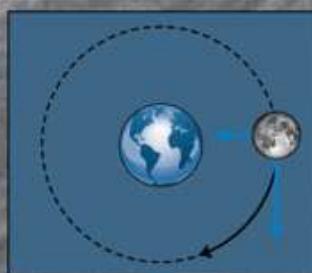
Dans le cas de la Lune, il y a bien une force, l'attraction terrestre. Celle-ci agit perpendiculairement à la direction dans laquelle ce satellite irait naturellement (voir schéma). Sa trajectoire se trouve donc puissamment déviée vers le centre de notre planète. Ainsi, la Terre constraint-elle la Lune à décrire un cercle (ou plutôt une ellipse) autour d'elle, comme si elle la faisait tourner au bout d'une corde. On pourrait même dire que notre satellite naturel préfère tomber bel et bien sur

terre, et ce de 1,4 millimètre à chaque seconde. Mais, puisque en même temps il avance d'un kilomètre, sa trajectoire est finalement elliptique. Sa distance par rapport à la Terre ne change quasiment pas. La Lune «tombe» en permanence, tout en tournant autour de notre planète. Les montagnes russes utilisent le même principe : comme les wagonnets, très rapides, gardent leur vitesse au point culminant du looping, ils ne chutent – fort heureusement – pas.

Les satellites que les hommes ont placés dans l'orbite terrestre, eux aussi, sont assez rapides pour ne pas tomber. Cependant, bon nombre d'entre eux ne gravitent qu'à quelques centaines de kilomètres de la Terre, dans une zone où se trouvent des résidus d'atmosphère. Le frottement des particules d'air ralentit peu à peu les engins, qui perdent progressivement de l'altitude et finissent par chuter. Les satellites plus éloignés, eux, ont le loisir de poursuivre leur course aussi longtemps que nécessaire.

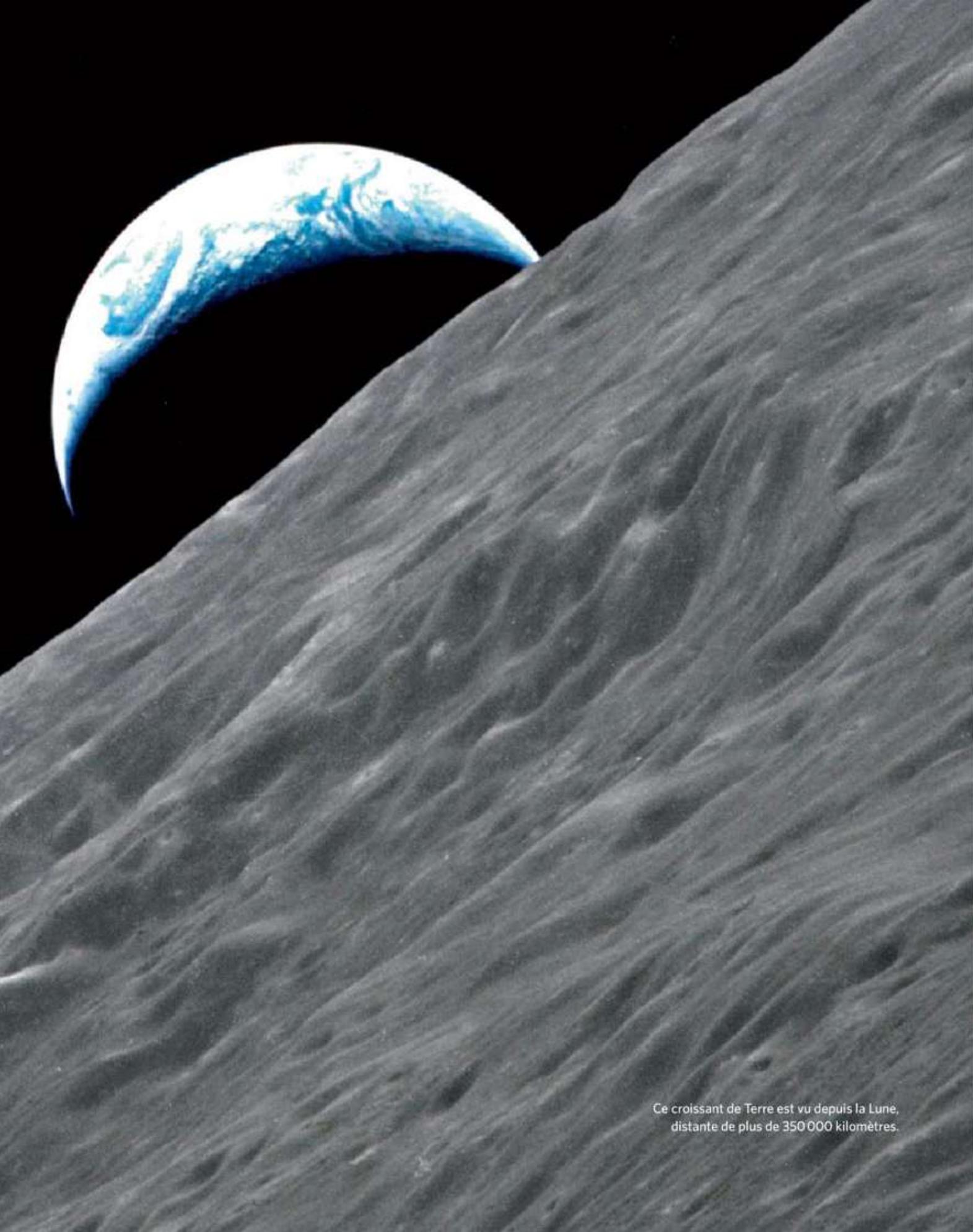
Le fait que la Lune, en évoluant autour de la Terre, est soumise à la même force qu'une pomme qui tombe d'un arbre, fut une découverte géniale de Newton. Sa loi de la gravitation est, aujourd'hui encore, l'un des principes fondamentaux de la physique. Dont l'origine est toujours inexpliquée... □

Sans  
**l'attraction  
terrestre**,  
l'astre lunaire  
disparaîtrait  
à jamais dans  
l'espace



## LE COMBAT DES FORCES

La vitesse de la Lune tend à la propulser vers l'espace. Mais la force de gravitation l'attire aussi vers la Terre. Soumis à ces deux facteurs combinés, notre satellite décrit une orbite autour de notre planète.



Ce croissant de Terre est vu depuis la Lune,  
distante de plus de 350 000 kilomètres.

# ... il y a du **SABLE** sur les plages

**S**ur les contreforts de l'Himalaya, les moines bouddhistes du Bhoutan mettent parfois plusieurs mois pour réaliser un mandala, un diagramme représentant l'Univers. Minutieux et concentrés, ils tracent de fines lignes, des motifs complexes et des images détaillées à l'aide de minuscules grains de sable teintés. Mais à peine leur œuvre terminée, ils la détruisent lors d'une cérémonie festive. C'est ainsi que ces religieux célèbrent le cycle éternel de la nature, celui du devenir et du révolu. Un cycle dans lequel le sable n'est qu'une étape.

Du point de vue des géologues, les grains de sable ne sont rien d'autre que des entités minérales comprises entre 0,063 et 2 millimètres. Au-delà de cette taille, ils les nomment « gravier ». En deçà, « argile » ou « glaise ». Ces fines particules sont le résultat de l'inexorable transformation des continents, un processus à l'œuvre depuis plusieurs millions d'années. Lentement, mais sûrement, des forces physiques rongent les montagnes : la chaleur et le froid créent des fissures dans la roche, le gel ou les minéraux de sel la font exploser, l'eau de pluie la ravine. L'érosion est une conjonction de forces naturelles capables de faire s'effondrer les montagnes.

Les cailloux, graviers et grains de sable qui naissent de ce processus sont emportés par les glaciers et les cours d'eau qui continuent de les broyer. Enfin, ils sont convoyés par les fleuves, puis se jettent dans la mer à l'état de fines particules et, au gré des courants marins, finissent par revenir sur le continent. Une plage se forme à un endroit donné si les vagues apportent davantage de sable que n'en retirent les courants, la marée et le vent. Et c'est ainsi que sur les rivages les plus calmes et les plus plats se forment, grain après grain, les plus grandes dunes.

Le rôle des vagues et des courants n'est pas facile à cerner, et les chercheurs s'interrogent encore sur la manière dont le

La plage n'est qu'une petite étape  
du très long cycle **de l'érosion**



sable se dépose ou se déplace dans l'eau. Une seule chose a été scientifiquement prouvée jusqu'ici : plus le courant est fort, plus il peut déplacer de gros grains de sable.

L'apparence des plages est fonction de la nature des roches dont elles sont issues. Le quartz leur donnera une couleur dorée ou beige, comme sur les rives de la mer Baltique, tandis que l'olivine – une pierre semi-précieuse – teintera de vert celles d'Hawaï. Certaines, dont le sable est formé à partir du basalte,



Massimo Vitali / Gallery Stock

Le sable n'est que de passage sur les plages (ici celle de Knokke, sur la côte belge).

roche volcanique, sont carrément noires, comme aux Canaries, tandis que le sable issu du grenat colore certains rivages écos-sais en rose. Le sable blanc que l'on trouve sur le littoral de la Barbade, de la Martinique ou des Maldives tient, quant à lui, sa couleur des coquillages et de coraux broyés par la mer.

Les plages bordent une grande partie des côtes de la planète. Pourtant, elles ne constituent qu'une étape transitoire dans le destin des grains de sable : happés par les courants, ceux-ci migrent à nouveau vers les profondeurs des océans. Ainsi, dans certaines zones, les fonds marins se recouvrent-ils d'une couche

de sédiments de plus en plus épaisse. Au bout de millions d'années, soumise à une pression toujours plus forte, celle-ci se transformera de nouveau en roche solide, en grès par exemple. Roche à son tour érodée, pour redevenir du sable...

Ces jolis grains que l'on s'amuse à laisser s'écouler en minces filets entre ses doigts lorsqu'on est en vacances ont donc eu de multiples vies : d'abord prélevés d'une roche, ensuite polis par les cours d'eau puis par les vagues ou le vent, avant d'être de nouveau compressés en roche et encore une fois effrités. Rien d'étonnant, puisque sur terre... seul le changement est éternel. □

# ...sauter en l'air dans un ascenseur qui s'écrase ne vous sauvera pas

**L**e 7 octobre 1879, à l'hôtel Parker House de Boston, aux Etats-Unis, eut lieu une expérience particulière. Huit hommes prirent l'ascenseur qui montait au quatrième étage de l'établissement. A un signal donné, quelqu'un coupa les câbles qui retenaient la cabine. Celle-ci, avec ses passagers à bord, soit une masse totale d'environ deux tonnes, plongea tous freins lâchés depuis une hauteur de 25 mètres... Cette expérience visait à tester un nouveau dispositif de sécurité censé empêcher l'appareil de s'écraser au sol.

Se trouver prisonnier d'un ascenseur en chute libre, voilà un scénario catastrophe que bon nombre d'entre nous redoutent encore de nos jours. Au point

que certaines personnes ne pénètrent dans l'étroite cabine qu'avec une terrible angoisse et, en tête, cette question récurrente : si l'ascenseur lâchait, que pourrais-je faire pour m'en sortir vivant ? Une légende urbaine farfelue prétend que sauter en l'air au moment de l'impact au sol permet d'atténuer la puissance du choc. Une hypothèse facile à vérifier avec un minimum de connaissances scientifiques. Et des calculs mathématiques de base.

Premièrement, il faut estimer la vitesse approximative à laquelle tombent les passagers dans l'ascenseur. A cause de l'attraction terrestre, les corps en chute libre vont très vite, bien plus vite

que certaines voitures de course. Lorsqu'un homme ou un objet tombe, sa vitesse augmente à chaque seconde de plus de 35 km/h. Ainsi, il ne faudrait pas plus de 2,3 secondes à un corps en chute libre inerte (qui ne s'agit pas en tous sens) pour percuter le sol, à une vitesse finale d'environ 80 km/h.

Ce qui nous conduit à un second calcul. Pour ne subir aucun dommage, le corps piégé dans l'ascenseur devrait normalement être à l'arrêt au moment de l'impact au sol. Pour y parvenir, une seule possibilité : sauter. Il faudrait qu'il se propulse vers le haut avec la même force que celle délivrée par l'ascenseur en train de chuter. Ce n'est qu'à cette condition que les deux mouvements s'annuleraient.

## Une cabine qui tombe de 25 m de haut atteint 80 km/h

Dans le cas de la cabine d'ascenseur à Boston (une chute de 25 mètres de haut), il aurait fallu que les passagers effectuent un saut capable de les catapulter à 80 km/h. Ce que l'anatomie humaine est loin de permettre : même si, partant d'une vitesse initiale nulle, on était capable d'une telle accélération verticale, il faudrait aussi être apte physiquement à faire un bond de 25 mètres de haut. Quel exploit ! Le commun des mortels ne dépasse pas les 40 centimètres...

Donc, même en tombant d'une hauteur moins importante, de quelques mètres par exemple, une personne ne pourrait pas compenser le choc de la

collision en sautant. Surtout qu'à cela s'ajoute un problème purement pratique : lorsqu'on est enfermé dans un ascenseur qui dégringole, comment peut-on savoir exactement à quel instant on entrera en collision avec le sol ?

Revenons à l'expérience de 1879. Il y a de fortes chances que les ingénieurs qui la tentèrent savaient déjà tout cela. C'est pourquoi ils avaient installé au sol un immense ballon rempli d'air, sorte d'ancêtre géant de l'airbag, censé garantir un atterrissage en douceur. Mais ce n'est pas tout à fait comme ça que les choses se passèrent. La cabine d'ascenseur percuta le sol et explosa dans un nuage de poussière. Les portes furent arrachées, le verre vola en éclats et le plâtre des murs se brisa. Le coussin d'air parvint heureusement à atténuer le choc : les huit cobayes téméraires s'en tirèrent avec quelques entorses et contusions.

Finalement et heureusement, c'est un autre mécanisme qui s'imposa : le frein de sécurité, inventé par l'ingénieur américain Elisha Graves Otis en 1853. En cas de décrochage de la cabine, ce dispositif était automatiquement activé par un ressort. Dès que la tension des câbles retenant l'ascenseur diminuait, des crochets s'enclenchaient sur les rails de guidage et la cabine était freinée. Aujourd'hui, tous les ascenseurs sont équipés d'une version améliorée de ce système de freinage d'urgence. Plus aucune raison donc de paniquer : tout risque d'accident est éliminé... ou presque.



Pas de panique ! Depuis cent soixante ans, les ascenseurs comportent un système de sécurité.

# ... personne n'arrive à prévoir la météo

**O**tto von Bismarck n'était pas un ami de la météo. En 1883, le chancelier du Reich se prononça contre de tels pronostics néfastes «afin de ne pas multiplier les possibilités de critiques malveillantes à l'encontre du gouvernement et de manipulation du peuple à des fins hostiles». Aujourd'hui, on n'aurait pas idée de reprocher aux météorologues de menacer la sécurité d'Etat. Mais on est toujours agacé quand leurs prévisions sont inexactes. Pourtant, ces scientifiques font tout pour ne pas nous décevoir. Ils utilisent ce qui se fait de mieux en matière de modèles de prévisions, d'ordinateurs et de satellites.

Le temps qu'il fera en un point précis de la planète dépend avant tout de six facteurs : la pression atmosphérique, la température de l'air et de son humidité, mais aussi le vent dominant, la quantité et la typologie des nuages qui s'y trouvent. La relation entre ces différentes informations peut être

mise en équation. Pourquoi alors les supercalculateurs, ces ordinateurs conçus pour atteindre des performances de calcul très élevées, ne prédisent-ils pas précisément le temps qu'il fera à long terme, c'est-à-dire plus d'une semaine à l'avance?

Pour prévoir le temps, les météorologues se servent de ce qu'ils nomment des «modèles numériques». Ils basent leurs simulations sur un maillage, fait de points distants de quelques kilomètres entre eux qui quadrillent l'ensemble du globe. Les données correspondant à chacun de ces points – la pression atmosphérique, la température et l'humidité de l'air, le vent, les nuages – sont collectées par les stations météo et les satellites. Et comme il faut étudier un espace à trois dimensions, ces mesures sont prises pour chaque point à différents niveaux d'altitude. Le programme de modélisation compile donc, au total, les données météorologiques recueillies sur des millions de points de mesure. Le superordinateur compare ces données entre elles et enregistre les variations d'un point à l'autre.

Le système informatique doit donc traiter un nombre gigantesque d'informations. Or dès que l'on veut prévoir le temps à long terme, la charge de calcul augmente. Et pour ne rien arranger, les équations mathématiques qui relient ces données entre elles sont si complexes qu'elles ne peuvent être résolues avec exactitude. On obtient, au mieux, une approximation. Bref, même les ordinateurs les plus performants du monde sont dépassés ! D'ailleurs, en supposant qu'un jour ils deviennent assez puissants pour

# plus d'une semaine à l'avance

réaliser cette prouesse, un problème majeur demeurera : l'atmosphère est un système chaotique qui ne pourra jamais être modélisé de façon absolue vue la quantité d'informations à recueillir.

Cette découverte repose sur la théorie du chaos, énoncée par le météorologue américain Edward Lorenz dans les années 1960. Ce dernier rendit célèbre « l'effet papillon » selon lequel la probabilité qu'une tornade s'abatte sur le Texas peut théoriquement dépendre du battement d'ailes d'un seul papillon situé au Brésil.

Dans un système chaotique, le plus petit événement peut entraîner des conséquences très fortes. Il

en va de même pour la météo. Un événement aussi insignifiant que le vol d'un papillon, tel un réchauffement minime de la température à cause d'un rayon de soleil fortuit, peut faire évoluer le temps de façon significative et inattendue.

Puisque les experts n'ont pas la possibilité d'enregistrer tous les petits courants d'air, et que des mesures parfois imprécises faussent les données de départ, il reste toujours des incertitudes. A court terme, leur effet reste limité. Mais sur plusieurs jours, voire sur une semaine complète, ces écarts minimes peuvent s'amplifier et faire qu'en lieu et place de l'ouragan annoncé se profile finalement un temps radieux.

Malgré ces difficultés, les scientifiques ont énormément progressé durant ces dernières

Un événement **minime** peut provoquer un changement total des **prévisions**

décennies : une prévision à six jours est aujourd'hui aussi fiable qu'un bulletin météo à vingt-quatre heures en 1968. Pourtant les prévisions à plus d'une semaine relèvent encore de l'utopie.

Prédire l'évolution des marchés financiers ou la formation des embouteillages est tout aussi aléatoire (lire p. 102). Ces deux systèmes aussi chaotiques que la météo ne peuvent être anticipés de façon fiable car, chez eux aussi, la plus petite modification peut avoir des conséquences immenses.

Les météorologues ont cependant trouvé une façon d'augmenter la fiabilité de leurs prévisions. Ils opèrent une série de calculs différents en faisant à chaque fois très légèrement

varier les conditions de départ. Quand tous les résultats tendent à se rejoindre, la probabilité que la prévision sera juste est plus élevée. Mais la certitude n'est jamais absolue. □

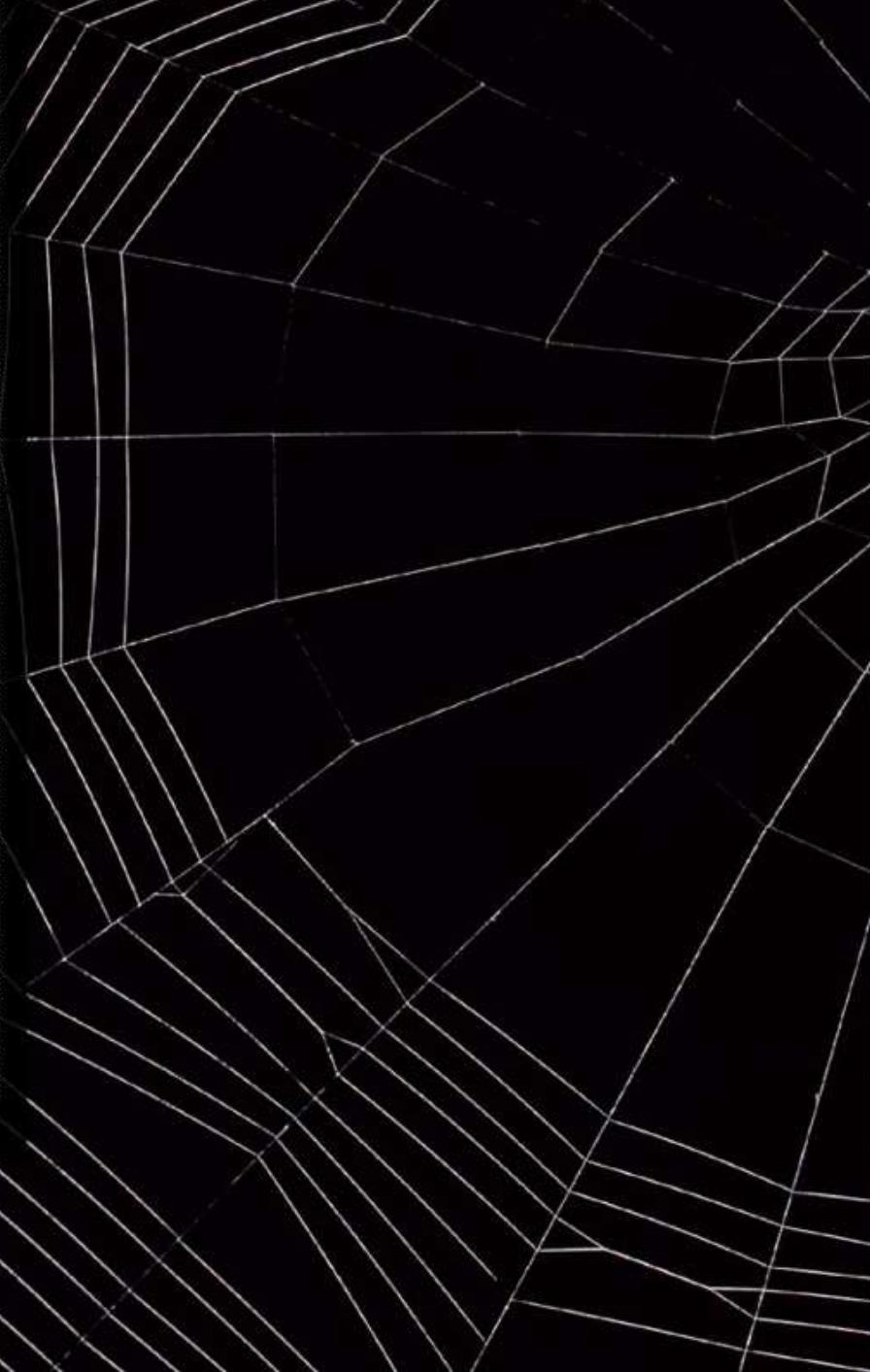
Une variation du taux d'humidité, un nuage plus dense que prévu et cette tornade balayant les plaines du Nebraska (Etats-Unis) aurait pu ne pas exister.

# ...un fil d'araignée est plus solide que l'acier

**D**ifficile d'imaginer contraste plus saisissant. D'un côté l'acier, solide, dur, étincelant, un alliage extrêmement résistant. Un matériau de construction capable de supporter des forces mécaniques colossales, utilisé dans les immeubles, les ponts, les voitures, les bateaux ou les trains. De l'autre, les fils d'une toile d'araignée, si fins que l'on peut les balayer d'un revers de la main. En apparence, ce fil naturel si frêle ne peut en aucun cas concurrencer l'acier. Comment le pourrait-il? L'alliage en question est capable de résister à la charge de plusieurs tonnes de béton ou à la force de traction d'une locomotive.

Mais les impressions sont trompeuses. En réalité, une toile d'araignée est beaucoup plus solide que le métal. Elle semble fragile à cause de la finesse de ses fils, dix fois moins épais qu'un cheveu humain. Pourtant, si son diamètre était d'un centimètre, un fil d'araignée suspendu à une grue pourrait tracter un poids de 7,5 tonnes. Une telle performance s'explique par l'exceptionnelle combinaison de résistance et d'élasticité qui caractérise la soie d'araignée. En théorie, si l'on pouvait comparer deux câbles de même poids, celui issu de l'arachnide supporterait une charge cinq fois supérieure au filin d'acier avant de se rompre. Cette résistance physique s'explique par la structure particulière des fils et montre l'imbrication souvent étroite qui existe entre physique, chimie et biologie.

A partir d'éléments comme le carbone ou l'azote, les glandes sécrétaires des araignées façonnent de minuscules «Lego» chimiques: les acides aminés. Ces briques de base sont assemblées par milliers les unes aux autres et finissent par former d'immenses chaînes de protéines. Lesquelles servent de matériau pour la fabrication de la soie, lorsqu'elle est filée dans les «filières», de petits tubes situés dans l'abdomen de l'animal. Pendant cette opération, une partie de ces molécules géantes s'allongent, s'alignent, créent des liaisons entre elles. Et différentes formes de struc-





Le fil dont sont tissées les toiles est façonné dans les « filières », de minuscules tubes placés dans l'abdomen.

La soie sécrétée par l'animal est dix fois plus fine qu'un **cheveu humain** et, pourtant, elle est extrêmement résistante

tures, appelées « cristallines », apparaissent : par exemple, certaines protéines s'arriment parallèlement les unes aux autres, comme des poutres de bois empilées. D'autres molécules, au contraire, ne sont pas organisées. Elles forment des zones gélatineuses, dites « amorphes ». Ces deux sortes de molécules se lient entre elles pour constituer une chaîne qui est expulsée à mesure que l'araignée descend le long de son fil.

L'alternance des structures cristallines et amorphes ainsi que l'agencement interne des molécules de protéines confèrent à la soie son incomparable résistance.

Et la rendent plus forte que l'acier. Car la constitution du métal, elle, est totalement différente : ses atomes sont placés les uns à côté des autres, en rangs serrés, comme des boules. Ils forment des motifs géométriques réguliers, et non des chaînes géantes relativement désordonnées, comme le font les protéines.

Conséquence : soumis à une traction, l'acier rompt plus facilement. Les molécules des fils d'araignée, elles, s'étirent et restent en contact entre elles. Cette propriété permet à la soie de gagner presque 30 % de sa longueur sans se briser.

Pour tirer parti des qualités de ce fil naturel et en produire en grande quantité, des chercheurs de Bayreuth, en Bavière, ont récemment implanté des gènes d'araignée dans des bactéries. Dans de grands bacs, ces êtres unicellulaires fabriquent des protéines d'araignées transformables en longs fils qui, tissés, donneront une matière extrêmement résistante.

Bientôt, espèrent les ingénieurs et les chercheurs, l'industrie bénéficiera d'un matériau innovant. Ce sera le début d'une ère où, dans les pièces automobiles, les ressorts ou les câbles d'ascenseurs, cette soie remplacera probablement l'acier.

# ... les **SAUCISSES** se **fendent** dans le sens de la **longueur** quand on les **CHAUFFE**

**P**réparer une saucisse de Francfort ne demande pas de grands talents culinaires. Il suffit de la faire chauffer dans une casserole remplie d'eau. Mais il faut respecter une règle d'or : la température de l'eau ne doit pas dépasser 70 °C. Sinon, on s'expose à une mauvaise surprise : la saucisse éclate. Et, en plus d'un aspect peu ragoûtant, elle écope d'une saveur fade.

Bizarrement, si on l'avait fait griller, on aurait obtenu le même résultat : sa tendre chair se serait fendue. Et la fissure aurait couru tout du long, sur un seul côté. En effet, les francforts n'éclatent jamais dans l'autre sens, c'est-à-dire que la fente ne fait pas le tour de la saucisse. Comment cela s'explique-t-il ?

Quand on chauffe une saucisse, les bulles d'air et d'eau qu'elle renferme gonflent à mesure que la température augmente. C'est avant tout la vapeur d'eau qui provoque la dilatation de la chair, qui elle-même exerce une pression accrue sur la peau. A l'échelle moléculaire, il se passe à peu près ceci : les particules gazeuses qui se déplacent à grande vitesse s'entrechoquent et viennent percuter l'intérieur de l'enveloppe de la saucisse. Alors celle-ci se tend. Cette tension, qui finit par causer l'éclatement de la saucisse, s'exerce dans le sens de la longueur, mais aussi dans celui de la largeur. Avec, cependant, des forces différentes. En effet, quand un corps creux est sous pression, la tension qui s'exerce sur ses parois n'est partout la même que si l'objet a la forme d'une sphère. S'il est cylindrique (comme la saucisse), elle est deux

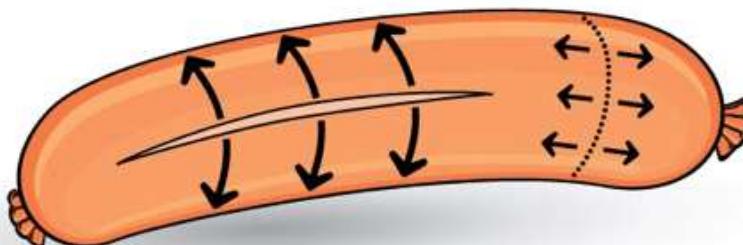
Pour les ingénieurs, les saucisses sont **des cylindres sous pression**

fois plus forte dans le sens de la largeur que dans le sens de la longueur (voir schéma). Le sens dans lequel la saucisse se fissure dépend donc de sa forme géométrique. Pour comprendre plus précisément le phénomène, il faut imaginer que la peau de la saucisse est tissée de fils invisibles à la manière d'une étoffe. Comme dans une trame, une partie des fils est placée dans le sens de la longueur. Et l'autre suit celui de la largeur : ces fils-là font le tour de la saucisse, telles des bagues. Ces anneaux étant soumis à une tension deux fois plus élevée que les fils qui vont d'un bout à l'autre de la saucisse, ils se cassent en premier. Une fois qu'un anneau a cédé, ses voisins se brisent à leur tour. Et la fissure se propage tout au long du cylindre.





Ces saucisses n'ont pas résisté à une température de cuisson supérieure à 70 °C. Résultat : leur peau a éclaté.



#### QUAND L'ENVELOPPE SE FISSURE

La chaleur produit des gaz. Ceux-ci génèrent une pression qui s'exerce dans toutes les directions sur les parois de la saucisse, mais surtout dans le sens de sa largeur. La peau éclate alors à un endroit, puis la fissure se propage d'un bout à l'autre, sur toute la longueur.

Voici pourquoi une saucisse se fend toujours dans le sens longitudinal, et quasiment jamais dans le sens transversal. Les ingénieurs connaissent bien ce phénomène. Pour eux, les saucisses ne sont rien d'autre que des «récipients cylindriques à parois minces sous pression», pour lesquels ils ont inventé la «formule du chaudronnier». Cette équation mathématique permet de calculer le rapport entre la pression interne et la tension exercée sur la paroi des chaudrons à vapeur, des tuyaux ou des canettes de boisson. Primordial, car quand une petite fente apparaît dans un oléoduc par exemple, que ce soit par corrosion ou par accident, il y a urgence. En effet, l'expérience a prouvé que ces conduites éclatent exactement comme les saucisses, qu'elles soient frites, grillées ou cuites à l'eau : toujours dans le sens de la longueur. □

# ...un boomerang revient à son point de départ

**O**ù et quand un boomerang a-t-il été lancé pour la première fois ? Impossible de le savoir. Mais on sait que les aborigènes d'Australie se servaient déjà de projectiles en bois recourbés pour attraper des animaux il y a environ 10 000 ans, voire bien avant.

Les premières armes de chasse n'étaient pas conçues pour revenir vers le lanceur. Pourtant, rapidement, les humains en ont visiblement vu l'intérêt et le bâton qui initialement partait en ligne droite fut transformé en une sorte de cintre qui, lancé d'une certaine façon, décrivait un cercle et revenait au point de départ s'il manquait sa cible.

Si les origines du boomerang semblent mystérieuses, il en va de même pour les caractéristiques lui permettant de voler. Pour les comprendre, il faut se pencher sur deux facteurs : la forme de l'engin et la technique de lancer. Vu de profil, tout

boomerang ressemble un peu aux ailes d'un avion. En raison de leur courbure asymétrique et des lois de l'aérodynamique, celles-ci subissent une portance, c'est-à-dire une poussée d'air qui les propulse vers le haut (lire p. 34). Mais les pales du boomerang, contrairement aux ailes d'un avion, ne fendent pas l'air à l'horizontale. Elles se déplacent presque à la verticale, comme si l'avion était incliné à 90 degrés. De ce fait, le projectile recourbé ne subit pas une force ascensionnelle, mais une force qui le pousse de côté, appelée portance latérale.

Par conséquent, le boomerang tend à dévier de la direction initiale que le lanceur lui a donnée. S'il s'agit d'un modèle pour droitiers, il se déroute vers la gauche

(et inversement). Mais, s'il n'y avait que cette force latérale, l'engin se contenterait de partir à l'oblique par rapport à l'impulsion de départ. La portance n'explique pas le fait que le bâton vire pour revenir vers le lanceur. Pour cela, il faut lui donner un effet supplémentaire. Le lanceur, d'un geste brusque du poignet, imprime au boomerang un mouvement de rotation sur lui-même. Le morceau de bois, lancé à la verticale, tourne dans

Portance latérale, rotation, frottement de l'air, gravité... la trajectoire d'un boomerang dépend d'une conjonction de forces physiques.



l'air autour d'un axe qui, lui, est horizontal. Cette rotation agit directement sur le vol du boomerang car l'air ne circule pas à la même vitesse sur les deux pales. La pale située en haut (dite pale avancante) progresse contre le flux d'air, alors que la pale du bas (reculante) le suit. Du coup, l'air frappe avec plus de puissance la pale supérieure que la pale inférieure. Ce qui im-

plique que la force transversale qui dévie l'engin sur le côté (la fameuse portance latérale) et qui est proportionnelle à la vitesse de l'air est, elle aussi, plus importante sur la partie haute du boomerang que sur la partie basse. Voilà pourquoi, tout en avançant, l'objet coudé s'incline peu à peu sur le côté (la pointe supérieure à l'extérieur). Et son axe de rotation, au départ horizontal, s'oriente petit à petit à la verticale.

C'est ce changement d'axe qui fait décrire un cercle au boomerang, un peu comme un pneu auquel on donne une

Deux facteurs lui permettent de voler : la **forme de ses ailes** et la **technique de lancer**

impulsion pour qu'il roule tout droit mais se met à amorcer un virage, puis s'incline sur le côté et finit par tomber en tournant sur lui-même. Dans le cas du boomerang, un lanceur expérimenté (sachant tenir compte de la force et la direction du vent, de la forme et du poids de l'objet et qui le projette en l'inclinant légèrement par rapport à la verticale, etc.) est en mesure de rattraper son engin à l'endroit d'où il l'a envoyé quelques secondes auparavant.

Lorsque l'on songe à la précision nécessaire pour dompter cette technique de lancer – et aussi pour façonnier ces objets – on s'étonne que l'histoire du boomerang soit aussi ancienne ; qu'à l'âge de pierre déjà, des chasseurs australiens qui ignoraient tout des lois de l'aérodynamique, les maîtrisaient pourtant parfaitement.

Une preuve de plus que les hommes ne sont jamais aussi inventifs que dans l'adversité. □

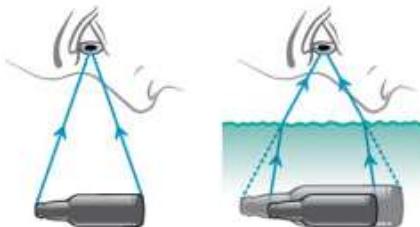
# ... tout ce qui est sous l'eau nous

**L**orsque les pêcheurs parlent de leurs prises, ils ont souvent tendance à exagérer. En particulier quand le poisson leur a échappé. «Il était si énorme qu'il a filé», entend-on régulièrement. Pourtant, ce qui n'est en apparence que pure vantardise s'explique – du moins en partie – par un principe de physique. En effet, tout ce qui se trouve sous l'eau nous apparaît plus grand que nature.

Cette illusion d'optique repose sur une particularité de la lumière. Normalement, les rayons lumineux se propagent en ligne droite, que ce soit dans l'air, dans l'eau ou dans tout autre élément transparent comme le verre ou la glace. On le constate aisément en observant le tracé rectiligne d'un rayon laser. Mais quand un rayon de lumière incliné pénètre dans un nouveau milieu en passant, par exemple, de l'air à l'eau, éléments qui possèdent une densité optique différente, un phénomène surprenant se produit : le rayon change soudain de direction. Il se brise à la frontière entre les deux milieux et forme un angle. Les physiciens disent alors que la lumière se «fracture». D'où le terme «réfraction» employé pour expliquer ce phénomène.

Un phénomène qui s'explique ainsi : dans des milieux différents, les rayons lumineux se déplacent à des vitesses différentes. L'eau, par exemple, est optiquement plus dense que l'air, c'est-à-dire que la lumière y progresse un peu moins vite.

Comparons un rayon de lumière à une automobile. Lorsqu'une voiture oblique vers la droite pour quitter une route goudronnée et s'engager dans un chemin sablonneux, elle est freinée automatiquement. Sa roue avant droite pénètre en premier sur le nouveau terrain et ralentit, alors que les trois autres



## DES RAYONS DÉVIÉS

La lumière se diffuse dans l'air sans entrave. Mais si un rayon passe de l'eau vers l'air (ou inversement), il change légèrement de direction et atteint l'œil de l'observateur avec un angle modifié. La taille de l'objet est alors perçue de façon distordue.



Peter Vethouw / Dutch Shark Society

roues sont encore à pleine vitesse. Conséquence immédiate, la voiture est déviée vers la droite. Idem lorsqu'un rayon de lumière pénètre de biais dans un milieu différent de celui dont il provient : une partie du faisceau lumineux entre légèrement plus tôt que le reste en contact avec ce nouvel environnement. Elle est donc freinée en premier et entraîne la déviation de l'ensemble du rayon.

C'est ce qui se produit lorsque nous regardons un objet qui se trouve sous l'eau. Les rayons de la lumière sont réfléchis par l'objet et, au moment où ils retournent à l'air libre, sont légèrement déviés à la

# apparaît plus **gros**



Aux Seychelles, ces promeneurs observent, pieds dans l'eau, des (petits ?) requins à pointes noires dans une lagune.

surface de l'eau avant d'atteindre notre œil. Or celui-ci est réglé pour observer ce qui se trouve dans l'air. Du coup, notre cerveau n'enregistre pas la déviation de la lumière : il traite les stimuli envoyés par l'œil comme si les rayons nous parvenaient en ligne droite.

En simplifiant, on peut considérer que nous percevons les dimensions d'un poisson sous l'eau avec une perspective distordue. Selon notre angle de vue, l'animal peut sembler un peu plus proche de nous ou même un tiers plus gros que sa

taille réelle. Cet effet est démultiplié lorsqu'on observe des objets à travers des lentilles en verre qui ont été polies de telle sorte que la lumière y est fortement réfractée. Ces lentilles optiques que l'on trouve dans les loupes, les microscopes ou les télescopes provoquent une déviation tellement importante des rayons lumineux que même les choses les plus minuscules nous paraissent immenses, et des corps célestes, distants de plusieurs milliards de kilomètres, incroyablement proches. □

**L'eau** a la même action que les lentilles polies d'un **microscope**

# ... un réfrigérateur produit plus de chaud que de froid

**B**ières fraîches ou légumes croquants, fromages coulants ou desserts savoureux, toutes ces victuailles reposent, bien à l'abri, dans nos réfrigérateurs que nous ouvrons plusieurs fois par jour (et parfois même la nuit). Ces machines ronronnent doucement au service de 99,8 % des ménages français. Nos frigos, si familiers, sont en fait des engins sophistiqués, qui fonctionnent selon certains principes fondamentaux de la physique.

A priori, ils génèrent de la fraîcheur. Mais au fond, qu'est-ce que le froid ? Et comment le produit-on ? La réponse de la thermodynamique – cette branche de la physique qui tente d'expliquer les phénomènes de température – est surprenante : le «froid» n'existe pas en tant que grandeur physique (les scientifiques ne peuvent le quantifier par la mesure ou par le calcul). Ce qui a une réalité pour les physiciens, c'est la chaleur : elle correspond à de l'énergie. En effet, plus la température d'un objet augmente, plus les atomes et les molécules qui le composent bougent vite.

Donc, pour un scientifique, un réfrigérateur ne produit pas de froid ! Il extrait simplement la chaleur qui se trouve à l'intérieur de l'appareil – essentiellement celle des aliments – pour la conduire vers l'extérieur. Or ce transfert thermique est contre-nature. Un principe fondamental de la physique veut que la chaleur «migre» toujours dans le même sens, c'est-à-dire d'un corps chaud vers un corps froid. Et ce jusqu'à ce que tous deux aient atteint la même température. Un réfrigérateur doit donc continuellement travailler contre ce mécanisme de compensation.

Pour cela, des ingénieurs ont eu l'idée de faire circuler un fluide réfrigérant à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de l'appareil. Pour pouvoir absorber la chaleur de l'intérieur du frigo, ce produit doit être plus froid que lui. Ce qu'on obtient en utilisant une propriété des fluides : comprimés, ils passent à l'état liquide et se réchauffent, et quand, au contraire, la pression qui s'exerce sur eux baisse brutalement, ils passent

En gardant nos aliments au frais, nous avons augmenté notre **espérance** de vie

à l'état gazeux et se refroidissent (on dit qu'ils se détendent). C'est pour cette raison qu'un déodorant sortant d'un vaporisateur donne une sensation de froid. Appliqué à un frigo cela donne le circuit suivant : lorsqu'il circule dans les tuyaux extérieurs, le produit est à l'état liquide, car sous haute pression. Mais au moment où il pénètre dans le réfrigérateur, il passe par un minuscule orifice, ce qui provoque sa détente : sa pression chute, il s'évapore dans les tubes intérieurs et sa température baisse. Et lorsque ce produit très froid passe à travers le labyrinthe de tuyaux situé dans le réfrigérateur, il soustrait de la chaleur à l'atmosphère interne – puisqu'il est plus froid que cette dernière. Puis il ressort vers les conduits extérieurs. Il est alors plus froid que l'air de la pièce.

S'il restait ainsi, il ne pourrait pas évacuer à l'extérieur la chaleur qu'il a emmagasinée : rappelons que la chaleur migre toujours du plus chaud au plus froid. La température du produit qui ressort à l'arrière du frigo doit donc excéder celle de la pièce. Il est donc réchauffé à l'aide d'un dispositif appelé «compresseur».

On peut alors se débarrasser de la chaleur emmagasinée via une sorte de radiateur : le condenseur (la grille noire qui est au dos de l'appareil), qui fait repasser le produit à l'état liquide. Le réfrigérateur transfère donc non seulement la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur, mais aussi réchauffe son circuit externe pour permettre ce transfert. Voilà la raison pour laquelle le condenseur est très chaud.

Mais ne regrettons pas cette dépense en énergie. Si notre espérance de vie est si élevée aujourd'hui, c'est en partie grâce à la technologie du froid. Depuis cinquante ans, elle a remplacé dans les foyers les autres méthodes de conservation des aliments comme la salaison et la saumure, qui nécessitent entre autres des nitrates et des nitrites – deux substances qui peuvent s'avérer cancérogènes. Résultat : les réfrigérateurs ne se contentent pas de conserver la fraîcheur et la teneur en vitamines des aliments, ils ont aussi contribué au recul du cancer de l'estomac dans les pays occidentaux.

La chaleur présente à l'intérieur du frigo est captée et évacuée à l'extérieur grâce à un mécanisme astucieux.



# ...le sel empêche le verglas de se former sur les routes

**L**'Antarctique est entièrement recouvert d'une épaisse couche de glace. Ou presque... Une minuscule portion de ce continent échappe au gel : l'étang Don Juan. Même au plus fort de l'hiver polaire, ce petit lac, dont l'eau arriverait tout juste aux chevilles de qui s'y risquerait, reste à l'état liquide. S'il résiste si bien au gel, c'est en raison du sel qu'il contient. C'est l'étendue d'eau la plus salée du monde. Son taux de salinité est presque quatorze fois plus élevé que celui de la mer.

L'eau douce se transforme en cristaux de glace lorsque sa température passe à 0 °C. L'eau de mer, qui renferme en moyenne 35 grammes de sel par litre, gèle à environ -2 °C. Le lac Don Juan ne se solidifie, pour sa part, que lorsque le froid chute à -48 °C. Les physiciens nomment ce phénomène «abaissement du point de congélation».

Tous ceux qui se sont laissés surprendre par la brusque arrivée de l'hiver sur l'autoroute – en souhaitant l'arrivée rapide des saleuses – savent que l'eau gelée peut retourner à l'état liquide sous l'action du

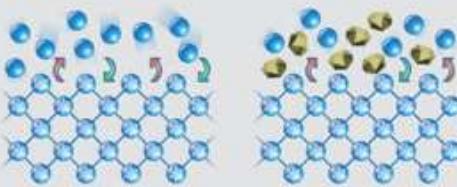
sel. Pour comprendre ce processus, il suffit d'observer de plus près la surface de la glace, donc de l'eau solidifiée. Si le sel peut provoquer un dégel, c'est grâce à la fine pellicule d'eau qui recouvre toute couche de glace (lire p. 86). Les molécules d'eau qui se situent sur le pourtour d'un cristal de glace sont arrimées par des liaisons moins résistantes que celles qui se trouvent au centre. Elles ont la faculté de se détacher de la structure, de s'écartier les unes des autres, et l'eau redevient alors liquide.

Toutes ces molécules d'eau n'ont pas la même énergie. Certaines seulement sont capables de se déplacer, et disposent – par le plus pur des hasards – d'une force suffisante pour parvenir à quitter le cristal. D'autres manquent d'élan pour le faire. Mais tant que la température ne descend pas en dessous de



## UN BARRAGE EFFICACE

Les molécules d'eau qui quittent un cristal de glace sont remplacées par d'autres en permanence (à gauche). Les molécules de sel (à droite) bloquent l'accès aux molécules entrantes, tandis que d'autres continuent de partir. Résultat : la glace fond.





–35 °C, il y aura toujours des molécules dotées d'une quantité d'énergie suffisante pour migrer et former une mince couche d'eau au-dessus de la glace.

Cependant, dans cette zone liquide aussi, la capacité de mouvement des molécules est inégale. Certaines d'entre elles quittent l'état liquide pour retourner à l'état de cristal : elles forment à nouveau une liaison rigide avec d'autres molécules et se transforment en glace. Ainsi, observe-t-on sur les bords d'un cristal de glace une sorte de va-et-vient permanent, dont le bilan est finalement équilibré : il y a autant de molécules quittant le cristal qu'il n'en arrive.

C'est en jetant du sel sur la surface gelée que l'on modifie cet équilibre naturel. Les grains se dissolvent dans la pellicule aqueuse, si bien que des molécules de sel s'insèrent parmi les molécules d'eau. Les particules salines se placent dans les interstices du cristal de glace, au hasard des places laissées vacantes par les molécules d'eau qui se sont détachées. Et comme celles de sel ne sont pas adaptées pour s'imbriquer dans la structure régulière d'un cristal de glace, elles n'y seront jamais incorporées. Conséquence : elles bloquent l'accès au cristal. Et les molécules d'eau qui cherchent à reformer une liaison avec

ceux-ci ne parviennent pas à le faire. Elles restent donc à l'état liquide. Pendant ce temps, le nombre de molécules qui s'échappent du cristal de glace reste, pour sa part, le même. Ce qui fait que la structure rigide perd de plus en plus de molécules... et se liquéfie. En résumé : les cristaux fondent.

Grâce à ses caractéristiques particulières, le sel marin ou de cuisine – en l'occurrence du chlorure de sodium –, parvient à abaisser le point de congélation jusqu'à –21,1 °C. Mais le lac Don Juan, contient, lui, du chlorure de calcium, bien plus efficace encore. Ce sel, qui provient vraisemblablement des roches situées aux alentours, se dissout nettement mieux que celui qui assaisonne nos coquillettes. Cela signifie qu'un nombre beaucoup plus élevé de molécules de sel colonise les molécules d'eau.

Conclusion, pour provoquer un dégel, il faut une quantité de molécules étrangères à l'eau suffisante, et peu importe de quelle substance il s'agit, à condition, bien sûr, que celle-ci soit soluble dans l'eau. On rencontre dans la nature des mécanismes de lutte contre le gel qui font appel à des matières très différentes : certaines plantes protègent leurs feuilles à l'aide de sucre, beaucoup d'insectes utilisent la glycérine, et c'est grâce à un processus similaire que certaines espèces de grenouilles parviennent à survivre par des températures très largement négatives pendant deux semaines. □

Le corps de certaines espèces animales produit sa propre substance antigel

Des monticules de sel sur un immense miroir : c'est le produit des salars andins, des lacs salés d'altitude en Amérique du Sud.

# ...la glace flotte sur l'eau

**E**n hiver, dans les contrées nordiques, lorsque la température descend en dessous de 0 °C plusieurs jours de suite, les fleuves se mettent à charrier de gros blocs blancs, et certains lacs se recouvrent d'une épaisse couche de glace. Un paysage familier pour les habitants de ces régions. Mais le phénomène qui permet à la glace de flotter sur l'eau, donc à un solide de se maintenir à la surface d'un liquide, est loin d'être commun du point de vue des sciences physiques.

Une fois gelée, l'eau se comporte en effet bien différemment des autres liquides, comme les huiles végétales ou l'alcool. Normalement, la matière, lorsqu'elle est à l'état solide, est plus dense (et donc plus lourde pour un volume égal) qu'à l'état liquide. Si l'on jette par exemple des glaçons de vodka dans un verre rempli de vodka, ils coulent vers le fond, contrairement aux glaçons classiques.

Pour comprendre pourquoi l'eau fait exception, il faut observer le comportement des molécules des différents liquides quand ils gèlent. Lorsqu'une matière est à l'état liquide, ses molécules possèdent tellement d'énergie qu'elles sont constamment en mouvement. Mais comme elles s'attirent mutuellement, à la manière des aimants, elles restent toujours en contact entre elles : elles ne se déplacent donc pas librement dans l'espace, mais les unes autour des autres.

Le gel ne se contente pas de faire exploser les canalisations. Sa puissance lui permet aussi **d'abattre des montagnes**



Si l'océan Antarctique était rempli de vodka, ce manchot empereur ne trouverait en surface aucun bloc de glace sur lequel atterrir !

Plus la température s'abaisse, plus ces minuscules entités perdent d'énergie. Elles se déplacent alors de plus en plus lentement. Et se rapprochent aussi davantage les unes aux autres. Car, à partir d'une cer-

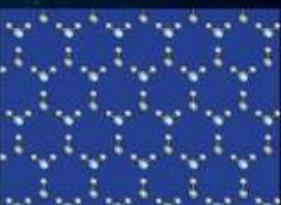
tainne température, leur force d'attraction mutuelle prend le pas sur leur propension au mouvement: le liquide se fige (à  $-110^{\circ}\text{C}$  environ pour l'éthanol par exemple). Les molécules, alors étroitement serrées, forment une structure ordonnée. La substance, désormais solide, est plus dense que lorsqu'elle était liquide – et donc plus lourde pour un volume égal.

Qu'en est-il de l'eau? Certes, ses molécules, dont la formule chimique est  $\text{H}_2\text{O}$ , se resserrent à mesure que la température baisse. Mais lorsqu'elle atteint  $0^{\circ}\text{C}$ , c'est-à-dire quand elle gèle, se produit alors quelque chose d'étonnant: les molécules d'eau s'agencent selon une trame en trois dimensions qui implique que, au contraire, elles s'éloignent les unes des autres (voir le schéma du bas ci-contre).

Ce phénomène tient à leur structure. Assemblage d'un atome d'oxygène (O) et de deux d'hydrogène (H), les molécules d'eau ont la forme d'un V dont la pointe serait l'atome d'oxygène, et les extrémités des

#### À L'ÉTAT LIQUIDE

Les molécules d'eau s'attirent comme des aimants et restent relativement proches.



#### À L'ÉTAT SOLIDE

Les molécules s'agencent en larges mailles, conférant à la glace une densité plus faible.

deux branches les atomes d'hydrogène. À l'état liquide, les V tourbillonnent de manière désordonnée et se rapprochent les uns des autres de façon aléatoire. Mais lorsque l'eau gèle, les molécules  $\text{H}_2\text{O}$  s'organisent selon un protocole très précis: chaque jambe d'une molécule se lie à la pointe de la suivante. Se forme ainsi un corps solide cristallin, qui gagne 9 % en volume par rapport à l'état liquide.

Autant de matière, mais dans un volume supérieur: l'eau gelée a donc une plus faible densité que lorsqu'elle est liquide. Voilà pourquoi elle flotte.

Cette augmentation de volume liée au gel déploie une puissance considérable. On s'en rend compte en hiver, lorsque le gel fait exploser les tuyaux, et que l'eau infiltrée dans des fissures fend les roches les plus solides. Ce phénomène peut prendre des proportions inouïes: depuis des millions d'années, des chaînes montagneuses entières se sont ainsi érodées sous la pression de la glace (lire p. 56).

Cette capacité particulière de l'eau à prendre du volume lorsqu'elle se fige a d'autres conséquences encore. Par exemple, elle garantit la survie de nombreuses espèces animales et végétales. L'hiver, la glace qui recouvre les eaux, surtout si elle est surmontée d'une couche de neige, est un excellent isolant qui empêche lacs et rivières de geler entièrement. Et permet ainsi à la faune marine, du moins dans les eaux profondes, d'affronter sans dommages le froid le plus glacial. □

# ...les flûtes produisent un son lorsqu'on souffle dedans

**D**es hommes des cavernes firent une découverte surprenante il y a plus de 37 000 ans : quand ils soufflaient d'une certaine manière dans un tube creux, par exemple dans un os d'aile de cygne, il en sortait des sons mélodieux. Et si l'on perçait des trous à intervalles réguliers, il pouvait même modifier ces sons selon qu'ils laissaient ces ouvertures libres ou qu'ils les bouchaient avec les doigts. Ces hommes de l'âge de pierre avaient inventé le premier instrument de l'Histoire : une flûte. Et celle-ci leur donnait accès à une voie totalement nouvelle, celle de la musique.

Le principe physique qui fait naître des sons dans une flûte est toujours le même, qu'il s'agisse d'un tuyau d'orgue de plus de 11 mètres ou d'une miniflûte mesurant 8 centimètres. On peut le décomposer en trois étapes.

Tout d'abord, la flûte doit avoir une ouverture dotée d'un biseau. C'est sur la pente de celui-ci (très visible dans une flûte à bec) que le musicien doit souffler. En la heurtant, le filet d'air se divise et se met à tourbillonner, générant alors des vibrations dans les particules d'air voisines (voir schéma).

Ces vibrations se propagent ensuite dans le tube, devenant un son. Elles forment ce qu'on nomme une «onde stationnaire», qui peut se comparer à une vague dont crêtes et creux monteront et descendront, mais sans avancer. Cette onde est provoquée par les vibrations des molécules d'air qui se déplacent en un mouvement de va-et-vient très rapide le long du tube. Quand elles font 440 allers-retours par seconde, cela correspond à un *la*. Plus les vibrations sont rapides et plus le son est aigu.

Enfin, le musicien doit boucher certains trous et en laisser d'autres libres. En effet, la longueur de l'onde stationnaire – la distance entre deux creux ou deux crêtes – dépend de celle du tube de la flûte. La longueur d'onde détermine la vitesse de vibration des particules d'air, plus le tube est long, plus les vibrations sont lentes, et plus le son est grave. En bouchant ou en laissant ouverts les trous de la flûte, on peut donc faire varier





Produire des sons et jouer une mélodie, deux compétences qui font appel à plusieurs principes physiques. Même si cette scène bucolique ne l'évoque pas.

la hauteur des sons : c'est comme si on raccourcissait ou rallongeait la flûte. Et, ce faisant, on force l'onde stationnaire à changer de longueur d'onde.

Dans les instruments à vent, ce sont donc les tourbillons d'air qui déclenchent des vibrations. Mais pour la guitare, le violon ou le piano, celles-ci sont produites par des cordes. La hauteur du son dépend alors de la longueur de la corde : plus celle-ci est courte, plus elle vibre vite – et plus le son est aigu. Les pianos possèdent une corde différente pour chaque son. Mais dans le cas de la guitare et du violon, c'est le musicien qui raccourcit les cordes en les comprimant avec les doigts.

Quant aux percussions, telles que les marimbas ou les carillons, ce sont les baguettes de bois ou de métal avec lesquelles le musicien les frappe qui font vibrer l'instrument dans l'air. Ici, la hauteur du son dépend de la longueur de la baguette. Pour les timbales, c'est la peau tendue sur ces fûts en cuivre qui, en tressaillant, fait vibrer l'air. Sa taille et sa tension influent donc sur la gravité du son.

Enfin, si notre oreille est en mesure de percevoir le son de ces différents instruments, c'est que les vibrations nées à l'intérieur se transmettent aux particules d'air extérieures. Ces ondes se déplacent alors avec une très grande célérité puisqu'elles progressent à la vitesse du son (340 mètres par seconde). Cela signifie que dans une grande salle de concert, où le dernier rang se trouve à une centaine de mètres du premier, les spectateurs placés devant l'orchestre entendent le mouvement d'une symphonie 0,3 seconde plus tôt que ceux assis tout au fond. □



#### DE L'AIR À LA NOTE

Quand on souffle dans la flûte, l'air heurte le biseau, produisant des vibrations qui se propagent dans le tube. Une onde se crée : c'est le son.

# ...une plaque à induction froide peut cuire des aliments

Pendant des millénaires, dans tous les foyers du monde, on a procédé de la même façon pour cuire ses aliments : en soumettant un récipient à une source de chaleur – feu de bois, réchaud à gaz, plaque électrique...

Mais au début du XX<sup>e</sup> siècle, on a découvert une méthode totalement innovante pour faire chauffer les casseroles : la cuisson par induction. Elle a été popularisée aux Etats-Unis dans les années 1970 et connaît, depuis quelques années, un succès grandissant en France.

Principe : on place une bouilloire sur une plaque allumée et, aussi surprenant que cela puisse paraître, l'eau bout alors que la surface en vitrocéramique sur laquelle le récipient est posé reste froide. La chaleur n'est pas transmise à la bouilloire par contact avec un élément extérieur : elle se crée directement dans ses parois.

Comment cela est-il possible ? Derrière cette énigme se cachent en réalité deux principes de physique. Selon le premier, à chaque fois que des électrons (particules porteuses d'une charge électrique négative) se déplacent dans une matière, formant un courant électrique, celui-ci émet autour de lui un champ magnétique. Selon le second principe, à chaque fois qu'un champ magnétique change de direction, il génère de l'énergie. Et peut ainsi faire naître de l'électricité dans un objet métallique. Il «induit» un courant, comme disent les physiciens. D'où le terme de «plaque à induction».

Dans la pratique, les choses se déroulent ainsi (voir ci-contre) : sous la plaque de cuisson est installée une bobine de cuivre – des spires de fil métallique étroitement enroulées sur elles-mêmes. À travers cette bobine passe un courant alternatif – c'est-à-dire dont le flux d'électrons est dirigé dans un sens puis dans le sens contraire, à un rythme régulier. Ce changement de direction du courant électrique génère un champ magnétique qui, lui aussi, change régulièrement de sens.

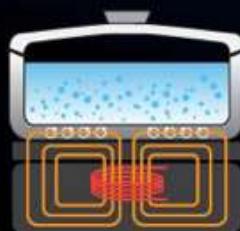
Ce champ magnétique peut traverser sans encombre la plaque en vitrocéramique, l'air ou même, s'il en a la force, la pièce vide. Mais il en va autrement quand il rencontre du métal. Celui-ci présente une particularité : ses électrons peuvent se mouvoir librement entre ses atomes. Et c'est sur ces électrons qu'agissent les variations de sens du champ magnétique. Elles les mettent en mouvement, créant des «flux tourbillonnants». Si on place une casserole sur la

plaque à induction, c'est-à-dire en plein dans le champ magnétique, un courant électrique se crée dans ses parois. Et se transforme en chaleur parce que les casseroles de fer et d'acier que l'on utilise pour la cuisson par induction sont un peu spéciales : elles ne sont pas de bons conducteurs de courant, ce qui est voulu. Au contraire, elles sont dotées d'une forte résistance électrique. Comme prendre : elles freinent le flux des électrons.

On peut se représenter ce phénomène très simplement en s'imaginant un hall d'aéroport dans lequel des voyageurs tentent de se faufiler à travers une foule dense qui les empêche de passer. Dans la casserole, les efforts des particules, obligées de «jouer des coudes» pour avancer, produisent de la chaleur par frottement. Cette friction est accentuée parce que les électrons se comportent comme de minuscules aimants qui suivent le champ magnétique extérieur. Rapelons que celui-ci change constamment de sens. De sorte que les mini-aimants modifient, eux aussi, sans cesse leur direction. Mais tous ne parviennent pas à changer de cap à la même vitesse. Les plus rapides se télescopent donc contre leurs voisins plus lents. Ces multitudes de collisions dégagent de l'énergie dont une partie se transforme en chaleur.

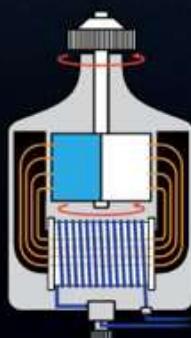
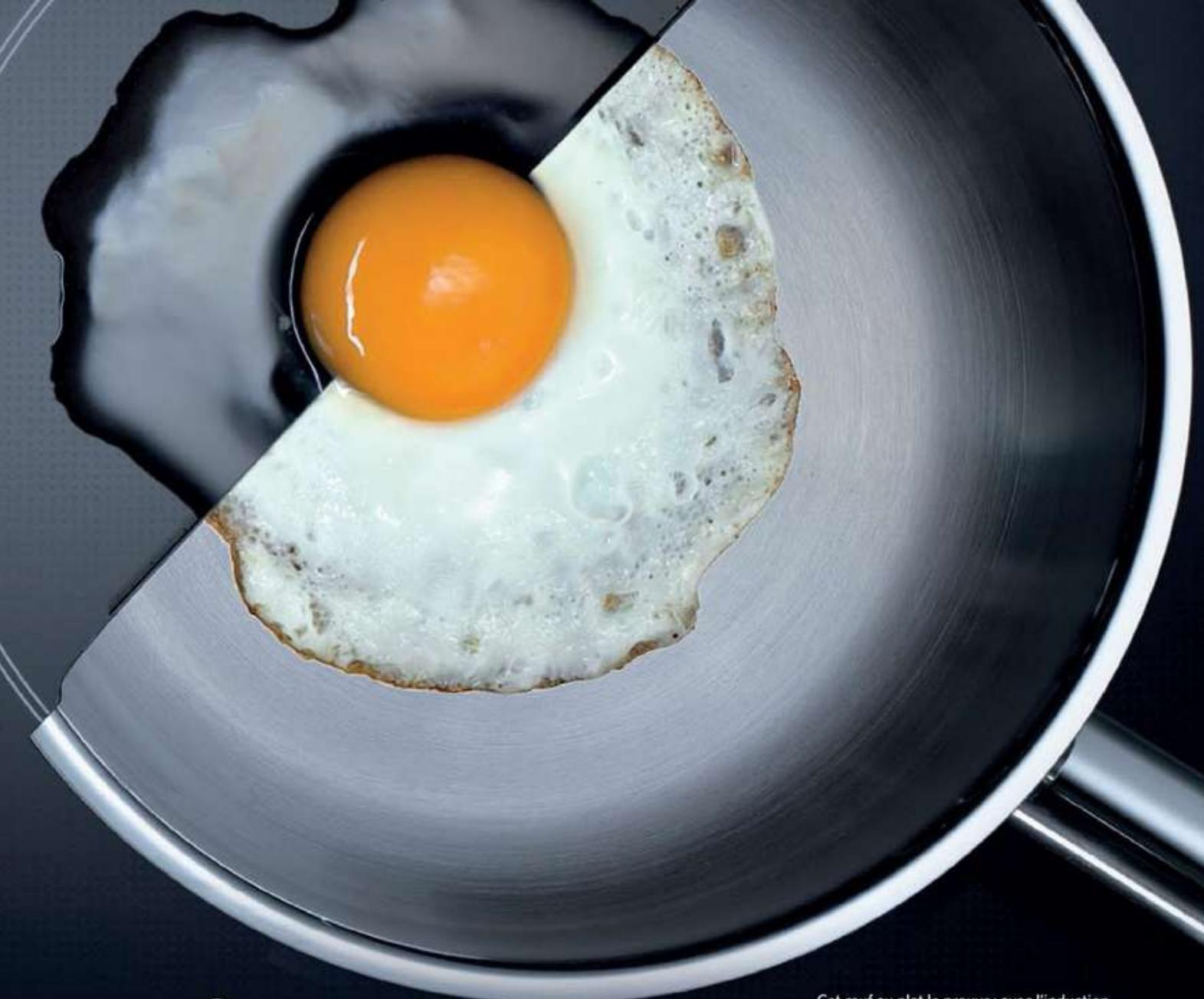
Résultat, le récipient chauffe. Excepté lorsqu'on choisit un matériau beaucoup plus conducteur, comme une casserole en cuivre pur. Le courant y circule, bien entendu, mais comme ce métal offre peu de résistance aux

Les particules, qui «jouent des coudes» pour circuler, produisent de la chaleur



## CUISSON MAGIQUE

Le courant traverse une bobine de cuivre (en rouge), générant un champ magnétique (en orange). Les électrons (blancs) de la paroi du faitout s'agitent. Ils créent de la chaleur.



### MINICENTRALE ÉLECTRIQUE

Dans une dynamo, l'aimant (en bleu et blanc) engendre un champ magnétique alterné (en orange) qui déclenche le mouvement des électrons dans la bobine de fil : de l'électricité est alors produite.

électrons, ceux-ci ne se bousculent pas et la température du récipient augmente à peine. Et à l'inverse, un matériau qui n'est absolument pas conducteur ne réagira pas au champ magnétique. Voilà pourquoi la surface en vitrocéramique de la plaque à induction demeure pratiquement froide. Si elle finit par chauffer légèrement après un certain temps, c'est parce que la casserole elle-même finit par lui transmettre sa chaleur par contact direct.

Cet œuf au plat le prouve : avec l'induction, la poêle chauffe, pas la plaque de cuisson.

Cette relation étroite entre courant électrique et magnétisme ne sert pas uniquement, bien entendu, à cuire les aliments par induction. Le procédé permet également de produire de l'électricité. Tous les générateurs – comme les éoliennes ou les dynamos des bicyclettes – contiennent des mécanismes constitués d'aimants tournant autour de bobines de fil métallique (voir schéma). Quand le vent fait tourner le rotor, ou lorsque quelqu'un pédale sur son vélo, les aimants du générateur se mettent à tourner. Et le mouvement de leurs champs magnétiques génère un courant électrique dans les bobines de fil métallique.

Nous voilà donc face à un phénomène des plus intéressants : l'homme exploite aujourd'hui le même principe physique pour consommer de l'électricité ou... en produire. □

# ... le champagne jaillit comme un geyser

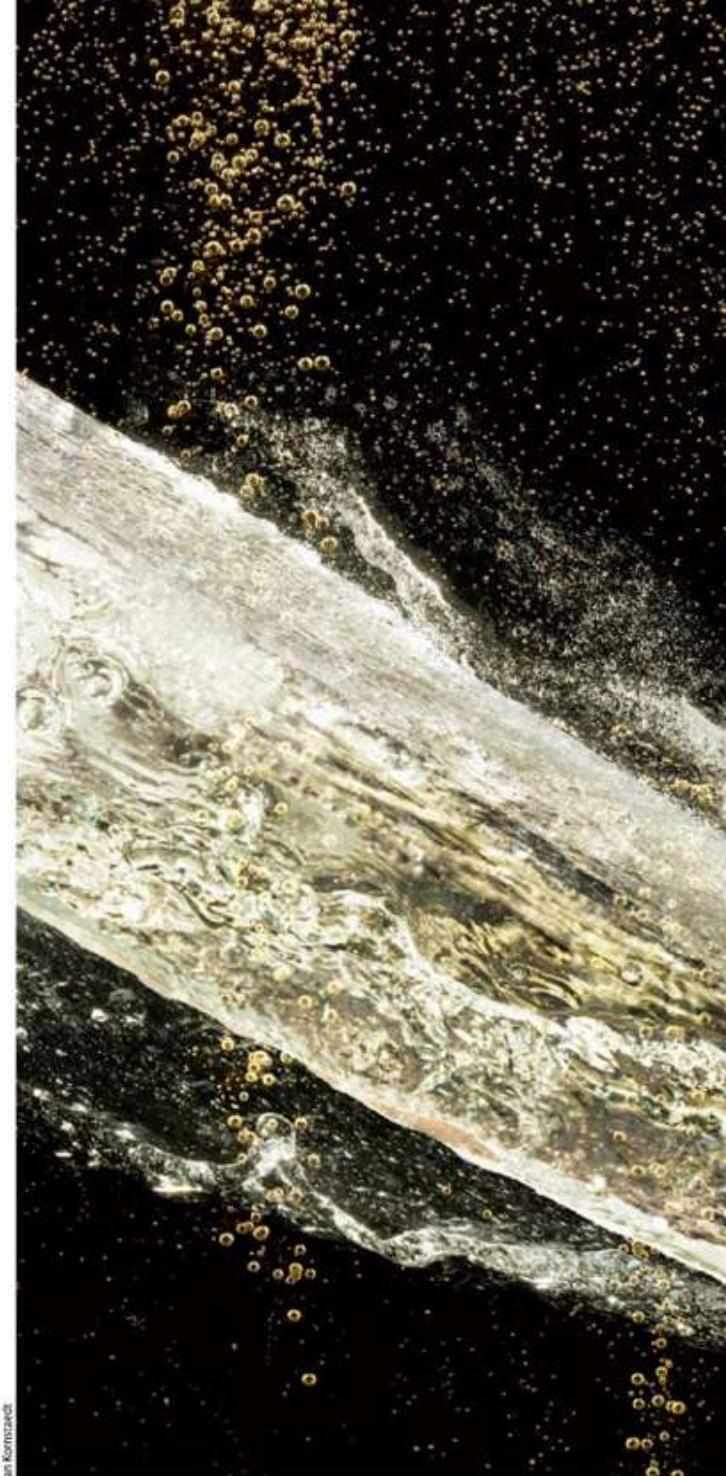
**A** la fin du XV<sup>e</sup> siècle, certains vignerons français connurent une désagréable surprise plusieurs saisons d'affilée : des douzaines de bouteilles de vin explosaient tandis qu'un feu d'artifice de bouchons agitait les caves. Et dans les autres bouteilles restées intactes sur les étagères, le contenu donnait une sensation étrange en bouche : il pétillait.

Cette anomalie s'explique aisément : ces années-là, les hivers furent à la fois précoces et très rigoureux. Habituellement, quand les vignerons pressaient le raisin et versaient le jus dans les fûts, des cellules de levure faisaient fermenter le sucre des fruits pour le transformer en alcool. Et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), ou gaz carbonique, généré lors de cette métamorphose, s'échappait lentement par les minuscules ouvertures des cuves de bois. Mais le froid, si soudain et si intense à cette époque-là, avait stoppé l'action de la levure avant qu'elle n'ait pu absorber tous les sucres. Et ce n'est qu'au printemps, une fois les températures remontées et le vin déjà mis en bouteille, que la fermentation avait repris. Le CO<sub>2</sub> né de cette réaction chimique s'était alors retrouvé prisonnier : il avait formé des bulles dans le vin. Et, parfois, la pression qu'il exerçait sur le verre était telle que la bouteille se brisait en mille morceaux.

Les vignerons de l'époque ne connaissaient pas les processus biochimiques exacts qui entraient en jeu, mais ils surent tirer parti du phénomène qu'ils observaient. Car les consommateurs appréciaient ce pétilllement inhabituel. Du coup, les cultivateurs de cette région du nord-est de la France, la Champagne, se mirent délibérément à ajouter du sucre et de la levure au vin avant de le mettre en bouteille et, prudents, firent fabriquer des bouteilles plus épaisses pour qu'elles puissent supporter une forte pression.

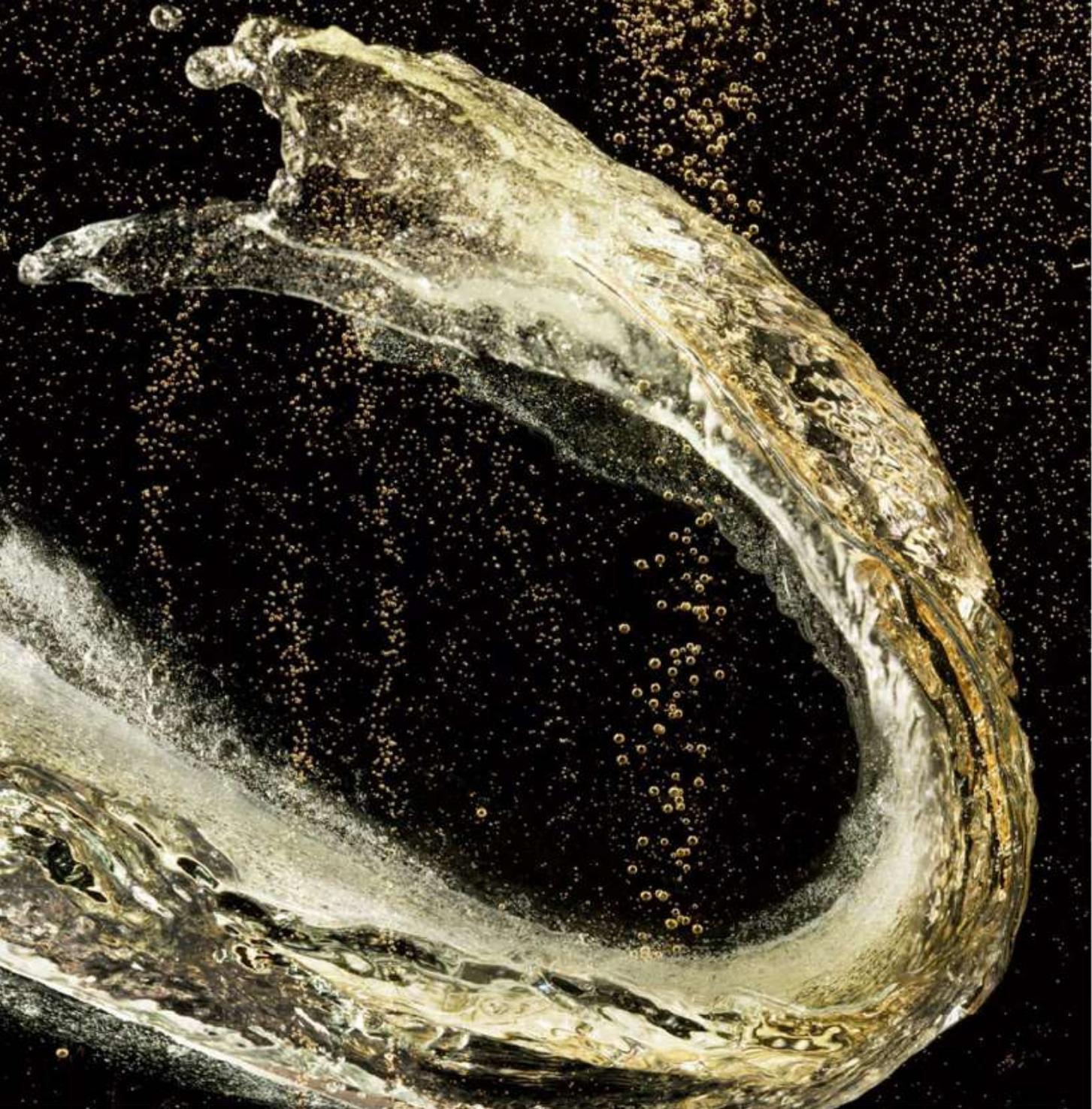
Aujourd'hui, un litre de vin mousseux contient environ 12 grammes de dioxyde de carbone. Normalement une telle quantité de CO<sub>2</sub> occupe un volume de plus de 6 litres. Mais comme il ne peut se répandre dans la bouteille fermée, le gaz est contraint de trouver une solution alternative dans le petit espace

Ce jaillissement est comparable à une **éruption** volcanique



dont il dispose. Donc, un peu comme le sucre, il se dissout dans le liquide : il crée partiellement des liaisons avec les molécules d'eau et se transforme en acide carbonique.

Or un liquide aussi fortement concentré en acide carbonique n'est stable que s'il est maintenu sous très haute pression. Les molécules de dioxyde de carbone ne restent donc pas toutes dans le liquide. Certaines ont tendance à le quitter pour retourner à l'état gazeux. C'est pourquoi elles s'accumulent autant qu'elles le peuvent dans l'espace vide situé entre le vin et le bouchon.



Le dioxyde de carbone prisonnier d'une bouteille de champagne occuperait normalement un volume de 6 litres.

Ce qui explique le bruit sec qui se produit quand on fait sauter le bouchon. Aussitôt, le CO<sub>2</sub> fortement compressé qui se trouve juste en dessous se détend brutalement. L'onde de choc qui en résulte se propage dans l'air : c'est cette petite détonation que nous trouvons tellement festive. Et si on secoue la bouteille auparavant, l'effet est plus spectaculaire encore. Car l'agitation force le CO<sub>2</sub> accumulé dans l'espace libre à coloniser le liquide sous forme de petites bulles. Dès qu'elles ont plus de place, ces bulles gonflent. Elles atteignent même plusieurs fois leur volume initial et repoussent le liquide qui les entoure avec une telle puissance qu'il jaillit de la bouteille comme un geyser.

Lorsqu'on ouvre une bouteille de champagne, il se produit finalement le même phénomène que lors de certaines éruptions volcaniques, quand le magma brûlant, mélangé à du gaz, exerce une pression telle sur l'enveloppe terrestre qu'il peut aller jusqu'à pulvériser le sommet d'une montagne.

Le volcan est certes plus violent, étant donné sa taille, mais il ne faut pas pour autant sous-estimer la puissance explosive du champagne. La pression dans une bouteille peut atteindre six fois celle de l'atmosphère (6 bars). Donc, au moment où on l'ouvre, si on ne retient pas le bouchon, celui-ci est propulsé à 50 km/h. Un projectile dont il vaut mieux se méfier. □

# ...une **RADIO** peut capter des **signaux invisibles**

**S**i nous étions en mesure de percevoir les ondes radio, le monde nous semblerait bien étrange. Nous le verrions en mode zébrures. Haché de rayons électromagnétiques entrecroisés, imbriqués, superposés.

Un chaos indescriptible ! Imaginez si vous pouviez visualiser les myriades de stations radio qui émettent sur toute la planète et les flux d'ondes traversant sans arrêt et à toute vitesse les troncs d'arbres, les murs, le verre et le béton.

Nos postes de radios, même s'ils font partie de notre univers familier, sont capables de prouesses technologiques. Non seulement ils parviennent à détecter des ondes invisibles, mais ils peuvent également repérer telle ou telle station particulière dans cet écheveau inextricable d'ondes en circulation. L'appareil capte les messages, les décode et les transforme en sons, c'est-à-dire en ondes acoustiques.

Comment fonctionne ce système génial de transmission de la musique et de la parole ? Pour le comprendre, il ne suffit pas de s'intéresser aux aspects techniques d'un poste de radio, il faut suivre l'ensemble du trajet d'une onde, de l'émetteur jusqu'au récepteur.

L'élément central de toute station émettrice est l'antenne. Dans sa version la plus simple, elle se résume à une baguette métallique dans laquelle de minuscules particules chargées d'électricité, les électrons, vibrent dans un mouvement de va-et-vient.

Le rythme de ces vibrations (c'est-à-dire leur fréquence) varie d'une station à une autre.

Selon un principe identifié par le physicien britannique James Clerk Maxwell en 1864, les électrons en mouvement émettent de l'énergie. Laquelle se diffuse sous forme d'ondes radio. Ce phénomène est invisible mais l'on peut tout de même l'imaginer en observant les ondes qui se forment à la surface d'un étang, lorsqu'on tape dans l'eau. Le nombre de vaguelettes qui se produisent dans un intervalle de temps donné dépend de la fréquence à laquelle la main frappe l'eau.

Il en va de même avec une onde radio : sa fréquence dépend de la vitesse avec laquelle les électrons vibrent dans l'antenne. Si celle-ci émet à une fréquence de 93 mégahertz, les électrons qui la parcoururent oscillent 93 millions de fois par seconde. Tant que les électrons vibrent de façon régulière dans l'antenne, celle-ci n'émet que des ondes de forme régulière. Elles-mêmes ne

En vibrant dans l'antenne, les électrons produisent un signal

contiennent aucune information, il s'agit simplement de ce que l'on nomme des «ondes porteuses». Pour diffuser des données, une voix ou de la musique par exemple, les stations émettrices utilisent une astuce particulière. Elles modulent les vibrations régulières émises par les électrons en y mêlant un second signal électrique, en provenance d'un microphone, par exemple. Bien que ces modifications soient minimes, la vitesse de vibration des électrons varie selon le son enregistré par le microphone.

Ainsi la fréquence des ondes radio émises par l'antenne est-elle modifiée : celles-ci comportent dès lors des informations. Elles se propagent ensuite dans les airs. Rares sont les obstacles capables de leur faire barrage, éventuellement les poutres en acier, les épaisse couches de terre recouvrant un tunnel ou encore les hautes montagnes. En revanche, les ondes radio n'ont aucune difficulté à traverser les murs en bois, en pierre ou les vitres des fenêtres.

Et c'est ainsi qu'elles font leur chemin jusqu'à nos postes de radio. Pour pouvoir exploiter les informations qu'elles contiennent, chaque appareil fonctionne selon les mêmes principes physiques qui régissent la station émettrice. Sauf que le processus est inversé. Les ondes sont transformées en signaux électriques, et ces derniers deviennent, à leur tour, des sons que notre oreille peut percevoir et que notre cerveau sait interpréter.

Quand on choisit une fréquence, par exemple 93 mégahertz, le système électronique du poste de radio se règle de telle manière que l'antenne capte exactement cette fréquence-là. Cela signifie que lorsque les ondes radiophoniques correspondantes parviennent à l'antenne, elles font vibrer les électrons à l'intérieur 93 millions de fois par seconde. Et puisque les modulations qui ont été mêlées à l'onde porteuse dans la station émettrice modifient très légèrement sa fréquence, ces modulations seront également perçues par l'antenne. Les fréquences des ondes porteuses, qui sont elles dépourvues d'information, seront ignorées.

Que se passe-t-il exactement au niveau du poste de radio ? Les électrons qui se mettent à vibrer produisent un signal électrique qui varie selon la modulation. Il suffit alors, grâce à un composant spécifique, un transistor, de filtrer le signal de l'onde porteuse pour restituer le son : il ne garde que la modulation,



Les postes de radio utilisent le même principe physique que les stations émettrices, mais inversé.

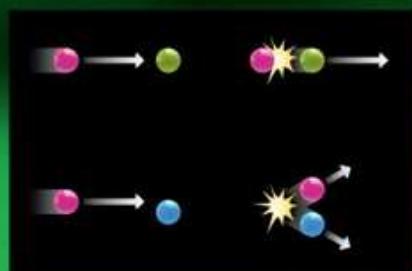
c'est-à-dire l'information audio pure. Cette dernière est transmise à un haut-parleur, qui transforme de nouveau les signaux en sons, identiques à ceux captés par le microphone à l'origine, dans la station émettrice.

L'astuce qui permet de transmettre des données par l'intermédiaire d'ondes hertziennes n'est pas seulement utilisée dans les postes de radio. Les liaisons Bluetooth (cette technologie de réseaux sans fils d'une faible portée permet-

tant de relier des appareils entre eux), la téléphonie mobile, les GPS ou les réseaux locaux sans fil (WLAN) reposent sur le même principe. Des technologies qui requièrent des mécanismes bien plus complexes de modulation des ondes car il leur faut être capables de transporter des photos, des vidéos ou des applications. Ces données sont acheminées à travers les airs à l'instar des signaux acoustiques et sont finalement captées par des antennes adaptées.

POURQUOI...

# ... AU BILLARD, LA BOULE BLANCHE RESTE **IMMOBILE** APRÈS LA FRAPPE



## UNE FORCE QUI SE PARTAGE

Quand une boule cogne contre une autre frontalement et qu'elles sont de masses égales, la première s'arrête net et transmet toute sa force, son élan, à la seconde. Si au contraire le choc est décentré, les boules s'écartent et se partagent l'impulsion initiale.

**L**e billard est pratiqué en général dans des bars. Et pas nécessairement par des personnes très calées en science.

Pourtant ce sport repose sur une loi fondamentale de la physique, dont se servent les joueurs sans le savoir : la conservation de l'impulsion. C'est elle qui régit les forces en présence quand deux objets, l'un en mouvement et l'autre immobile, entrent en collision. Que dit cette loi ? Qu'au moment du choc, la force du premier objet se transmet au second. Pendant une partie de billard, on observe ce phénomène. Si l'on propulse frontalement la boule blanche sur une des boules de couleur, immobile, il se passe quelque chose de surprenant : au moment du choc, la boule blanche s'arrête net, tandis que la boule colorée se met à rouler à la vitesse qui était celle de la blanche. L'impulsion est le nom donné par les physiciens à ce que l'on appelle « l'élan » d'un objet ; elle correspond à sa masse multipliée par sa vitesse. Elle indique également la direction prise par l'objet – ici, une boule de billard. Et a pour conséquence qu'une bille qui roule vite aura une impulsion plus grande qu'une autre qui roule lentement. Et qu'une bille lourde aura une impulsion plus grande qu'une autre plus légère. Selon ce principe, qui s'appelle aussi loi de conservation de la quantité de mouvement, l'impulsion peut se transmettre d'un objet à un autre lors d'une collision, sans s'en trouver modifiée. Appliquée au billard, cela signifie qu'après une collision frontale, la première boule s'immobilise car elle a transmis son impulsion à la seconde. Laquelle se met alors à rouler en conservant la même vitesse et la même direction que la première. Toute fois, ceci est possible parce que les boules de billard possèdent toutes la même masse. Ce qu'illustre le pendule de Newton, un objet composé de cinq billes métalliques identiques, chacune suspendue par un fil à une même barre.

**Sans le savoir, les joueurs se servent de la loi de conservation de l'impulsion**

**Au repos, les cinq billes se touchent. Si on écarte et on relâche la bille située à une extrémité, celle située à l'autre bout est propulsée et écartée à son tour avant de retomber, et ainsi de suite. Le mouvement est potentiellement infini. Pour revenir au billard, si la deuxième boule était plus légère, elle se mettrait à rouler plus vite, tandis que la première ne resterait pas immobile après le choc, mais poursuivrait son mouvement plus lentement. A l'inverse, si la deuxième boule était plus lourde, elle se mettrait à rouler plus lentement, alors que la première repartirait en arrière. L'impulsion ne se transmet donc pas nécessairement en totalité. Elle peut se diviser. C'est ce qui se passe quand la première boule percute la deuxième sur un côté au lieu de la heurter de front. Elle lui confère alors une partie seulement de son impulsion. Conséquence : après le choc, les deux boules partent dans des directions différentes, avec une vitesse réduite : elles se sont simplement réparti l'impulsion initiale. C'est la même loi physique qui s'applique lorsque les joueurs utilisent les rebords de la table de billard. Quand une boule en percute un, elle poursuit sa trajectoire avec quasiment la même vitesse, mais en changeant de direction. Elle se comporte comme si elle avait heurté une deuxième boule extrêmement lourde. D'autres sports reposent aussi sur le principe de conservation de l'impulsion. Le golf par exemple. La balle n'est pas uniquement propulsée par la vitesse que le joueur imprime à son club, mais par le fait que la lourde tête de la crosse répercute son impulsion sur une balle plus légère qu'elle et, de ce fait, lui transfère un élan supplémentaire. Au bowling aussi on utilise cette loi physique pour essayer de faire un *strike*, c'est-à-dire faire tomber les dix quilles d'un seul coup. Bien que la boule soit beaucoup plus petite que la surface de la piste recouverte par les quilles, un joueur habile pourra faire en sorte de répercuter l'impulsion de son projectile sur ces dernières, de façon à ce qu'elles se couchent sur le côté en entraînant leurs voisines dans leur chute. □**

La boule de couleur conserve la même direction que la blanche parce qu'elles ont une masse identique.

# ...la GLACE est glissante

**O**n ne l'aurait pas imaginé ainsi d'entrée de jeu. Mais l'hiver, avec son cortège de neige et de glace, représentait pour nos lointains ancêtres une période en fin de compte très bénéfique. C'était la saison durant laquelle s'ouvrait à eux la possibilité de conquérir des territoires d'ordinaire inaccessibles. Ils pouvaient soudain franchir les lacs et les fleuves opportunément gelés. La glace leur permettait d'avancer, en chaussant l'équivalent de patins ou de skis, bien plus rapidement qu'à pied. Mais aussi de transporter leurs fardeaux bien plus loin et à moindre effort en les chargeant sur une luge ou un traîneau.

Le phénomène est connu depuis la nuit des temps : l'eau gelée est la plus glissante des surfaces solides naturelles. Pourtant, à l'heure actuelle, on ne sait pas encore complètement en expliquer la raison.

Un facteur évident est que la glace est recouverte d'une fine pellicule d'eau, qui agit comme un lubrifiant – il est plus facile de glisser sur un carrelage mouillé que sur un sol sec. Les chercheurs continuent cependant à s'interroger sur la façon dont cette fine couche d'eau se forme sur la glace.

Tout d'abord, ils ont pensé que la glace fondait à sa surface sous le poids du patineur, en raison de la pression exercée par la lame de son patin. Mais il s'avère que c'est le cas uniquement lorsque la température de la glace se situe légèrement en dessous de 0 °C : celle-ci est alors

Une pellicule d'eau de quelques nanomètres recouvre toute couche de glace

Fox Photos / Hulton Archives / Getty

de toute façon sur le point de fondre, et le poids d'un patineur suffit effectivement à provoquer le dégel. En revanche, lorsque la température descend en dessous de -4 °C, l'expérience ne fonctionne plus.

Armés de microscopes de haute précision, les scientifiques ont multiplié les tests et progressé quelque peu dans l'élucidation de ce mystère. Ils ont constaté que la glace produit d'elle-même une sorte de pellicule visqueuse. Car les molécules qui sont à sa surface ne sont reliées à la structure d'ensemble que par leur face interne. Pour mieux comprendre cette mécanique, on peut comparer un cristal de





Glissades à la mode des années 1930 : des enfants de l'école Nightingale, à Londres, jouent les équilibristes.

glace à une foule de personnes, chaque individu tenant bien fermement son voisin par la main. L'ensemble forme ainsi une structure solide. Mais les gens situés à la périphérie du maillage ne sont, forcément, tenus que par une main. Du coup, il leur est beaucoup plus facile de se détacher du groupe. C'est ce qui se passe pour les molécules d'eau : celles qui se situent en surface étant plus mobiles, elles constituent une sorte de couche aqueuse, à mi-chemin entre l'état solide et liquide (lire p. 72).

Mais, d'après de nombreux scientifiques, cette pellicule, de quelques nanomètres d'épaisseur seulement, serait beaucoup trop mince pour expliquer que la glace soit aussi glissante. Des expériences

montrent que le frottement joue également un rôle déterminant. Lorsque des bottes, des patins ou des skis se déplacent sur le sol gelé, leur action crée de la chaleur qui fait fondre la glace.

Cependant ce phénomène ne fonctionne plus par des températures extrêmement basses. Car le froid compense alors entièrement l'énergie produite par la friction du patin sur la couche aqueuse. La chaleur produite par ce frottement ne suffit plus à faire fondre celle-ci. Elle devient solide. D'ailleurs, des chercheurs travaillant dans les régions polaires l'ont constaté : lorsque les températures avoisinent les -50 °C, le ski devient alors aussi difficile à pratiquer que sur une piste de sable. Sportif! □

# ... une **bougie** s'éteint lorsqu'on **souffle dessus**, alors que l'air attise **les flammes**

**S**elon la légende, ce sont les Grecs qui eurent les premiers l'idée de poser des bougies sur un gâteau, donnant naissance à la coutume que nous perpétuons à chaque anniversaire : celle d'essayer d'éteindre toutes les flammes d'un seul souffle dans l'espoir que notre vœu formulé à cet instant se réalisera. Mais, lorsqu'on y réfléchit, il est tout de même surprenant d'arriver à éteindre une bougie en soufflant dessus.

Normalement, projeter de l'air sur une flamme l'attise. Une bourrasque de vent peut déclencher un incendie de forêt, et trois coups de soufflet ranimer un feu de cheminée mourant. Qu'est-ce qui est différent dans le cas d'une flamme de bougie ? Rien, d'un point de vue théorique. Pour brûler, tout feu requiert trois ingrédients : un combustible, de l'oxygène et de la chaleur. Le combustible peut être du papier, du bois, de la cire, de l'essence ou encore du gaz naturel. L'oxygène, lui, entre en jeu parce que la combustion est une réaction chimique au cours de laquelle ses atomes, présents dans l'air, se mélangent à ceux du carbone issus de la substance en train de brûler et forment ainsi du dioxyde de carbone. Enfin, pour que ce processus puisse se déclencher, le combustible doit être impérativement très chaud, avoir atteint son point d'inflammation, grâce à une étincelle par exemple.

Une fois allumé, le feu lui-même produit de la chaleur. Ce qui est absolument nécessaire, car les flammes ne se nourrissent pas du combustible, qu'il soit liquide ou solide, mais des gaz qui s'en échappent. Or un combustible émet d'autant plus de gaz que sa température est élevée.

Revenons à notre bougie : il est donc indispensable que, dans un premier temps, pour l'allumer, nous commençons par produire de la chaleur grâce à une allumette ou un briquet. Cette température fait fondre la cire, qui monte le long de la mèche par capillarité. Elle devient de plus en plus chaude, se transforme en vapeur, puis en flamme. Sous l'effet de la chaleur dégagée par cette combustion, la cire à la base de la mèche devient liquide à son tour. Puis, monte le long des fibres de coton, se vaporise, s'enflamme, produit de la chaleur, perpétuant le cycle.

Donc, on le voit bien, ce n'est pas seulement la mèche qui brûle, mais ce petit nuage qui l'entoure et qui est composé de vapeurs de cire inflammables. Il s'embrase réellement dans la zone située à la périphérie de la flamme, là où la température peut s'élever jusqu'à 1 400 °C. Si, maintenant, on souffle sur la bougie, on interrompt immédiatement le processus de combustion pour deux raisons. La première ? La force de l'expiration balaie les vapeurs de cire. Elles s'éloignent de la mèche. Le feu est séparé de son combustible. Puisqu'il n'est plus alimenté, il s'éteint. La seconde ? La disparition de la flamme fait chuter la température dans l'environnement immédiat de la mèche : les vapeurs de cire ne peuvent plus se rallumer. Elles se transforment alors en fumée.

La flamme de la bougie a donc été privée de deux de ses ingrédients : le combustible et la chaleur. Mais pour éteindre un feu, il suffit d'en neutraliser un seul. Quand les pompiers lacent de l'eau sur une maison en flammes, ils cherchent surtout à refroidir le cœur de l'incendie pour que les gaz ne puissent plus alimenter la combustion. Les extincteurs, de leur côté, projettent souvent une matière, une mousse épaisse par exemple, qui, telle une couverture, se pose sur le brasier et le prive, entre autres, de sa source d'oxygène.

En théorie, il serait également possible d'éteindre des incendies en «soufflant dessus», comme sur une bougie. Mais cette technique ne fonctionnerait que si le souffle était suffisamment fort pour éloigner les flammes de leur foyer. Simon, ce serait la catastrophe : on les attiserait en leur fournitant de l'oxygène supplémentaire.

Les Américains ont d'ailleurs mis en application ce principe. En 1991, à la fin de la première guerre du Golfe, les soldats irakiens avaient incendié des centaines de puits de pétrole au Koweït. La situation était si urgente que les experts, pour éteindre les feux, eurent recours à une méthode radicale : le lancement d'explosifs le plus près possible des flammes. Les ondes de choc provoquées par les déflagrations étaient tellement puissantes que les puits enflammés s'éteignaient immédiatement. Soufflés comme de simples bougies.

Tout feu requiert 3 éléments : un combustible, de la chaleur et de l'oxygène



Les volutes de fumée âcre qui  
s'échappent de la mèche éteinte sont  
des vapeurs de cire trop froides  
pour pouvoir continuer à s'enflammer.

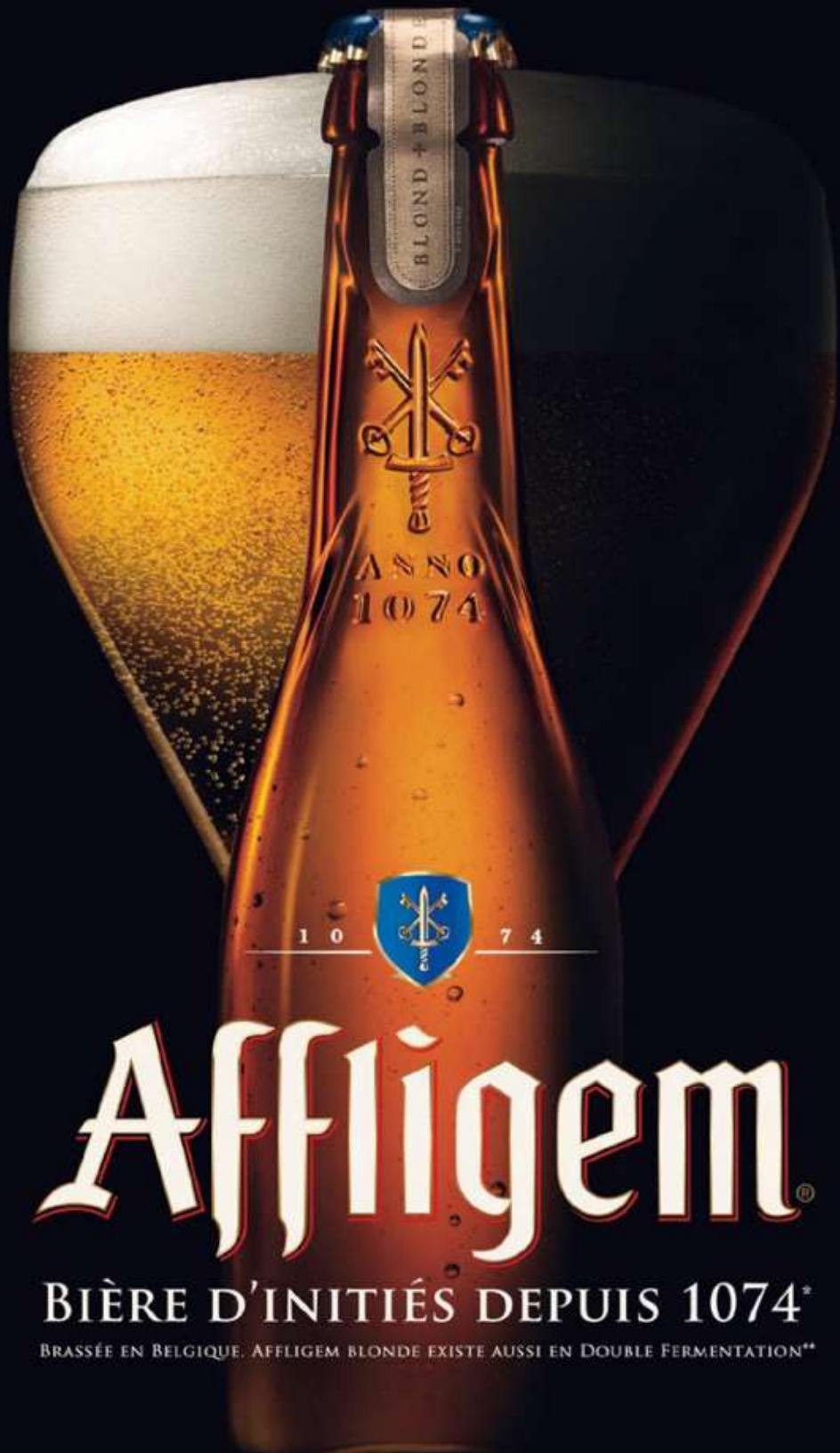
POURQUOI...

# ... l'électricité **est mortelle à 220 volts**, mais pas à 10 000



Le courant alternatif des prises électriques est très dangereux:  
il perturbe la marche du cœur et des cellules nerveuses.

Lyn Brook



# Affligem®

BIÈRE D'INITIÉS DEPUIS 1074\*

BRASSÉE EN BELGIQUE. AFFLIGEM BLONDE EXISTE AUSSI EN DOUBLE FERMENTATION\*\*

\*Depuis 1000 ans, la recette de la bière Affligem est transmise par les moines de l'Abbaye à nos maîtres brasseurs, gage de sa haute qualité. \*\*Disponible uniquement en CHR.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

# ...l'or est si rare

**R**ien ne semblait pouvoir calmer l'appétit de Midas, monarque de Phrygie, pour son métal favori : l'or. Finalement, Dionysos, le dieu de tous les excès, lui conféra un pouvoir unique : celui de transformer en or tout ce qu'il touchait. Midas allait désormais pouvoir régner sur ce métal brillant, convoité par l'homme depuis la fin du néolithique.

Mais pourquoi l'or est-il si recherché ? Déjà, il est extrêmement résistant et facile à travailler : 1,5 kilogramme de ce matériau souple suffirait à un orfèvre très doué pour créer un fil assez long pour faire le tour de la Terre. Ensuite parce qu'il ne perd jamais son éclat unique. Enfin, et surtout... parce qu'il est l'une des matières les plus rares au monde.

Il faut de gigantesques efforts pour extraire une infime quantité de ce métal : 1 000 tonnes de roche ne contiennent guère plus de 4 grammes d'or. Et le traitement du minerai est particulièrement pénible et nécessite l'injection de produits chimiques agressifs, pour en extraire l'or pur.

Pour comprendre pourquoi ce métal est si rare, il faut remonter 13,7 milliards d'années en arrière. En ces temps où le big bang donna naissance à notre Univers et aux trois premiers éléments chimiques, les plus légers qui soient : l'hydrogène, l'hélium et le lithium. Environ 100 millions d'années plus tard, se sont formées les premières étoiles. A l'intérieur de ces astres, la force de gravité exerçait une pression telle qu'une réaction physique puissante s'est déclenchée. Les noyaux des atomes d'hydrogène ont fusionné et fini par former un nouvel élément. Dont les atomes, soumis à la même forte pression, ont eux-mêmes fusionné et donné à leur tour naissance à de nouveaux éléments. De fusion en fusion sont ainsi apparus de nouveaux atomes aux noyaux de plus en plus complexes, et donc de plus en plus lourds. Parmi eux le carbone, l'oxygène, le magnésium, le silicium et, finalement, le fer.

Ce métal précieux est né d'un cataclysme spatial presque aussi vieux que l'Univers

A ce stade, la fusion s'arrêta. Le noyau des atomes de fer était trop lourd pour que ce métal soit transformé en un nouvel élément dans le cœur des étoiles. Mais plus cet élément s'accumulait dans les astres, plus la pression de la gravité en leur centre était forte. Au point que ces étoiles finirent par s'effondrer soudain sous leur propre poids, propulsant la plupart de leur matière dans l'espace. N'en sont restées que des masses extrêmement compactes que l'on nomme «étoiles à neutrons». Des fantômes d'astre si denses que leur masse équivaut à une fois et demie celle du Soleil... comprimée en une boule dont le diamètre correspond à celui d'une petite ville. C'est de ces étoiles à neutrons que l'or est apparu. En effet, depuis la naissance de l'Univers, il arrive de temps à autre que deux d'entre elles entrent en collision et se transforment en fours dont la puissance n'a pas d'équivalent : la température lors de la fusion y dépasse les 10 milliards de degrés. Condition indispensable à la poursuite de la fusion, et à l'apparition d'éléments encore plus lourds que le fer, tels que l'iridium, le platine et l'or. Qui ont été ensuite transportés via des météorites sur d'autres astres, comme la Terre.

Cependant, la probabilité d'une collision entre deux étoiles à neutrons est assez faible.

Dans la Voie lactée, par exemple, qui regroupe plus de 100 milliards d'étoiles et à laquelle appartient notre Soleil, cela ne se produit vraisemblablement qu'une fois tous les 100 000 ans. Voilà pourquoi l'or est nettement plus rare que d'autres éléments. Selon les calculs des physiciens, la quantité d'or présente dans notre système solaire correspond exactement à la fréquence supposée de collisions entre étoiles à neutrons depuis les origines du cosmos.

L'éclat incomparable d'une bague, de pièces ou de lingots témoigne ainsi de phénomènes naturels rares et très violents. Nous aussi, plus discrètement car notre corps contient environ 0,0002 gramme d'or. □

Les particularités de l'or ? Une résistance extrême, une malléabilité sans pareille et une origine céleste.

# ...rien ne va plus vite que la lumière

**L**ongtemps on a cru que la vitesse de la lumière était trop grande pour être mesurée. On pensait qu'elle passait instantanément d'un point A à un point B. Notre quotidien confirme d'ailleurs cette impression : quand, le soir, on allume une lampe dans son salon, la pièce se remplit tout de suite de lumière. Mais, au XVII<sup>e</sup> siècle, certains scientifiques, notamment l'astronome danois Ole Rømer, commencèrent à réaliser des calculs mathématiques très complexes pour évaluer le déplacement des planètes. Cela leur permit de démontrer que la lumière se déplaçait à une vitesse certes considérable, mais mesurable.

Il est même devenu extrêmement facile de la mesurer depuis que les astronautes des différentes missions Apollo ont installé sur la Lune des réflecteurs : quand, depuis la Terre, on dirige vers ces derniers un laser puissant, on constate que le faisceau met 2,5 secondes pour atteindre notre satellite naturel, rebondir sur les réflecteurs et revenir à son point de départ. De plus, les techniques de mesure les plus récentes ont permis de calculer très précisément la vitesse de la lumière : on sait ainsi que, dans le vide, un rayon parcourt 299 792,458 kilomètres en une seconde, soit 7,5 fois le périmètre de la Terre.

Rien dans l'Univers ne va plus vite. Mieux encore : rien dans l'Univers ne peut aller plus vite. C'était en tout cas ce qu'affirmait Albert Einstein lorsqu'il développa, au début du XX<sup>e</sup> siècle, sa fameuse théorie de la relativité restreinte. Selon cette théorie, tout

objet voit sa masse d'inertie (qui mesure sa résistance au changement de vitesse) augmenter quand il se déplace très vite. Admettons qu'on lance une balle de 55 grammes dans l'Univers et qu'elle atteigne la vitesse de 500 000 000 km/h, sa masse serait de 62 grammes. A environ 1 000 000 000 km/h, elle ferait 146 grammes, et près de 2,5 kilogrammes à une vitesse de 1 079 000 000 km/h, ce qui correspond à environ 99,98 % de la vitesse de la lumière. Ensuite, plus sa vitesse s'approcherait de celle de la lumière, plus la masse augmenterait rapidement : à 99,999 999 9 %, elle serait de 1,2 tonne.

Les **photons** n'ont pas de masse, voilà pourquoi ils peuvent aller

aussi vite

Ainsi, si on voulait la faire aller encore plus vite, on aurait besoin d'une force proprement gigantesque. Car plus la balle va vite, plus sa masse augmente, plus donc l'effort nécessaire pour la faire accélérer est important. C'est pourquoi la vitesse que peut atteindre un corps matériel ne dépassera jamais une certaine limite. Pour le confirmer, on essaya de faire se déplacer des électrons le plus vite possible. Même ces particules infiniment légères ne purent atteindre la vitesse de la lumière : ils circulèrent à 99,999 999 995 % de celle-ci. Les photons, eux, qui composent la lumière, ne possèdent pas de masse. Celle-ci ne peut donc pas augmenter. Et leur vitesse est la plus grande qui puisse exister.

Les astronomes pensent que la lumière n'a pas changé depuis la naissance de l'Univers. Mais pourquoi sa vitesse de déplacement s'est-elle fixée à presque 300 000 km/s, et non à 100 000 ou à 600 000 km/s ? Cela, ils ne peuvent pas encore l'expliquer. □

La lumière des étoiles parcourt

299 792,458 kilomètres en une seconde.

# ...il y a des saisons



**P**endant que l'Europe du Nord passe Noël sous la neige, les Néo-Zélandais se prélassent à la plage. Mais, à la fin du mois de juin, alors que la saison de ski commence dans presque toute la Nouvelle-Zélande, l'été pousse les Européens du Nord vers les bords de mer et les terrasses de café. Dans de nombreuses régions du monde, le temps et la végétation changent radicalement quatre fois au cours de l'année, marquant ce qu'on appelle les «saisons». En plein été, le thermomètre y avoisine régulièrement les 30 °C, et en hiver le mercure peut plonger vers les températures négatives. Mais lorsque l'hémisphère Nord est baigné de chaleur, l'hémisphère Sud, lui, frissonne. Et inversement.

Ces phénomènes s'expliquent par la double rotation de notre planète dans l'espace. En effet, elle tourne à la fois sur son axe – ce qui provoque l'alternance des jours et des nuits – et autour du Soleil. C'est la conjonction de ces deux facteurs qui génère les saisons. Mais aussi le fait que, lorsqu'elle effectue ces deux mouvements, la Terre est penchée. Pour simplifier, on peut imaginer deux lignes : l'équateur et la trajectoire que suit la planète dans l'espace (son orbite). Au lieu de se superposer,

ces deux lignes forment un angle d'environ 23 degrés. Précision utile : la Terre conserve la même inclinaison tout au long de sa course autour du Soleil (son axe est toujours orienté en direction de l'étoile Polaire). On peut donc la comparer à une toupie légèrement inclinée qui tournerait à la fois sur elle-même et autour d'une grosse orange pendant 365 jours, 6 heures et 9 minutes.

Parce que l'axe de rotation terrestre reste toujours le même, l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud sont tour à tour davantage exposés au Soleil pendant

six mois. Durant cette demi-année, l'hémisphère en question est éclairé plus longtemps pendant la journée. De surcroît, les rayons qu'il reçoit tombent plus verticalement et ont donc une couche d'atmosphère moins grande à traverser... la température augmente.

Mais pour quelle raison le Soleil est-il plus chaud lorsqu'il se trouve plus haut dans le ciel ? Parce qu'il fonctionne comme un énorme projecteur. Lorsqu'on positionne une source lumineuse puissante juste en face d'un objet, elle en éclaire très fortement une petite surface. Et quand on la poste de biais, elle éclaire une surface plus grande, mais avec moins d'intensité.

Si la Terre  
n'était pas  
légèrement penchée,  
il n'y aurait  
ni été ni hiver

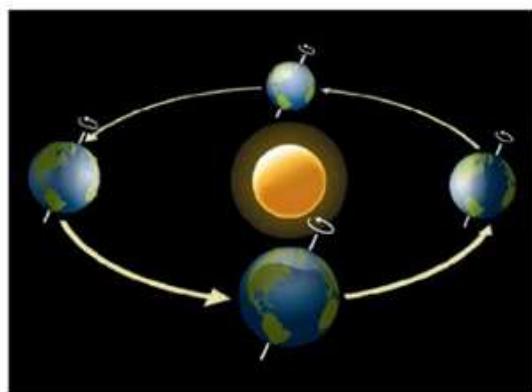


Le 21 juin, lorsque l'été commence dans l'hémisphère Nord, à midi, l'angle entre l'horizon et le Soleil est de 64 degrés à Paris. On dit alors que le Soleil est à son zénith. Le 21 décembre, en revanche, l'angle s'est considérablement réduit : il ne mesure plus que 17 degrés. La longueur des journées évolue aussi de manière très significative : le 21 juin 2014, toujours à

Paris, le soleil se lèvera à 5 h 49 et se couchera à 21 h 56 (ce qui fera une journée de 16 h 07). Mais le 21 décembre, il faudra attendre 8 h 42 pour voir le jour se lever, alors que la nuit tombera dès 16 h 54. La situation est strictement inverse dans l'hémisphère Sud : à Wellington, en Nouvelle-Zélande, la journée de Noël dure environ quinze heures, alors qu'une journée de juin dépasse à peine neuf heures.

C'est aux pôles Nord et Sud que la révolution de la Terre autour du Soleil a l'effet le plus impressionnant : là-bas, en été, la nuit ne tombe jamais, et, en hiver, c'est le jour qui ne se lève jamais. Au pôle Nord, ce qu'on appelle le «jour polaire» dure onze semaines, de la mi-mai à la fin juillet. Quant à la «nuit polaire», elle commence à la mi-novembre et ne se termine que dans le dernier tiers de janvier.

Certaines régions sur la Terre ne semblent pas concernées par l'alternance des saisons : celles qui sont proches de l'équateur. En effet, quelle que soit l'époque de l'année, le jour et la nuit y durent toujours approximativement douze heures. Et, à midi les rayons du Soleil y tombent toujours presque à la verticale – l'angle qu'ils forment avec l'horizon varie toutefois selon les mois, entre 70 et 110 degrés. C'est pour cette raison que, à Nairobi, au Kenya, la température diurne reste presque stable et estivale toute l'année : soit 23 °C en moyenne. □



#### UNE INCLINAISON CRUCIALE

La Terre tourne autour du Soleil en gardant le même axe d'inclinaison. L'hémisphère Nord (à gauche) puis Sud (à droite) sont tour à tour orientés dans sa direction : celui qui lui fait face est en été, l'autre est en hiver.

# ...l'eau bout plus vite au sommet des montagnes

**C**eux qui s'intéressent un tant soit peu à la physique ainsi que les amateurs de pâtes al dente savent tous que l'eau atteint son point d'ébullition à 100 °C. Sauf que ce n'est pas toujours vrai : lorsqu'on emporte une casserole en haute montagne et qu'on la pose sur un réchaud pour y faire bouillir de l'eau, il ne faut pas attendre qu'elle atteigne cette température pour la voir frémir. Au sommet du mont Blanc, à 4 810 mètres d'altitude, elle entrera en ébullition à seulement 85 °C. Car, en réalité, ce principe des 100 °C n'est valable que si on se situe au niveau de la mer.

Ceci s'explique par la façon dont l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux. Commençons par nous intéresser à la structure de ses molécules : une goutte d'eau de quatre millimètres de diamètre contient au moins 1,67 trilliard de molécules (soit  $1,67 \times 10^{21}$ ). Chacune se compose de deux atomes d'hydrogène (H) et d'un atome d'oxygène (O), ce qui se transcrit par la formule chimique H<sub>2</sub>O.

Les atomes sont liés les uns aux autres par de petites particules dont la charge est négative : les électrons. Ceux-ci oscillent entre les noyaux des atomes, qui les attirent parce que leur charge est positive. Mais le mouvement de va-et-vient des électrons n'est pas tout à fait équilibré : ils circulent plus près des noyaux des atomes d'oxygène que de ceux des atomes d'hydrogène.

Ce décalage a pour conséquence qu'une molécule d'eau possède deux pôles électriques : l'un positif, l'autre négatif. Les charges positives attirant les négatives, les molécules H<sub>2</sub>O se « collent » donc les unes aux autres comme des aimants. Mais cette force d'attraction ne suffit pas pour autant à rendre leurs liaisons durables. Elles ne cessent de se séparer, de se déplacer lentement, puis de s'attacher à d'autres molécules H<sub>2</sub>O. Ce ballet incessant explique pourquoi l'eau est fluide, c'est-à-dire qu'elle peut prendre n'importe quelle forme. En bref, pourquoi elle est liquide.

Mais quand on la chauffe, ses molécules qui reçoivent davantage d'énergie se meuvent de plus en plus vite et restent de moins en moins longtemps attachées les unes aux autres. Et elles finissent par atteindre une vitesse si grande qu'elles n'arrivent même plus à s'accrocher les unes aux autres : c'est ce qu'on appelle le point d'ébullition, le moment durant lequel le liquide se transforme en gaz.

Dans l'eau bouillante, le gaz forme de petites bulles, monte à la surface et se répand dans l'air. Le moment où la température d'ébullition est atteinte, c'est-à-dire celui où les molécules ont suffisamment d'énergie pour quitter l'état liquide, dépend aussi de la pression qu'exerce l'air sur la surface du liquide. Ce que les physiciens appellent la « pression atmosphérique ».

A zéro mètre d'altitude, soit au niveau de la mer, environ 10 tonnes d'air reposent sur chaque mètre carré de la surface terrestre. Une sacrée pression !

Le phénomène est dû à la force de gravitation de la Terre qui attire les molécules d'air vers elle. Mais, plus on monte en altitude, moins la force d'attraction est grande, et moins il y a de molécules de gaz dans l'air. Bref, plus on grimpe en altitude, plus la pression atmosphérique est faible. Et du coup, les molécules de gaz qui veulent s'échapper d'un liquide peuvent le faire plus facilement.

Conclusion : l'eau ne se met à bouillir que lorsque la poussée exercée vers le haut par les gaz qu'elle contient est supérieure à la pression exercée vers le bas par l'atmosphère. Or, au sommet

du mont Blanc, la pression atmosphérique est réduite de moitié par rapport au niveau de la mer. Les molécules de gaz ont donc besoin de moins d'énergie pour se libérer de leur lien avec les molécules liquides : la pression de la vapeur dépasse la pression atmosphérique aux environs de

85 °C. C'est donc à cette température que commence l'ébullition.

Avis aux alpinistes affamés : sur le mont Everest, dans l'Himalaya, à 8 848 mètres d'altitude, l'eau devient vapeur dès 70 °C. Et comme le blanc d'œuf ne se solidifie qu'à partir de 84,5 °C, il est donc impossible de se faire cuire un œuf dur sur le plus haut sommet de la planète. □



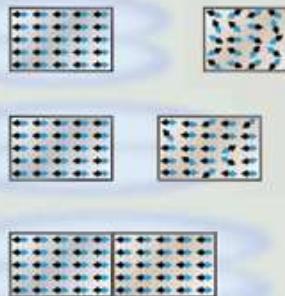
Ces alpinistes sur le mont Roraima, en Amérique du Sud, n'ont pas à attendre que leur eau soit à 100 °C pour entrer en ébullition, et cuire leur repas.

# ...un AIMANT attire le FER

**O**n peut le passer sur du bois, du verre ou de l'or, lui faire frôler du papier, de la pierre ou du plastique, rien ne se passera. Mais à peine approche-t-on un aimant d'un objet en fer qu'une force invisible se déploie. Les deux objets s'attirent et restent parfois si fermement collés l'un à l'autre que l'on a toutes les peines du monde à les séparer.

L'attraction qu'exercent ces deux matières l'une pour l'autre peut sembler insolite aux profanes que nous sommes, mais pour les scientifiques, elle est clairement expliquée par un principe physique : l'électromagnétisme. Celui-ci s'applique à une échelle microscopique, celle des atomes, qui sont les plus petits grains indissolubles de la matière. Autour du noyau des atomes se meuvent des particules élémentaires chargées en électricité, les électrons. Et chacune de ces particules produit un champ de force magnétique.

Dans de nombreux matériaux comme le magnésium, le sodium, l'aluminium ou le fer, les électrons et leur champ de force sont disposés de telle manière que tous les atomes, comme des aimants miniatures, disposent d'un pôle sud et d'un pôle nord. Or quand deux aimants se trouvent à proximité l'un de l'autre, ils s'influencent : si leur pôle sud et leur pôle nord se font face, ils s'attirent ; si ce sont deux pôles identiques qui se rencontrent, alors les aimants se repoussent.



## ATTRACTION

Si un morceau de fer (à droite) est rapproché d'un aimant (à gauche), les aimants miniatures qui se trouvent dans le fer s'orientent vers le champ de force du grand aimant. Le fer devient un aimant à son tour et les deux objets s'attirent.

Tous les matériaux peuvent être influencés par des champs magnétiques

Puisque dans la plupart des matières, les atomes sont orientés dans toutes les directions possibles, leurs forces d'attraction et de répulsion se compensent. Ainsi, quand on les considère dans leur globalité, un morceau de magnésium ou un morceau de sodium ne semblent pas posséder de force magnétique. Un morceau de fer, non plus. Mais, les atomes de fer ont, eux, une caractéristique bien particulière, qui conduit à un phénomène étonnant : ils se « suivent ». Lorsqu'on présente un aimant près de ce métal, ses aimants miniatures s'orientent peu à peu en direction du grand aimant. Puis, quand ils sont finalement tous positionnés dans le même sens, leurs minuscules champs magnétiques s'additionnent. Le morceau de fer, qui jusque-là était neutre, devient lui-même un aimant. En raison de leur force d'attraction, les deux objets restent collés l'un à l'autre. Quand ils ont été en contact avec un aimant très puissant, les atomes de certains morceaux de fer conservent leur orientation. L'objet garde alors son champ magnétique, même après avoir été séparé de l'aimant. Les ingénieurs utilisent cette « aimantation permanente » pour produire les aimants que l'on trouve dans le commerce. Peu d'éléments possèdent les mêmes caractéristiques que le fer. Le cobalt et le nickel font partie de cette classe restreinte de matériaux qui peuvent être aimantés. Dans d'autres métaux, les atomes se comportent aussi comme de minuscules aimants, mais ils ne s'alignent pas facilement pour constituer de grands ensembles. C'est le cas du sodium, du magnésium et de l'aluminium qui, pour cette raison, ne peuvent être attirés que par des aimants extrêmement puissants.

En réalité, même les matériaux dont les atomes n'ont pas d'aimants miniatures peuvent être influencés par des champs magnétiques très intenses. Cependant, ils sont non pas attirés, mais repoussés par ces champs (les aimants les plus puissants peuvent même avoir un effet sur l'eau). Des chercheurs néerlandais ont réussi, il y a quelques années, à démontrer l'existence de ce phénomène d'une manière spectaculaire grâce à un appareil particulièrement sophistiqué qui abritait l'un des aimants les plus puissants du monde. Son champ de force était si intense qu'il était capable de faire s'élever toutes sortes d'objets au mépris de la gravité et de les maintenir en l'air : des fraises, des noix... et même une petite grenouille !

Le courant électrique de l'électroaimant utilisé dans cette décharge crée un champ magnétique bien pratique pour le tri.



POURQUOI...

# ... on peut retirer une **nappe** d'un coup sec sans rien faire **tomber**

**L**'histoire est classique, et se termine toujours de la même façon : un sol jonché de débris de verre et de porcelaine. Un enfant un peu turbulent se balance sur sa chaise. Il bascule en arrière. Et, en essayant de se retenir à quelque chose, agrippe la nappe puis entraîne dans sa chute les assiettes à soupe, le pain et les verres. Un illusionniste, lui, n'aurait eu aucun mal à retirer la nappe sans rien casser. La vaisselle aurait à peine bougé de quelques millimètres. Il aurait «seulement» tiré sur l'étoffe d'un coup sec.

Comment donc expliquer que, dans un cas, ce qui se trouvait sur la table reste intact et que, dans l'autre, tout finisse à la poubelle ? Savoir retirer une nappe d'une table dressée sans provoquer

d'accident est une question de dosage, un subtil mélange entre force et vitesse d'exécution. Les illusionnistes ne font que profiter d'un principe connu en physique sous le nom d'«inertie».

L'inertie d'un corps est sa résistance à une variation de vitesse. Pour faire simple : s'il est à l'arrêt, il n'a pas tendance à bouger et, inversement, s'il est en mouvement, il n'a pas tendance à s'arrêter. Dans le cas d'un objet statique, comme un verre sur une table, l'inertie ne se manifeste donc que lorsqu'on essaie de le déplacer. Mais un verre ne bouge pas à l'instant même où on le touche, il le fait seulement lorsque la force qu'on exerce



Difficile de retirer cette étoffe sans casse ?  
Certainement ! Mais pas impossible.  
L'exploit a été réalisé  
sur une nappe de 100 m<sup>2</sup>, par une voiture.



sur lui dépasse un certain seuil, qui dépend directement de la quantité d'inertie de l'objet en question. L'intensité de la force nécessaire pour dépasser ce seuil, donc pour faire bouger un objet, dépend en fait de deux facteurs.

D'une part, de la masse de l'objet : plus il est lourd, plus il est soumis à la force de gravité de la Terre, et plus son inertie est importante. D'autre part, des «frottements» : la surface des corps solides n'est jamais tout à fait lisse. En effet, même les surfaces parfaitement polies ressemblent à une

La rapidité du geste dépend du **poids** de la vaisselle, mais aussi de la **surface** de la table et de l'étoffe

succession de cratères quand on les regarde au microscope. C'est pourquoi deux surfaces, lorsqu'elles entrent en contact, achoppent forcément l'une sur l'autre – ne serait-ce que très légèrement. Les «frottements» apparaissent donc dès que deux corps se touchent, qu'ils soient en mouvement ou non.

Pour revenir à la mésaventure survenue à l'enfant, comme il a tiré la nappe lentement, une partie de la force qu'il a exercée s'est transmise à la vaisselle parce que, justement, les dessous des assiettes ou des verres et la surface de la nappe étaient «accrochés» les uns à l'autre par les forces

de frottement. Au moment où la traction qu'il a déployée a été suffisamment forte pour vaincre l'inertie de la vaisselle, celle-ci s'est mise à bouger : elle a suivi la nappe.

Le geste de l'illusionniste, en revanche, est très sec, et si rapide qu'il ne laisse pas le temps aux objets de vaincre leur inertie et de se mettre eux aussi en mouvement. La nappe glisse à toute allure sous la vaisselle qui reste à sa place. Les illusionnistes le savent, on ne s'entraîne pas sans casse : il faut plusieurs essais avant d'adapter la rapidité du geste au poids de la vaisselle, mais aussi au caractère plus ou moins lisse de la table et glissant de la nappe.

Une fois rodé, ce tour fonctionne d'ailleurs aussi avec un très grand tissu. Une équipe de télévision a ainsi recouvert une table géante d'une nappe de 100 m<sup>2</sup> et y a installé des dizaines d'assiettes, tasses, soucoupes, théières, verres, et même quelques pommes. L'un des pans de la nappe fut accroché à une corde de 180 mètres de long. Celle-ci fut enroulée, posée à terre et son autre extrémité fixée à une voiture de course. Le bolide démarra en trombe et dépassa rapidement 100 km/h. La corde se déroula, se tendit d'un coup et emporta la nappe géante qui glissa en un clin d'œil sous la vaisselle. Pas une tasse ne fut ébréchée. □

# ... il y a des embouteillages même sur une autoroute

**E**n août 2010, sur l'un des axes les plus fréquentés entre la Mongolie et Pékin, on a vu se former un bouchon absolument gigantesque. Sur 100 kilomètres de distance, les voitures sont restées quasiment à l'arrêt pendant presque onze jours. Puis, comme par enchantement, l'embouteillage a disparu.

Les automobilistes français connaissent eux aussi ce sentiment d'impuissance et l'exaspération que l'on éprouve quand on est pris dans un bouchon. Nous passons en moyenne trente-cinq heures par an dans les embouteillages. Calvaire qui monte à cinquante-cinq heures dans Paris intra-muros et à soixante-dix-sept heures pour les Franciliens qui doivent emprunter le périphérique intérieur entre la porte d'Orléans et la porte de Saint-Cloud, l'axe le plus embouteillé de France. Le plus rageant est que, quand la circulation finit par reprendre, l'origine du problème reste souvent mystérieuse : pas de travaux, pas d'accident, pas de voie fermée. On ne saurait dire pourquoi le trafic s'est arrêté. Ni pourquoi il reprend tout d'un coup. D'où viennent donc ces embouteillages sortis de nulle part ?

Depuis quelques années, on s'est aperçu que la physique pouvait être une aide précieuse pour comprendre ce phénomène. Quand la circulation est dense, la prise de décision ne réside plus au niveau de l'individu. Certes, chaque automobiliste se comporte différemment : sa vitesse de réaction et son appréciation de la bonne distance de sécurité lui sont propres. Mais il est aussi dépendant du véhicule qui est devant lui. Du moins pour deux choses : la vitesse maximum à laquelle il peut rouler, et l'instant où il est obligé de freiner pour éviter une collision. Quand on les regarde, non pas comme des objets isolés en mouvement, mais comme parties d'un ensemble, les voitures sont donc comparables à un flux de particules de matière similaires. Elles leur ressemblent tellement qu'on arrive à expliquer les ralentissements en utilisant des modèles mathématiques provenant de la mécanique des fluides. De nombreux physiciens utilisent des expressions relevant des sciences dures pour décrire le trafic routier : « fluide », « paralysie », « phase intermédiaire instable ». Pour qu'un trafic reste fluide, il faut que, chaque heure, circulent au grand maximum 1 800 véhicules par voie. Les écarts entre eux sont alors assez grands pour que tout automobiliste puisse



donner un léger coup d'accélérateur ou de frein sans gêner les autres. Mais il est fréquent qu'il y ait 2 200 voitures à l'heure, voire plus, sur chaque voie. Dans ce cas, les automobilistes roulent plus rapprochés les uns des autres et ils ont tendance à ralentir pour conserver une distance de sécurité suffisante.

Une circulation dense ne provoque pas nécessairement d'embouteillage. Dans un premier temps, le trafic continue d'être fluide. Il peut même rester très fluide tant que les automobilistes gardent une vitesse constante. La route est alors utilisée de façon optimale. Il n'en reste pas moins que, du point de vue d'un physicien, la circulation a alors atteint un « point critique » caractérisé

La mécanique des fluides aide à expliquer les bouchons



Pour qu'un trafic reste fluide, il ne faut pas que le nombre de véhicules dépasse 1800 par voie et par heure.

par son instabilité : la moindre perturbation peut bloquer le système tout entier. Il suffit qu'un automobiliste se déconcentre ne serait-ce qu'une fraction de seconde ou qu'il freine très légèrement pour provoquer un ralentissement général de la circulation. Car la voiture derrière lui est elle aussi obligée de ralentir. Et comme son conducteur réagit nécessairement avec un petit temps de retard, il freine souvent plus fort que son prédecesseur. Et ainsi de suite pour tous les véhicules qui suivent. On peut comparer ce phénomène à une onde de choc qui frapperait peu à peu toutes les voitures en progressant à rebours du sens de circulation. Généralement, elle aboutit à la paralysie totale du trafic. Situation que les scientifiques observent dans d'autres domaines. Les avalanches, par exemple :

ils étudient comment un skieur peut provoquer à lui tout seul la chute de plusieurs tonnes de neige.

Peut-on éviter les embouteillages qui se forment ainsi ? Théoriquement, oui. Pour que le trafic reste fluide malgré un grand nombre de véhicules, il faudrait non seulement que chaque conducteur roule à vitesse constante, mais aussi qu'il soit capable de réagir vite et surtout de façon mesurée aux légers changements de rythme qui surviennent parfois. Impossible ? Qui sait... L'hypothèse pourrait devenir réalité dans un futur proche, quand de plus en plus de véhicules seront équipés de systèmes de freinage et de maintien de la distance de sécurité, contrôlés par ordinateur. Bref, quand les voitures dépendront moins de leurs conducteurs... humains, donc faillibles. □

POURQUOI...

# ... on peut faire entrer autant d'air dans une bouteille de plongée

**H**heureux les plongeurs d'aujourd'hui qui ont le temps d'admirer les beautés sous-marines qui se dévoilent à leur passage : grâce à la réserve d'air qu'ils transportent sur leur dos dans des bouteilles en acier, ils peuvent rester sous l'eau plus d'une demi-heure. Ce qui est plutôt étonnant quand on y réfléchit. Les bouteilles standard font à peine 10 litres de volume. Or un homme consomme au moins un demi-litre d'air à chaque inspiration. Il en aspire donc 7,5 litres par minute, et ce même lorsqu'il est immobile. A ce train-là, la quantité présente dans les bouteilles de plongée ne suffirait même pas à garantir deux minutes d'exploration sous-marine.

En fait, si les plongeurs peuvent converser longtemps avec les poissons, c'est parce que l'air, qui est un mélange de gaz (d'azote et d'oxygène surtout), peut être compressé. Contrairement à l'eau. Qu'est-ce qui justifie cette disparité ? Les structures respectives de ces deux éléments. Comme toute matière, les gaz sont constitués de molécules. Mais ils ont une particularité : ces petites particules volettent librement, à distance les unes des autres. Rien ne les lie. C'est pourquoi, d'ailleurs, un gaz n'a pas de forme définie : tant qu'on ne lui impose aucune limite, ses particules occupent tout l'espace qui est à leur disposition et se mêlent avec d'autres particules de gaz.

Dans le cas de l'atmosphère terrestre, la limite, c'est la force d'attraction exercée par notre planète qui l'impose : elle l'empêche de disparaître à jamais dans l'infini de l'Univers. La gravité retient les particules atmosphériques près de la Terre avec suffisamment de force pour qu'elles se constituent en



Face-à-face impressionnant entre un plongeur et une raie. Un exploit rendu possible grâce à une propriété de l'oxygène : il est compressible.



On peut faire entrer jusqu'à 200 litres d'air dans un récipient de 10 litres

une couche dense et uniforme. Dans un litre d'air volent ainsi pas moins de 24 trilliards de particules. Imaginez : le nombre 24 suivi de 21 zéros !

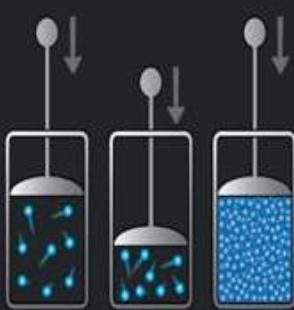
Pourtant, comparé à ce qui se passe dans les liquides, il y a, entre cette quantité phénoménale de molécules d'air, encore énormément de place. Dans un litre d'eau, on trouve en effet 33 quadrillons de particules, soit 1 300 fois plus que dans l'air.

Les molécules d'eau sont si proches qu'elles s'aiment les unes les autres. Elles peuvent, certes, changer de position à tout moment, mais elles restent toujours en contact (lire également pp. 50 et 74). Donc, contrairement aux molécules gazeuses présentes dans l'air, il reste très peu d'espace vide entre elles. Voici la raison pour laquelle il est pratiquement impossible de comprimer l'eau. Alors qu'une bouteille pleine d'air ambiant offre encore assez

de place pour accueillir des trillions de molécules de gaz supplémentaires.

Cependant, les faire entrer requiert une certaine force. Car ces molécules se déplacent à très grande vitesse, et plus on les presse, plus elles s'entrechoquent ou viennent se heurter aux parois du récipient. L'agitation à l'intérieur du contenant devient vite tellement incroyable qu'on a besoin d'une très grande pression pour en faire entrer d'autres encore.

Dans le cas d'une plongée sous-marine classique, il faut une pression de 200 bars pour faire pénétrer dans la bouteille la quantité nécessaire d'oxygène, ce qui correspond à 200 fois la pression atmosphérique normale. Mais, ainsi, on peut faire entrer dans une bouteille de 10 litres jusqu'à 2 000 litres d'air, soit environ 50 quadrillons de molécules d'air. Assez pour rester, dans des conditions normales de plongée, plus d'une demi-heure sous l'eau. □



#### FAITES PLACE

Contrairement aux molécules de gaz (à gauche), il n'y a presque pas de place libre entre les molécules d'eau (à droite). On peut donc comprimer l'air (au centre), pas l'eau.

# ...on peut commander un écran tactile avec un cornichon mais pas quand on porte des gants

**I**l y a quelques années, cela semblait magique. Aujourd'hui, on n'y prête même plus attention. On touche l'écran d'un smartphone ou d'une tablette et un message apparaît. On fait glisser son doigt dessus et des photos défilent. On écarte le pouce et l'index : l'image s'agrandit comme par enchantement. L'écran tactile a révolutionné la façon dont nous nous servons des appareils électroniques. Et, dans certains cas, c'est même lui qui a permis leur apparition.

Mais comment se fait-il qu'un écran rigide, qu'il soit de verre ou de plastique, puisse réagir au moindre contact avec une telle sensibilité ? Il n'est pourtant pas conducteur d'électricité, ne se déforme pas sous la pression exercée par notre doigt et sa surface n'est équipée d'aucun capteur ou bouton. Et pourquoi, à l'inverse, presque aucun modèle ne réagit quand on s'en sert avec des gants, l'hiver dans la rue ?

Ces écrans sont capables de déterminer la position du doigt avec une précision extrême, principalement grâce à

un réseau de plusieurs centaines de capteurs positionnés juste sous la plaque de verre de l'écran. Ceux-ci s'étagent en plusieurs couches dont l'épaisseur ne dépasse jamais quelques millionièmes de millimètre et sont en oxyde d'indium-étain, un matériau à la fois transparent et conducteur d'électricité. Chacun de ces minuscules détecteurs possède une propriété simple, mais décisive : il est capable de stocker des charges électriques. La quantité qu'il garde en mémoire est décidée par un système électronique. Quand on touche la tablette à un endroit précis, on crée une perturbation électrique. Les capteurs concernés sont momentanément privés d'une partie de leurs charges, car celles-ci se trouvent aussitôt transférées aux doigts de l'utilisateur. Explication : ce système utilise la loi de Coulomb, un principe de physique selon lequel deux charges électriques au repos se repoussent ou s'attirent avec une certaine force. Chaque détecteur dégage ainsi un

Nos doigts privent les petits capteurs sous l'écran d'une partie de leur charge électrique



Cornichons, bananes ou saucisses ont la même conductivité que les tissus humains.

champ électrique qui traverse la plaque en verre de l'écran et arrive jusqu'à l'intérieur du doigt. Et comme les tissus humains possèdent eux aussi des particules chargées d'électricité, celles-ci se retrouvent liées au champ électrique des capteurs. La quantité de charges électriques dans les détecteurs se modifie. Ce qu'enregistre immédiatement le système de l'appareil. Il détecte que la

teneur en charges électriques a évolué à un endroit précis de l'écran et relaie l'information : « Là, il y a un doigt. » Bien sûr, toute l'opération se déroule en un clin d'œil : le déficit de charges dans les capteurs est localisé et mesuré 400 fois par seconde par le système électronique de la tablette ou du smartphone.

Les gants, quant à eux, sont fabriqués à partir de matières isolantes (c'est-à-dire dont les charges électriques ne peuvent se déplacer : laine de mouton, laine polaire...) Celles-ci n'ont donc pas d'effet sur les détecteurs de l'écran tactile. Certes,

un champ électrique est en principe capable de traverser un gant. Mais le doigt se trouve trop loin de la plaque de verre pour que la force d'attraction de ses charges électriques agisse sur les capteurs (et inversement). Les choses pourraient bientôt changer, car récemment, des ingénieurs ont mis au point un écran tactile capable de percevoir les signaux émis par les doigts à travers un gant.

En attendant, quand on porte des gants, pourquoi ne pas utiliser une banane, une carotte, un cornichon ou même une saucisse ? Les écrans tactiles fonctionnent parfaitement avec ces aliments, en fait très proches du doigt humain... au moins pour ce qui concerne la mobilité de leurs charges électriques. □

# ... on fait de la buée quand

**C**haque automne, c'est la même chose. Un matin, au moment où nous passons le pas de la porte, un fait que nous avions oublié depuis l'hiver dernier retient notre attention : de notre bouche sort un nuage de buée. D'où vient ce phénomène ? Et pourquoi le remarquons-nous seulement quand il fait froid ?

En réalité, cette buée relève d'une loi naturelle qui nous affecte aussi à grande échelle, puisque c'est elle qui détermine le temps qu'il fait, qui régit l'humidité de l'air et la formation des nuages. En voici l'explication : lorsque nous inspirons, l'air subit deux transformations. D'une part, il se réchauffe, car il entre dans un milieu à 37 °C. Et de l'autre, une fois dans les poumons, il se charge d'eau. En effet, les alvéoles pulmonaires possèdent des membranes extrêmement fines qui permettent à notre organisme d'assimiler l'oxygène présent dans l'air inspiré et, inversement, d'y décharger deux éléments qui ne sont pas consommés par le métabolisme : l'eau et le dioxyde de carbone. Et puisque dans notre corps l'air est chaud, les molécules d'eau ne s'y trouvent pas à l'état liquide, mais gazeux.

Lorsque la température extérieure est fraîche et que l'on expire, cet air se refroidit, et, avec lui, la vapeur d'eau. Or l'air possède une propriété physique très particulière : il ne peut contenir qu'une certaine quantité d'eau (sous forme gazeuse), qui croît avec la température. Plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'eau. À 0 °C, la limite est de 5 grammes de vapeur d'eau par mètre cube d'air. À 30 °C, elle est d'environ 30 g/m<sup>3</sup>.

Lorsque la teneur maximale est atteinte, l'air est saturé, et s'il se refroidit à ce moment-là, il expulse toute l'eau qu'il ne peut plus accueillir. Celle-ci passe alors de l'état gazeux à l'état liquide : elle se condense en minuscules gouttelettes flottant dans l'air, en cette

fameuse buée que nous remarquons lorsque le temps est frais. Dans un élément gazeux, les particules – ici, les molécules d'eau – possèdent énormément d'énergie : elles se déplacent dans toutes les directions, en allant très vite, et n'ont presque aucune action les unes sur les autres. Mais si elles perdent leur énergie, elles ne peuvent alors plus circuler en toute liberté, elles ralentissent et commencent à se heurter les unes aux autres : la matière passe à l'état liquide. C'est ce qui se produit sous l'effet du froid : les molécules d'eau ralentissent, se mettent à créer des liaisons entre elles, et finissent par former des gouttelettes. Ces minuscules loupes réfléchissent la lumière, ce qui les rend visibles à nos yeux, sous forme de buée.

Mais l'air expulsé par nos poumons ne se condense pas seulement à

cause de la température. Compte également la quantité de molécules d'eau déjà présentes dans l'atmosphère. Plus il y a d'humidité, plus il y a de chances que le seuil de saturation soit proche, et que

des microgouttes apparaissent. C'est la raison pour laquelle la buée apparaît par un matin de novembre frais et humide, mais pas par une belle journée d'hiver un peu fraîche et ensoleillée. Cependant, lorsqu'il fait vraiment très froid – par des températures en dessous de -10 °C –, elle se forme systématiquement. La moindre trace d'eau dans l'atmosphère se condense tellement vite qu'elle se transforme immédiatement en buée.

Ce principe détermine également le temps qu'il fait. L'air chaud qui se charge d'humidité au-dessus de la mer s'élève dans l'atmosphère. Puis il se rafraîchit, car les températures sont beaucoup plus basses en altitude. La vapeur d'eau qu'il contient se condense alors pour former une infinité de minuscules gouttes : des nuages apparaissent. □

La même loi agit sur l'humidité de l'air et la formation des nuages



# il fait froid



Par grand froid, l'air expulsé par les poumons, chargé d'eau, forme, en se refroidissant, des gouttelettes qui réfléchissent la lumière.

# ... il est plus facile de faire la vaisselle à L'EAU CHAUDE

**L**'eau est un solvant exceptionnel. Ses molécules sont capables d'assimiler les matières les plus diverses : sels, calcaire, sucres, protéines... Ce phénomène étonnant tient à la structure de la molécule  $H_2O$ , ou plutôt au fait qu'elle est polaire. C'est-à-dire que ses charges électriques sont réparties de façon asymétrique. Pour comprendre ceci, il faut imaginer son architecture qui est composée d'un atome d'hydrogène accroché à un atome d'oxygène, lui-même arrimé à un second atome d'hydrogène. Ce qui lui donne, sommairement, la forme d'un «V». Ses deux extrémités, c'est-à-dire la partie externe des atomes d'hydrogène, ont une charge positive, alors que sa pointe (l'atome d'oxygène) a une charge négative. Quand plusieurs molécules polaires se rencontrent, des forces électrostatiques entrent alors en jeu, et elles s'attirent ou se repoussent. C'est donc parce que les charges électriques de leurs pôles sont différentes que les molécules  $H_2O$  peuvent se lier à d'autres types de molécules polaires.

Lesquelles se trouvent partout dans la nature. Tous les sels, par exemple, sont constitués d'atomes chargés électrique-

ment (les ions). Lorsqu'un cristal de sel entre en contact avec de l'eau, les molécules  $H_2O$  viennent envelopper les ions du sel et les forcent à se séparer du cristal. Et peu à peu, les cristaux salins se dissolvent entièrement dans le liquide.

C'est cette particularité de l'eau qui en fait un agent de nettoyage tellement efficace car beaucoup de substances salissantes se composent de molécules polaires. Ce n'est donc pas un hasard si nous utilisons de l'eau pour nous laver, nettoyer le sol et faire la vaisselle ! Et nous le faisons de préférence avec de l'eau chaude. Ce qui, du point de vue de la

science, est une bonne stratégie. En effet, toutes les réactions chimiques et les phénomènes physiques qui ont pour théâtre un évier ont lieu beaucoup plus rapidement quand la température est élevée.

C'est l'agitation des molécules  $H_2O$  qui permet de mieux nettoyer tasses, casseroles et assiettes

La raison en est la suivante : plus l'eau chauffe, plus les molécules  $H_2O$  ont de l'énergie. L'intensité et la vitesse de leurs mouvements n'en sont que plus grandes. Lorsqu'on fait la vaisselle à l'eau chaude, cette énergie se transmet aux substances présentes sur les assiettes, les tasses ou les couverts. La saleté se détache bien plus vite que quand on utilise de l'eau froide, justement parce que le sucre ou les aliments brûlés qui collent

B. Pogore / Corbis

au fond de la casserole se dissolvent particulièrement bien dans l'eau chaude. Une température élevée permet même d'éliminer les substances qui ne sont pas solubles dans l'eau. Parmi elles, on trouve le beurre, l'huile ou encore la margarine. Des graisses qui se composent de grandes molécules dites apolaires, c'est-à-dire dont les charges électriques sont réparties de façon régulière. Parfois, en séchant, ces matières forment des amas poisseux que l'eau froide est incapable de faire partir. Mais dès que l'on utilise de l'eau





Huiles, beurre ou margarine s'éliminent mieux avec des tensioactifs (contenus dans le liquide vaisselle), des molécules capables de lier l'eau aux graisses.

chaude, les molécules de graisse reçoivent une partie de l'énergie due à la chaleur et se mettent à bouger de plus en plus vite. Bientôt, certaines graisses commencent à se disloquer en toutes petites gouttes. Elles deviennent fluides et peuvent dès lors être emportées par l'eau, même si elles ne se mélangent jamais à elle.

Souvent pourtant, les graisses résistent. Il faut alors une arme supplémentaire : le liquide vaisselle. Celui-ci possède un atout décisif : des molécules tout en longueur, les tensioactifs. Ces

molécules sont particulières parce que leurs deux extrémités ont une nature différente. L'une leur sert à entrer en contact avec les molécules de graisse. L'autre leur permet d'attirer les molécules d'eau. Le liquide vaisselle sert en quelque sorte d'intermédiaire entre la graisse et l'eau. Quand les molécules tensioactives rencontrent de la graisse, elles s'y fixent aussitôt. Et, peu à peu, de minuscules billes de graisse se détachent, enveloppées dans une couche de molécules tensioactives. La surface de cet amas

grasseux est formée par l'extrémité polaire de ces particules du liquide vaisselle semblables à de longs fils. Ainsi, la graisse offre une prise à l'eau, qui arrive alors à la décoller. Le principe physique décrit plus haut est valable ici aussi : plus l'eau est chaude, plus les molécules tensioactives se déplacent vite et plus elles sont efficaces. Pas besoin pour autant de prendre le risque de se brûler. Avec les produits détergents modernes, une eau à 40 °C suffit largement pour faire partir les graisses les plus coriaces. □

# ... nous ne sentons pas que la **Terre** file dans l'espace à plus de **100 000 km/h**

**A** vélo, nous réalisons à quelle vitesse nous pédalons grâce à l'air qui nous caresse le visage. A cheval, nous sentons l'élan de l'animal dans chacun de ses mouvements.

En voiture, l'accélération nous colle contre notre siège, les virages serrés nous projettent sur le côté et les freinages vers l'avant. Et, lorsque nous prenons le TGV, le paysage qui défile à travers la vitre nous montre que nous allons très vite.

Mais il existe un autre moyen de transport, que nous empruntons tous, tous les jours, et qui est plus rapide qu'un avion ou une fusée : la Terre elle-même. Chaque année, notre planète bleue parcourt, dans sa ronde autour du Soleil, environ 940 millions de kilomètres. Elle se déplace donc dans l'espace à 107 000 km/h – et nous avec elle. Pourtant, nous ne nous en rendons absolument pas compte.

Il y a plusieurs raisons à cela. La principale ? On ne sent pas que la Terre file à toute vitesse parce qu'elle le fait sans jamais changer d'allure. En d'autres termes, la vitesse à laquelle notre planète tourne autour du Soleil est à peu près constante. Or, du point de vue de la physique, un objet qui se déplace toujours à la même allure ressemble beaucoup à un objet arrêté. Aucune force ne peut s'exercer sur lui si il ne freine ou n'accélère jamais.

Lorsque nous sommes en avion, nous nous retrouvons plaqués contre notre siège quand l'appareil s'élance sur la piste puis décolle, donc quand il accélère. Mais une fois qu'il a atteint sa vitesse de croisière, nous nous apercevons à peine que nous nous déplaçons, alors que nous volons à 900 km/h.

Si nous ne percevons rien, c'est aussi parce que l'air ambiant dans la cabine se déplace en même temps que nous. Si, tel James Bond, nous étions assis sur une aile, la situation serait complètement différente : l'air que nous traverserions ne se déplacerait pas à la même vitesse que nous. Au contraire même, de par sa résistance, il nous freinerait et, malgré notre physique





Cet astronaute en orbite autour de la Terre ne perçoit pas qu'elle tourne autour du Soleil à une vitesse trente fois supérieure à celle d'une balle de pistolet.

d'athlète, nous finirions par tomber. Revenons à l'intérieur de l'avion. En plein vol, aucune force d'accélération ou de freinage n'agit sur nous, nous ne ressentons pas l'air que nous sommes en train de fendre, bref, quand le paysage est uniformément bleu, nous pouvons croire que l'appareil est à l'arrêt.

Il en va de même pour notre voyage à bord de la Terre. Comme notre planète n'accélère pas et ne freine pas non plus, nous ne pouvons pas remarquer que nous filons à travers l'espace trente fois plus vite qu'une balle de pistolet. Et comme tout autour de nous, les arbres, les océans et même l'atmosphère se déplacent en même temps que la Terre, nous ne nous rendons pas compte de son mouvement.

La seule chose que nous sentons toujours, c'est la gravité. C'est elle qui nous retient au sol. Nous et toute autre forme de matière. C'est elle qui explique que l'atmosphère reste attachée à notre planète pendant que celle-ci se promène dans l'Univers. Rien ne freine ni ne trouble cette enveloppe gazeuse car la Terre se déplace dans un espace vide. Elle ressemble à l'avion qui transporte avec lui l'air de sa cabine. Voilà pourquoi nous ne sentons pas d'impact du vent malgré la vitesse pendant notre course à travers l'espace.

Si la planète s'arrêtait de tourner,  
les océans la quitteraient

Les étoiles, elles, ne font pas partie du vaisseau terrestre. Elles changent de position pendant que la Terre se déplace. Mais elles sont très éloignées de nous, et notre planète met un an à faire sa révolution autour du Soleil. Autant dire qu'on ne peut pas instinctivement apprécier notre vitesse grâce à elles. On peut juste la calculer, en procédant à de méticuleuses observations scientifiques.

Si les étoiles, les planètes et le Soleil apparaissent puis disparaissent dans notre ciel, c'est que la Terre accomplit en même temps un autre type de mouvement : chaque jour, elle tourne une fois sur elle-même. Or nous ne sentons rien de cette rotation non plus. Et ce pour les mêmes raisons qui nous empêchent de percevoir la révolution terrestre autour du Soleil : tout se déplace en même temps que nous.

Dans l'hypothèse où la Terre s'arrêterait brusquement de tourner sur elle-même ou autour du Soleil, nous le sentirions. Et pas qu'un peu ! Car tous les êtres vivants et tous les éléments ou objets qui ne seraient pas fermement enracinés dans le sol seraient emportés par leur élan, comme un automobiliste sans ceinture de sécurité lors d'un accident de voiture. En clair : on verrait des voitures voler dans le ciel et les océans quitter la planète. Et nous serions projetés en l'air sur plusieurs dizaines de kilomètres !



de diagnostic médical reposant sur une idée apparemment absurde. Ils décidèrent d'utiliser des sons pour regarder dans les objets, autrement dit de donner une image à l'invisible grâce à des informations acoustiques. Ce principe d'imagerie exploite une catégorie de sons tellement aigus que l'oreille humaine ne peut pas les entendre : les ultrasons.

Ceux-ci se propagent exactement de la même manière que les bruits que notre oreille perçoit : ce sont des ondes qui se diffusent dans un milieu, comme l'air ou l'eau. Mais leurs vibrations sont si rapides – jusqu'à vingt millions de fois par seconde – que notre ouïe ne parvient pas à les détecter. Un appareil à ultrasons se sert ensuite d'une propriété physique de ces ondes sonores : le fait, qu'à la différence de la lumière, elles sont capables de traverser des obstacles opaques. Et notamment la peau du corps humain. Mais ces ondes ne pénètrent pas dans notre corps sans encombre. A chaque fois qu'elles passent d'un certain tissu à un autre de nature différente, certaines restent bloquées. Et se retrouvent rejetées en arrière, à la manière d'un écho. Par exemple, quand elles passent des muscles aux os, de la graisse aux tendons ou des cartilages aux voies sanguines.

La quantité d'ultrasons réfractés dépend avant tout de la différence entre les milieux qu'ils doivent successivement traverser. Par exemple, quand ils passent d'un milieu à faible densité, comme la lymphe, à un milieu très dense, comme un os, une très grande proportion sera réfractée.

Les ultrasons sont enregistrés par un appareil appelé échographe qui, grâce à une série de calculs, transforme en image l'écho confus des ondes. Cette technologie est si sophistiquée que les clichés sont d'une qualité extraordinaire. Les médecins peuvent distinguer des parties minuscules du cœur ou observer ce qui se passe dans le cerveau d'un fœtus.

Produire des images à partir d'ultrasons semble être une belle prouesse de la technologie moderne. Mais il faut savoir que, dans la nature, cette méthode est utilisée depuis des millions d'années par certaines espèces animales. Les chauves-souris, les dauphins et les cachalots, par exemple, émettent des ultrasons qui sont immédiatement réfractés par les objets environnants. Ce qui permet à ces animaux non seulement de s'orienter mais aussi de dé-

tecter d'éventuelles proies avec une grande précision. Et cela, même dans la nuit noire ou les abysses de l'océan. □

## ... des **sons** permettent de voir ce qui est **invisible**

**P**our les futurs parents, la séance d'échographie lors de laquelle ils découvrent leur futur enfant est un instant de très grande émotion. Qui aurait cru qu'une telle prouesse serait un jour possible ? Durant presque toute l'histoire de l'humanité, personne n'avait pu visualiser ce qui se passait à l'intérieur d'un corps vivant. Il arrivait qu'une femme ne sache pas qu'elle portait un enfant et pensait que son ventre avait gonflé pour une tout autre raison... jusqu'au moment où, à son grand étonnement, elle accouchait. Des «médecins» ont même ouvert jadis par erreur l'abdomen d'une femme enceinte de neuf mois en croyant traiter un ulcère extrêmement enflammé. A partir du xx<sup>e</sup> siècle les choses changèrent. Des scientifiques inventèrent une méthode

Grâce à **l'échographie**, on peut même observer le détail du **cerveau d'un fœtus**



★

**CE N'EST PAS  
PARCE QU'IL EST  
AUTISTE**

★

**QU'IL NE COMPREND PAS LES  
ARTISTES**

★

---

DONNONS AUX ENFANTS MALADES OU DÉFAVORISÉS  
ACCÈS À L'ART ET AU PATRIMOINE

---

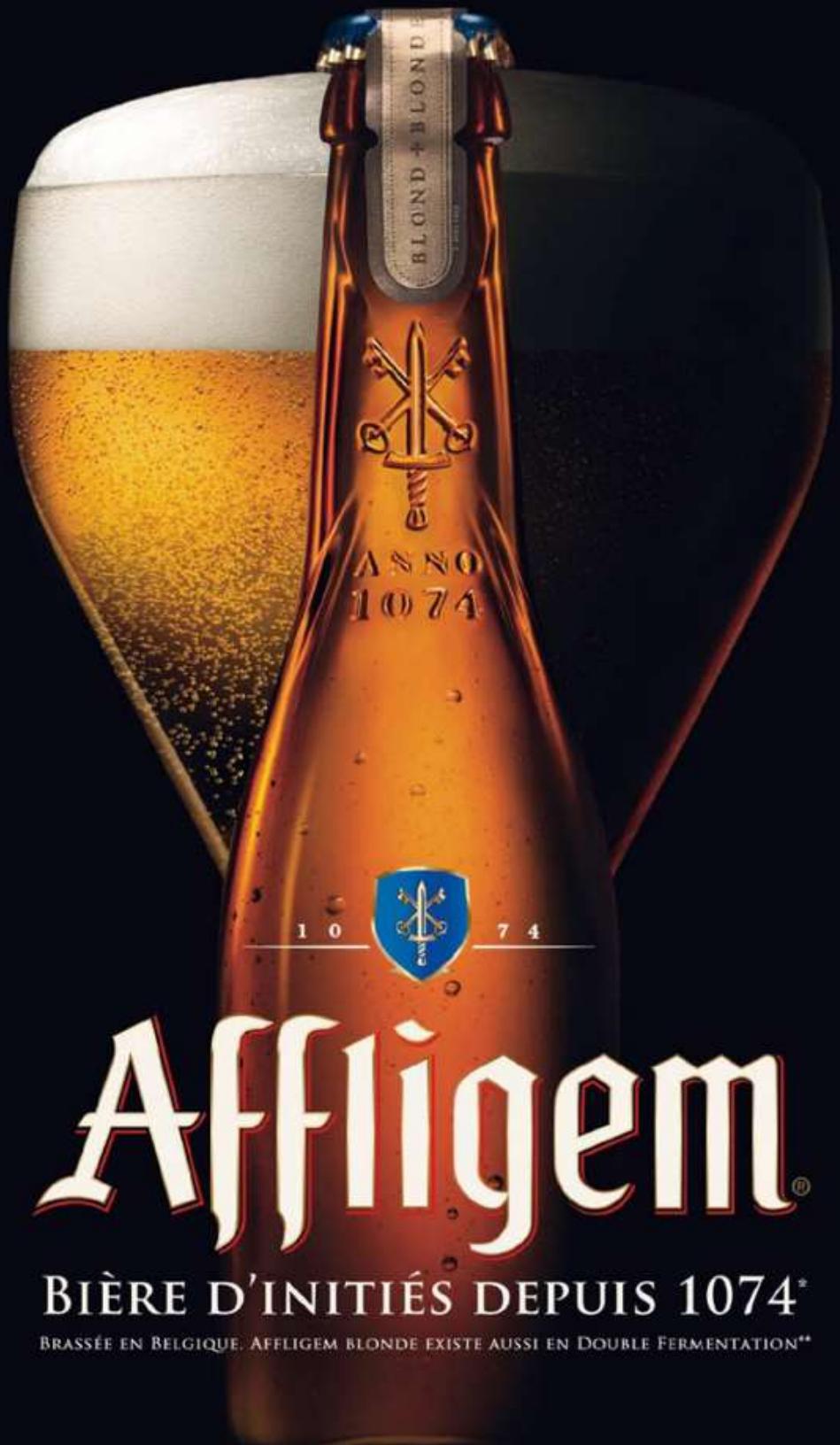
FAITES UN DON SUR  
**fondation-culturespaces.com**

---

Grâce à vos dons, des enfants en longue maladie, porteurs de handicap ou défavorisés participeront aux ateliers pédagogiques et visites organisées par la Fondation Culturespaces pour favoriser leur initiation à l'art et au patrimoine.

Vous bénéficiez d'une réduction d'impôt sur le revenu de 66% du montant de votre don, 75% si vous êtes imposé sur l'ISF.

**fondation**  
**culturespaces**



# Affligem®

BIÈRE D'INITIÉS DEPUIS 1074\*

BRASSÉE EN BELGIQUE. AFFLIGEM BLONDE EXISTE AUSSI EN DOUBLE FERMENTATION\*\*

\*Depuis 1000 ans, la recette de la bière Affligem est transmise par les moines de l'Abbaye à nos maîtres brasseurs, gage de sa haute qualité. \*\*Disponible uniquement en CHR.

**L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.**