

La science par le petit bout de la lorgnette

Vincent Bugeat



La science
par le petit
bout de la lorgnette

Vincent Bugeat

DUNOD

Je dédie ce livre à Lorella,
David, Emmanuel

Introduction

Si vous savez ouvrir une bouteille sans tire-bouchon, utiliser votre télécommande à l'envers; si vous ne pleurez jamais en épluchant des oignons, si vous savez pourquoi les nageurs sont grands et si vous ne vous souciez pas d'économies de carburant, alors ce livre n'est pas fait pour vous. Dans le cas contraire, attention ! Vous risquez d'apprendre quelque chose et, pire, de vous amuser en même temps. Vous pouvez malgré tout continuer votre lecture, maintenant vous êtes prévenu(e)...

L'idée de ce livre est née d'un double constat, malheureusement banal, fait avec des étudiants et des enseignants : la science, et en particulier la physique, est jugée difficile et éloignée de nos préoccupations quotidiennes. Au lycée et à l'université on apprend, à partir de connaissances plus ou moins abstraites, à décrypter le monde. Mais ici la démarche est inverse : c'est en regardant ce qui nous entoure que s'éveillera notre appétit de savoir : de l'eau qui bout à l'orage qui gronde, d'un ruban adhésif à la vitesse de la pluie, d'un téléphone dans une cocotte-minute à l'utilisation peu orthodoxe d'un thermomètre, autant d'occasions de regarder notre environnement par le petit bout de la lorgnette (peut-on regarder par l'autre bout ?).

Cent prétextes à curiosité, à s'interroger, à être surpris ou choqué, mais surtout cent prétextes à s'amuser, à rire et à jouer avec nos objets familiers et à se jouer des pièges de nos neuro-

nes. C'est à une autre façon de voir le monde familier que je vous invite, qui vous fera retrouver vos enthousiasmes d'enfant devant un tour de magie, en étant vous-même le magicien... mais sans toujours connaître le truc !

Car ce sont bien les plaisirs de la recherche, de la découverte, de l'invention et de la créativité qui sont au cœur de toutes ces petites expériences, faites à partir de matériaux ou d'objets parfaitement banals. Cette science « avec les mains », sans équations mais pas sans réflexion, voilà le fil conducteur de ces situations courantes ou nouvelles, mais où vous devrez toujours mettre « la main à la pâte », selon l'expression désormais consacrée.

À la cuisine ou en promenade, du froid au chaud et de la terre au ciel, à chaque instant nous sommes en droit de demander : « pourquoi ? ». Au fond, le cœur de toute démarche qui se veut un peu scientifique, ce n'est pas de répondre à des questions, c'est de commencer à s'en poser... La curiosité est obligatoire, elle sera notre moteur, et si la destination n'est pas toujours évidente, laissons-nous guider par le paysage.

Chaque rubrique est indépendante, et chaque partie aussi : chacun dégustera le tout comme il le préfère, à petites bouchées ou en dévorant l'ensemble, sans modération.

De temps en temps une question sera proposée, avec un indice ; comme une gourmandise qu'on contemple avant de la manger, vous pourrez donner *votre* réponse avant d'aller consulter la mienne en fin d'ouvrage. Plus il y aura d'idées émises et plus le plaisir sera intense, qu'il s'agisse d'une découverte ou d'une confirmation.

Enfin divers encarts permettront à ceux qui le souhaitent d'aller un peu plus loin, comme une variante dans une randonnée où tout le monde se retrouve le soir au refuge.

Bonne lecture mais, surtout, bonnes expériences à partir de ce modeste livre de « recettes scientifiques », que chacune et chacun utilisera à son goût, et fera partager à d'autres, rien que pour le plaisir de lire l'étonnement sur un visage, qui précède la satisfaction de comprendre...

Drôles de recettes

Pas de quoi pleurer

Qui n'a pas pesté en épluchant des oignons avec les yeux remplis de larmes ? Ce désagrément survient d'ailleurs aussi à certaines personnes sensibles, en épluchant d'autres légumes, comme des poireaux.

De l'abondante littérature sur le sujet, je ne retiendrai que ce qui me paraît le plus facile et le plus efficace.

Il y a d'abord le fait de ne pas mettre le nez sur vos oignons, mais plutôt d'allonger les bras pour les tenir à distance respectueuse (ce qui est plus facile quand on est assis). Il semble utile aussi de les passer un peu sous l'eau froide avant l'épluchage, puis régulièrement pendant, pour fixer le liquide irritant.

Le fait de ne pas respirer par le nez, mais par la bouche est un facteur très important (voyez ci-dessous « La chimie des larmes », si vous souhaitez avoir quelques détails techniques). Pour y arriver, chacun a sa méthode : tenir entre les dents un morceau de pain, une cuillère, une tranche de citron... mais il semble plus efficace de se boucher le nez de la façon la moins désagréable possible (pince-nez, mouchoir en papier...).

La technique consistant à se passer au préalable les poignets sous l'eau froide est plus incertaine. Elle fonctionne avec certaines personnes et repose sur l'effet vasoconstricteur de l'eau froide. Pour rester dans le domaine des changements de température, placer les oignons une demi-heure au congélateur améliore bien les choses.

Les porteurs de lunettes ou de lentilles de contact sont parfois avantagés, grâce à cet écran devant leurs yeux. Vous pouvez aller plus loin dans cette logique et porter des lunettes de plongée ou un masque. Si un moqueur s'aventure dans la cuisine, dites-lui de faire le travail à votre place !

Dernier conseil, sans doute le plus important : *comment* couper les oignons. Il ne faut en aucun cas commencer par la base, la racine. Faites des entailles en commençant par le sommet de l'oignon, sans toucher à la base. Puis faites des coupes parallèles entre elles, perpendiculaires aux premières, et finissez en enlevant la racine.

La chimie des larmes

Dans les oignons, les poireaux ou l'ail, sont présents des dérivés d'acides aminés contenant du soufre. Le fait de couper un oignon les fait décomposer par une enzyme, ce qui produit un oxyde de soufre, irritant et très volatil. Mis en contact avec de l'eau (liquide lacrymal dans nos yeux), cet oxyde se décompose en propanol, acide sulfurique et sulfure d'hydrogène.

La réaction des larmes a pour but de diluer ces substances irritantes. Or le liquide lacrymal est présent dans notre nez :

...

respirer par le nez provoque donc l'effet irritant. Quand on respire par la bouche, cet effet est bien moindre, d'autant que le flux d'air, à l'expiration, chasse les vapeurs indésirables. L'idéal est d'inspirer par la bouche et d'expirer par le nez ! À noter que ce sont ces mêmes substances qui confèrent son goût si recherché à l'oignon : Dr Jekyll et Mr Hyde moléculaires...

Si, malgré toutes ces précautions conjuguées, vous pleurez comme avant, il faut soit chercher la cause ailleurs, soit acheter des oignons en poudre...



Ça chauffe dans la cuisine !

Savez-vous qu'on peut détourner les appareils ménagers pour leur faire faire des sciences ?

Sortez une casserole, un couvercle en métal, allumez votre portable et mettez-le à cuire... Je plaisante, posez-le dans la casserole et mettez le couvercle. Puis, à l'aide d'un autre portable ou de votre fixe, appelez-vous. Votre téléphone sonne-t-il ? Peu probable ! Déplacez un peu le couvercle pour ménager une petite ouverture et là, votre téléphone répond !

Vitesse de la lumière et micro-ondes

Votre innocent appareil est aussi un instrument de mesure de la vitesse des micro-ondes, donc de la lumière. En effet dans le cas d'un système d'ondes stationnaires, la longueur d'onde L est reliée à la fréquence des ondes f et à la vitesse cherchée, notée c . Cette relation est $c = L \times f$. La fréquence est donnée par la notice technique, le plus souvent elle vaut 2,45 GHz (1 GHz = 1 milliard de Hz). Vous pouvez mesurer la longueur d'onde à partir de l'expérience ci-dessus, c'est le double de la distance entre deux nœuds, car il y a deux nœuds par période. Vous allez trouver environ 12 cm, soit 0,12 m. Le calcul donne alors $c = 294\,000$ km/s, soit environ 2 % de moins que la valeur des physiciens (299 792,458 km/s) ! Pas mal pour un réchauffe-plats-tout-prêts...

Le secret, c'est que votre casserole est en métal (souvent en acier). Or le métal arrête les ondes électromagnétiques auxquelles l'antenne du portable est sensible... Pour vous persuader que c'est bien le métal qui est responsable de ce comportement, posez un couvercle en plastique ou en tout autre matériau non métallique : vous entendrez le portable sonner.

Rappelez-vous, Mesdames, que votre téléphone sonne quand il est dans votre sac, une « boîte » élégante, certes, mais physiquement rien d'autre qu'un récipient souple fermé...

Dirigez-vous maintenant vers votre four à micro-ondes. Enlevez le plateau tournant, posez un support (comme le couvercle en plastique qui évite les projections) : ainsi ce que vous allez mettre à l'intérieur ne tournera pas. Sur une assiette, disposez une ligne de miel bien solide, sur une vingtaine de centimètres. Posez l'assiette sur le support. Allumez votre micro-onde pendant une minute, puis sortez l'assiette.

Que voyez-vous ? Des endroits où le miel a complètement fondu, d'autres où il est resté quasiment intact. Pourquoi ? Parce que les micro-ondes forment un système d'ondes *stationnaires*, avec des maxima et des minima d'énergie, tout comme une corde qui vibre présente des « ventres » et des « nœuds » de vibration... Voilà pourquoi le plateau tourne : pour éviter que certaines zones des aliments soient réchauffées et d'autre pas.

Vous pouvez essayer avec une plaquette de chocolat si le cœur vous en dit...

La **Q**uestion du jour

Dans le four à micro-ondes, quand le café (ou le chocolat) est chaud, on peut quand même prendre la tasse sans se brûler. Pourquoi le récipient est-il nettement moins chaud que le contenu ?

Réponse p. 163

► **Indice**

C'est essentiellement l'eau que chauffe le four à micro-ondes, peu les autres substances.

Un cordon-bleu vous parle

Voici quelques menues astuces, de celles qui ne bouleversent pas la vie mais la rendent plus douce : par exemple quand on fait cuire des œufs durs ou à la coque, comment éviter que leur coquille casse ?

Ce sont les bulles de vapeur d'eau qui secouent l'œuf et finissent par le casser. Aussi, pour le protéger, pouvez-vous rajouter du sel (en bonne quantité) dans l'eau quand elle bout (pas avant, pour ménager vos casseroles : l'eau salée est corrosive). Cela aura pour effet de rendre la densité de l'eau très proche de celle de l'œuf, et donc de rendre ce dernier plus « léger » dans l'eau salée : il sera moins sensible aux bulles qui montent...

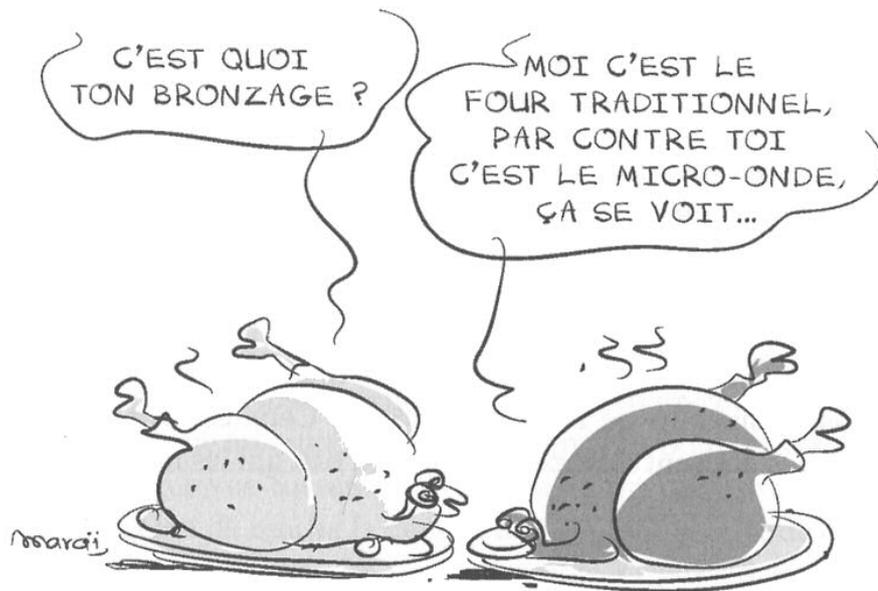
Tant que nous sommes sur le chapitre des œufs, je vous rappelle comment on juge si un œuf est cru ou dur : on le fait tourner sur un support bien lisse, et l'on pose le doigt dessus un très bref instant pour l'arrêter ; si, quand on relâche, l'œuf reste immobile, c'est qu'il est dur ; sinon c'est qu'il est cru. L'explication est que si l'œuf est cru, le blanc (liquide) à l'intérieur a continué à tourner par inertie, et entraîne le reste, toujours par inertie. Si votre petit(e) dernier(e) vous demande pourquoi, empruntez-lui son seau de plage, remplissez-le d'eau, suspendez-le, et faites-le tourner ; arrêtez le seau, puis relâchez-le immédiatement : il se remet à tourner ! L'eau à l'intérieur a entraîné le seau.

Si vous n'aimez pas la pizza brûlante, mettez-la un instant sous la hotte en marche : ce n'est pas le courant d'air en soi, mais le dégagement de vapeur qui est suffisant pour la refroidir efficacement... Quant au café, le plus efficace reste de souffler dessus, surtout si vous ne l'aimez pas sucré (le sucre le refroidit un peu). Vous pouvez en plus mettre une cuiller en métal (ou plusieurs) dedans : le café, en chauffant les cuillers, refroidira d'autant (de plus, les cuillers joueront le rôle de radiateur en rayonnant de la chaleur !)

À l'inverse, comment faire pour garder une boisson le plus au frais possible, si vous n'avez pas de glace sous la main ? Entourez-la simplement avec un torchon mouillé. L'eau qui s'évapore du torchon prend de la chaleur, en partie à l'air ambiant et en partie à la bouteille... C'est pour cela que, dans les déserts, on utilise beaucoup de récipients tressés. Ceux-ci, tout en étant étanches, laissent s'évaporer un peu d'eau qui les rafraîchit.

Les carottes sont cuites

Cher(e)s amoureux(ses) des fourneaux, parlons cuisson. J'évoque ailleurs le four à micro-ondes (voir ci-dessus « Ça chauffe dans la cuisine ! »); mais pourquoi les viandes cuites au micro-ondes n'ont-elles pas le même goût que celles mises au four ? Et pourquoi cuisent-elles plus vite ? Parce que dans un four classique, la température augmente en commençant par l'extérieur du plat; facile pour dorer une viande, donc, mais attention si la cuisson se prolonge trop : c'est la carbonisation qui commence (par l'extérieur, comme chacun l'a expérimenté au moins une fois). Les températures atteintes sont assez élevées (parfois 250 °C, voire plus). La broche du rôti a aussi pour effet de chauffer le cœur de la viande plus vite, afin d'obtenir une cuisson plus uniforme.



Dans le cas du micro-onde, rien de tel : ce sont les molécules d'eau contenues dans la nourriture qu'on fait « gigoter ». Tout le plat est donc réchauffé en même temps ; les températures sont bien plus basses, car à partir de 100 °C toute l'eau... s'évapore, bien sûr ! Pas de doré, donc, et en cas de surcuisson, pas de brûlé mais un mets tout desséché... Mais est-ce vraiment de la cuisine ? Je ne me prononcerai pas, en tout cas vous avez compris pourquoi de plus en plus de fours à micro-ondes sont complétés par un grill.

Le coin du toubib

Ma casserole est-elle bonne pour ma santé ? D'un point de vue physique une bonne casserole doit être un très bon conducteur de chaleur ; de ce point de vue, les meilleurs candidats sont l'argent, le cuivre et l'aluminium. J'écarte évidemment l'argent pour des raisons du même nom. Il reste le cuivre, pas toujours facile d'entretien et dont l'oxyde (le vert-de-gris) est toxique, et l'aluminium. Celui-ci est inoffensif, à condition qu'il reste dans la casserole et qu'il ne s'invite pas dans nos assiettes !

Ainsi pour éviter d'attaquer le métal, il suffit d'éviter de stocker des aliments (même au réfrigérateur) dans des récipients en aluminium, en particulier lorsqu'il comporte des sauces salées ou acides. Il existe maintenant des casseroles modernes en aluminium anodisé, c'est-à-dire oxydé, bien plus stable.

La **Q**uestion du jour

Si vous mettez de l'eau chaude et de l'eau froide à refroidir dans votre congélateur, c'est l'eau chaude qui gèle avant ! Pourquoi ? Attention, si vous utilisez des bouteilles ne les remplissez pas complètement pour éviter l'explosion...

Réponse p. 164

► **Indice**

N'oubliez pas que l'eau chaude s'évapore plus vite que l'eau froide.

Le monde de la bulle

Bien sûr, il s'agit de s'intéresser aux petites sphères et non à la flemme. À tout seigneur tout honneur, commençons par apprendre à ouvrir correctement une bouteille de champagne (ou de cidre, de « *spumante* », etc.).

Spontanément, on a tendance à tenir la bouteille et à tourner le bouchon ; mais la bonne technique consiste à tenir le *bouchon* et à tourner la *bouteille*... jusqu'à ce que le bouchon commence à bouger ; alors on laisse s'échapper le gaz en surpression par de petits mouvements latéraux, jusqu'à le retirer facilement... Santé !

J'en profite pour tordre le cou à une légende très commune : non, une petite cuillère dans le goulot d'une bouteille n'empêche pas le gaz de partir ; des mesures précises ont été faites qui ne laissent aucun doute à ce sujet.

Observez les bulles qui montent dans votre verre, vous verrez que les petites montent doucement et les grosses plus vite, ceci entre autres à cause du fait que ces dernières subissent moins les frottements : les plus grosses bulles sont alors moins ralenties.

Si l'on met un glaçon dans un verre d'eau minérale gazeuse ou de soda, on voit se former des bulles : celles-ci naissent autour de germes présents dans le liquide (par exemple la cellulose venant du tissu utilisé pour sécher le verre) et sur les aspérités de la glace ou du verre (qui sont loin d'être lisses à l'échelle où se forment les bulles). Vous verrez aussi des colonnes de bulles qui montent : chacune se forme au même endroit, sur un défaut microscopique du verre par exemple, puis elle remonte et est remplacée par une autre, et ainsi de suite.

Quand l'eau est dure

Vous avez forcément entendu parler de la dureté de l'eau. Voici une petite manip pour la mettre en évidence. Il vous faudra trois verres, un peu de sel, de la craie et du liquide vaisselle.

Mettez quelques centimètres d'eau dans chaque verre, puis ajoutez cinq cuillerées de sel fin dans le premier et un peu de craie écrasée dans le second. Ensuite versez une bonne cuillerée de liquide vaisselle dans les trois verres. Remuez énergiquement chaque solution avec une cuillère et comparez...

Pour le verre contenant la craie, un peu de mousse. Pour celui avec seulement de l'eau au départ, beaucoup de mousse. Pour l'eau salée, très peu de mousse ou pas du tout.

La « dureté » de l'eau indique si cette eau contient ou non beaucoup de calcium ou de magnésium. Une eau très calcaire

sera très dure et, comme dans le verre avec la craie, aura du mal à faire mousser les lessives, savons et autres shampoings. Une eau plutôt douce les fera mousser plus ; mais une eau salée ne les fera pratiquement plus mousser !

Le secret réside dans la possibilité pour l'eau de faire des liaisons avec les molécules de détergent, liaisons qui seront à la base de la mousse. Dans l'eau calcaire, les ions calcium et magnésium forment déjà beaucoup de liaisons avec les molécules d'eau, et il sera donc difficile de la faire mousser. Les fabricants de lessive le savent bien, qui rajoutent des « agents moussants ». Le linge aura plus de mal à se rincer dans une eau bien calcaire (et vous aussi), comme en région parisienne par exemple. Une eau douce pourra mousser bien plus et nécessitera donc moins de lessive pour le même résultat. Quand à se laver avec de l'eau salée... le sel dissous dans l'eau empêchera la mousse de se former : pas de douche à l'eau de mer !

Dure, dure

Il existe diverses mesures du degré hydrotimétrique de l'eau (son degré de dureté). En France nous utilisons le « degré français » (étonnant, non ?) : °f. Une eau très douce titre moins de 7 °f, une eau moyenne 20 °f environ et il existe des eaux très dures titrant plus de 40 °f. Regardez votre facture pour connaître la dureté de votre eau.

Les adoucisseurs permettent en général d'obtenir une eau autour de 5 à 10 °f. Sachant que 1 °f correspond à 4 mg de calcium ou 2,4 mg de magnésium par litre d'eau, vous pouvez calculer facilement le degré de dureté de votre eau minérale favorite...

Quand l'eau est douce

Pourquoi flotte-t-on mieux dans la Méditerranée que dans l'Atlantique, ou dans la mer qu'à la piscine ? Une petite expérience très simple à réaliser vous en fera visualiser la raison.

Il vous faudra d'abord fabriquer des glaçons avec de l'eau légèrement colorée. Pendant ce temps vous aurez préparé un grand verre aux trois quarts plein d'eau très salée.

Lorsque vous poserez les glaçons délicatement sur l'eau du verre, vous observerez tout d'abord qu'ils flottent. Et bien sûr, ils commencent à fondre. Mais, tant que vous ne touchez pas le verre, que fait l'eau colorée ? Elle reste bien sagement en haut. Si elle ne se mélange pas, ce n'est pas parce qu'elle est d'une autre couleur (de ce point de vue elle est bien plus tolérante que certains...). Mais c'est bien sûr parce que les glaçons sont de l'eau « douce », c'est-à-dire non salée. En fondant lentement, l'eau des glaçons flotte à la surface de l'eau salée, cette dernière étant plus dense.

Le corps humain a une densité inférieure mais très proche de celle de l'eau, ce qui n'est pas vraiment étonnant puisque nous en sommes formés aux deux tiers. C'est pourquoi de l'eau salée, donc plus dense (même légèrement) nous maintient mieux... la tête hors de l'eau. Dans des saumures ou des mers très salées, il devient difficile de faire de la plongée. Et si vous ne vous rincez pas vite après un bain dans une eau très salée, c'est votre peau qui risque de vous rappeler que le sel est soluble dans l'eau. Le sel resté sur votre peau se dissoudra dans l'eau qu'il trouvera sur votre épiderme. Et ça gratte...

Dégât des eaux

Pourquoi les canalisations éclatent-elles lorsqu'il gèle ? Parce que l'eau est l'un des rares corps (avec le bismuth) qui prend plus de place à l'état solide qu'à l'état liquide. La glace possède un volume supérieur à celui de l'eau, dans une proportion d'environ 10 %, ce qui fait éclater tuyaux et mêmes rochers, d'où le proverbe : « Il gèle à pierre fendre. »

Étranges objets

Un labo pour 1 €

Question : Qu'est-ce que tout le monde a chez soi pour d'éventuelles pannes d'électricité, et qui est le siège de multiples transformations physiques et chimiques ?

Réponse : Une bougie !

En ce qui concerne les phénomènes physiques, commençons par ce qui fait monter le café dans le « canard » que vous donnez à votre petit(e) dernier(e). Il s'agit de la *capillarité*.

C'est le moment d'allumer votre bougie à 1 €. Au contact de la flamme, la cire devient liquide et monte dans la mèche, par capillarité, pour se vaporiser ensuite. C'est ce gaz de paraffine qui brûle, et à la base de la flamme on voit une partie plus sombre qui correspond au gaz mal brûlé. Ce sont les particules de carbone qui lui donnent cette couleur sombre. Juste au-dessus, la partie bleue de la flamme est le siège de la combustion du gaz paraffine, tout comme votre cuisinière doit avoir une flamme bleue quand le brûleur est bien réglé.

Au sommet de la flamme, la partie jaune, et donc éclairante, contient elle aussi des particules de carbone, mais à une tempé-

rature très supérieure. Le carbone devient incandescent et donne cette belle couleur.

Regardez le fond de la pièce juste au-dessus de la flamme. Que remarquez-vous ? Frottez une règle en plastique et approchez-la (pas trop) de la flamme. Que se passe-t-il ?

L'air au-dessus de la bougie est plus chaud et instable, il déforme donc les images : si vous regardez à travers, juste au-dessus de la flamme, les images sont déformées et tremblotantes !

Enfin, une règle frottée attire la flamme, car le gaz contenu dans la flamme est assez chaud pour arracher quelques électrons aux atomes, et la flamme se charge donc électriquement : elle est alors attirée par la règle qui, elle, a gagné des électrons quand vous l'avez frottée.

Bilan : Changements d'état, capillarité, combustion, incandescence, autorégulation, convection, réfraction, électrisation... un vrai concentré de phénomènes physico-chimiques : le labo le moins cher du monde !

Une bougie dans tous ses états

Au départ la bougie est solide, puis elle fond sous l'effet de la chaleur de la flamme et se vaporise dans la mèche où elle finit par brûler. De solide à vapeur, en passant par liquide : dans la combustion d'une simple bougie, il y a donc les trois états de la matière, en l'occurrence la paraffine. On pourrait d'ailleurs ajouter un quatrième état qui est celui de la flamme, gaz chaud appelé plasma.

Quand on éteint la bougie, la paraffine liquide se contracte un peu en se solidifiant, comme la majorité des corps (à l'except-

...

tion notable de l'eau), ce qui crée la petite cuvette autour de la mèche : autre phénomène physique courant.

Pendant la période transitoire où l'on allume la bougie, un peu de mèche brûle, ce qui fait fondre la paraffine, qui monte dans la mèche par capillarité. La combustion s'autorégule car la mèche se consume quand la paraffine a brûlé et qu'il n'y a plus assez de liquide pour monter dans la mèche : alors la mèche en brûlant se raccourcit un peu, ce qui rapproche la flamme de la bougie et reforme du liquide, et le cycle continue.

Il est clair que ces combustions, de la mèche comme de la bougie, sont des réactions chimiques : à partir du combustible et de l'oxygène de l'air, elles fournissent du dioxyde de carbone, de la vapeur d'eau... et la lumière (avec de la chaleur) qui nous intéresse. Le renouvellement en oxygène de l'air est assuré par le fait que l'air chauffé monte et est remplacé par de l'air nouveau : La bougie crée donc aussi des phénomènes de *convection*.

Le petit ludion qui monte, qui monte... sauf quand il descend

Il vous faut une bouteille en plastique (avec son bouchon). Prenez maintenant un capuchon de stylo, et bouchez le petit trou à son extrémité, avec de la pâte à modeler ou de la colle. Toujours avec la pâte à modeler lestez-le, de façon à ce qu'il flotte verticalement, mais à la limite de couler. Mettez ensuite votre flotteur ainsi préparé dans la bouteille remplie à 90 %, et fermez-la (la bouteille).

Maintenant il ne reste plus qu'à jouer : comprimez la bouteille de vos belles mains musclées, et vous verrez le ludion descendre ; relâchez la pression, et il remontera !

Remarque : Pour les enfants vous pouvez utiliser une petite bouteille, c'est plus facile pour leurs petites mains...

La **Q**uestion du jour

Comment fonctionne le ludion ?

Réponse p. 166

► **Indice**

Lorsqu'il descend, un poids supplémentaire s'exerce sur le ludion.

Mince alors !

Intéressons-nous à un objet familier et anodin, un rouleau de « papier aluminium » pour la cuisine. Le mot « papier » est ici un abus de langage : il s'agit de métal pur à plus de 99 %, et il n'a donc rien de commun avec du papier, si ce n'est qu'il est aussi très mince... Justement, comment mesurer puis comparer l'épaisseur d'une feuille de papier standard avec celle d'une feuille d'aluminium en rouleau ?

Pour le papier, ce n'est pas bien méchant : l'astuce consiste bien sûr à prendre un nombre suffisant de feuilles et à mesurer

l'épaisseur totale avant de diviser par le nombre de feuilles... Un exercice classique en maths à l'école primaire.

Prenez donc une ramette de 500 feuilles standard (80 g), et mesurez l'épaisseur des feuilles (sans l'emballage, attention). Puis multipliez par deux pour avoir l'épaisseur d'un millier de feuilles ; il ne reste plus qu'à diviser le résultat par mille. (On peut aussi diviser directement par 500, mais le calcul avec mille est plus simple). Si vous avez bien travaillé, vous devez trouver $1/10^e$ de millimètre pour l'épaisseur d'une feuille.

Et votre feuille d'aluminium, est-elle plus épaisse ou plus mince ? Si intuitivement vous pensez « plus mince », vous avez amplement raison. Voyons pourquoi.

La situation est un peu plus compliquée que pour le papier, puisque l'aluminium est enroulé ; mais avec un peu de bon sens, un morceau de ficelle et la formule du périmètre d'un cercle, on va s'en sortir.

Je pars de l'exemple d'un rouleau de 30 mètres, mais la procédure est facile à adapter à chaque cas. À partir d'un rouleau neuf, il s'agit d'abord de mesurer son diamètre. Pas commode et bien imprécis avec une règle ! Si vous disposez d'un pied à coulisse et savez vous en servir, faites-le ; sinon prenez de la ficelle fine (type ficelle à rôti), et enroulez-la autour du rouleau. Il suffit de faire un tour, mais vous pouvez en faire deux ou trois l'un contre l'autre pour plus de précision. Repérez le début et la fin des tours avec un feutre fin, déroulez la ficelle et mesurez la longueur entre les repères : j'ai trouvé 11,5 cm environ pour un tour. Ceci est le périmètre *extérieur* du rouleau. Pour le périmètre intérieur, faites la même chose sur le support en carton du rouleau ; en ce qui me concerne j'ai trouvé 9,5 cm, mais cela peut varier un peu selon la marque !

Alors maintenant un tout petit peu de réflexion : notre rouleau ferait 30 m s'il était entièrement déroulé ; *en moyenne* le périmètre d'un tour est 10,5 cm, puisqu'il commence à 11,5 et finit à 9,5 cm. Maintenant la bonne question à se poser est : combien y a-t-il de tours ? Quand on aura répondu à cette question, il suffira d'appliquer la même méthode qu'avec le papier, et le « tour » sera joué ! Or tout se passe comme si les 30 m = 3 000 cm étaient enroulés sur un périmètre moyen de 10,5 cm, qui correspond bien sûr à un tour ! Il y a donc $3\,000/10,5 = 286$ tours dans mon rouleau. Et c'est presque fini ! Le rayon correspondant au périmètre extérieur de 11,5 cm est $r = P/2 \times 3,14 = 11,5/6,28 = 1,83$ cm. Pour le rayon intérieur j'ai trouvé 1,51 cm ; l'épaisseur totale du papier alu est donc de $1,83 - 1,51 = 0,32$ cm ou 3,2 mm.

Et l'épaisseur d'une seule feuille ? Comme 286 épaisseurs de métal occupent 3,2 mm, une seule occupera $3,2/286 = 0,0112$ mm. À comparer au 0,1 mm du papier : il faut neuf feuilles d'aluminium pour atteindre l'épaisseur d'une seule feuille de papier... ouf ! Pour vous féliciter de cet effort vous avez le droit d'aller vous acheter un mille-feuille.

Le coin du rabat-joie de service

Au début des années quatre-vingt une étude a montré que dans les cerveaux de patients touchés par la maladie d'Alzheimer il y avait des traces d'aluminium ; il n'en fallait pas plus pour qu'un vent de panique souffle et que les films d'aluminium soient désignés comme pouvant apporter toutes sortes de pathologies (Alzheimer, Parkinson...). Qu'en est-il en réalité ?

...

Après plusieurs années d'enquête menées conjointement par l'américaine et très sérieuse FDA (*Federal Drug Administration*), le Département Fédéral Canadien pour la santé et l'Association Américaine contre Alzheimer, il est apparu que ces craintes n'étaient pas justifiées, et qu'« il n'existait pas de preuves suffisantes pour considérer l'aluminium comme un facteur de risque pouvant entraîner la maladie d'Alzheimer ou être une cause de démence ». Pour comprendre pourquoi j'oublie régulièrement où j'ai posé mes clés cinq minutes avant, il va falloir trouver autre chose...

Quand la télécommande ne commande plus la télé

Un objet banal comme une télécommande de téléviseur peut se transformer en support de quelques manips de physique amusante.

Vous utilisez évidemment votre télécommande en la dirigeant vers l'objet à commander ; mais le type d'ondes utilisées, les infrarouges, peut donner lieu à quelques résultats surprenants.

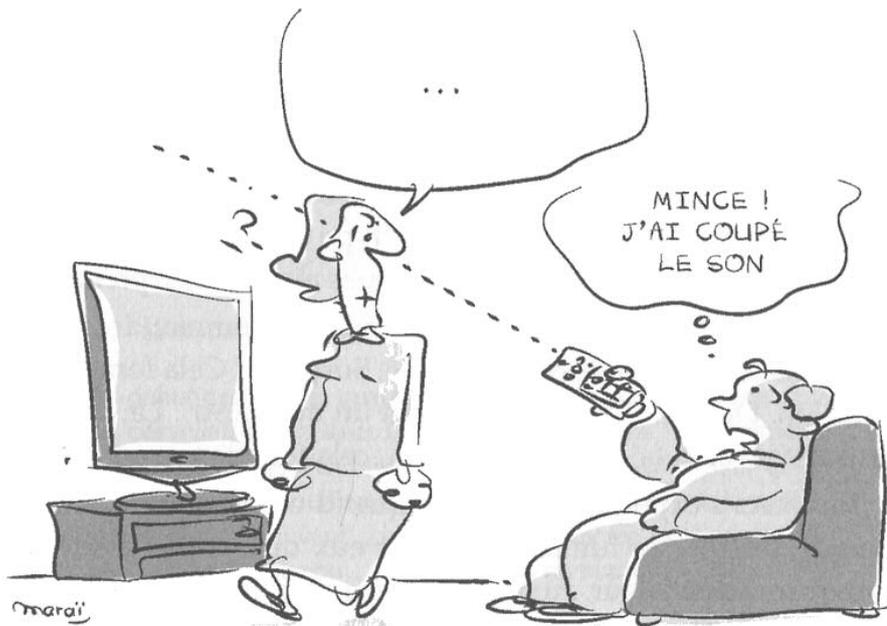
Commencez par exemple à diriger la télécommande... vers vous, assis(e) devant le poste allumé. Surprise ! Cela fonctionne très bien. Dirigez-la maintenant vers un mur, à 90°. Là, selon la disposition et la taille de votre salon, cela fonctionne ou pas.

Tout ceci s'explique facilement quand on sait que les infrarouges, c'est de la lumière. Ce sont eux que nous ressentons sous forme de chaleur, au soleil ou devant une source de chaleur quelconque. Ces rayons, de très faible intensité pour votre télé-

commande, se comportent comme de la lumière : en partie réfléchis par les murs, en partie absorbés, ils peuvent aussi traverser certains matériaux qui sont alors transparents pour eux.

Ainsi en pointant la télécommande vers un mur, vous faites se réfléchir les ondes dessus et elles arrivent ensuite au téléviseur. Si vous la dirigez derrière vous, au-dessus de votre épaule, elles se réfléchissent sur le mur et peuvent revenir au poste. Il est impossible de juger du retard par rapport à une transmission directe, car les infrarouges se déplacent, comme tout rayon lumineux, à 300 000 km/s... Si maintenant vous placez un obstacle entre vous et le téléviseur, comme pour la lumière « classique » tout dépendra de l'écran !

Si c'est votre époux(se) qui s'interpose, les ondes ne passent plus : elles sont réfléchies (et absorbées) comme précédemment,



mais cette fois-ci elles reviennent vers vous. Si vous prenez une feuille de papier, la télécommande fonctionnera parfaitement ; mais avec un livre ça ne passe plus ! L'épaisseur de l'obstacle finit par absorber significativement les ondes. Avec une feuille de papier aluminium, nettement plus mince (voir ci-dessus « *Mince alors !* »), il faut distinguer deux situations. Quand la feuille est collée à la télécommande, les ondes ne passent plus : comme tout métal, l'aluminium réfléchit la lumière et l'empêche alors de se propager ; mais quand on tient la feuille à quelques centimètres de la télécommande, les ondes passent parfaitement. Elles ne traversent toujours pas la feuille, mais sont réfléchies et « rebondissent » ensuite sur les murs et obstacles environnants.

Amusez-vous à diriger votre télécommande dans toutes les directions et à placer devant des objets improbables, l'effet de surprise est garanti. Pourquoi se priver quand on apprend plus de la télécommande que de la télévision ?

Miroir, mon beau miroir...

Placez-vous devant un miroir, le plus grand possible, pour répondre à la question suivante : si le miroir inverse la droite et la gauche, pourquoi n'inverse-t-il pas le haut et le bas ?

La réponse tient dans l'interprétation que nous faisons de notre image dite « spéculaire ». Notre corps étant relativement symétrique, nous interprétons notre image comme résultant d'une rotation de 180° sur nous-mêmes, qui aurait alors pour effet d'inverser droite et gauche. Mais ce n'est pas ce que fait le miroir ! Levez la main droite (il n'est pas nécessaire de dire « je le jure ») :

que fait votre image ? Elle lève sa main « gauche », mais qui a les caractéristiques de votre main droite ! Prenez une photo de votre reflet dans cette position, puis essayez de prendre la même posture. Impossible, car ce sera votre main gauche que vous devrez lever...



Si vous avez une bague à la main gauche, elle sera toujours à gauche quand vous vous retournerez, non ? Mais si vous levez cette main baguée devant le miroir, que fait votre reflet ? Il lève la main qu'il a à sa droite... Quand deux personnes en face l'une de l'autre se serrent la même main (la droite), celles-ci se croisent ; or si vous serrez la main droite à votre reflet vos bras ne se croisent pas... amusez-vous à multiplier ces exemples.

La différence entre une rotation d'un demi-tour et le reflet spéculaire, c'est que ce dernier est le résultat d'une *réflexion*, pas d'un retournement. Et cette opération mathématique est plus difficile à comprendre pour nous : si l'on peut facilement s'imaginer un demi-tour, il est plus difficile d'échanger – même par la pensée – côté droit et côté gauche !

En réalité ce qui est inversé, ce sont les *directions avant/arrière* : Placez-vous de profil et tournez la tête vers le miroir ; alors votre image vous regarde, c'est-à-dire qu'elle regarde dans la direction opposée à celle de votre regard. Si vous détournez la tête à l'opposé du miroir, votre image tournera la tête toujours dans la direction opposée.

Allongez-vous maintenant sur le ventre devant votre miroir. La pièce derrière vous vous apparaîtra inversée droite/gauche selon un axe vertical ; mais votre corps vous semblera inversé droite/gauche selon l'axe horizontal qui vous traverse de la tête aux pieds. C'est un exemple pour comprendre que nous interprétons la réflexion spéculaire comme une rotation selon un axe qui dépend de ce qu'on observe... J'ai la tête qui tourne, je vais m'offrir une bonne glace, mais à la vanille.

Un coup de scotch

Il ne s'agit pas ici de l'apéritif, mais du ruban adhésif. On peut se rendre compte des transformations moléculaires qu'il subit selon la façon dont on le déroule ! Pour le voir, procurez-vous un rouleau de scotch transparent avec dérouleur.

Saisissez fermement votre dérouleur d'une main et tirez fortement sur le ruban, de façon à le dérouler le plus vite possible. Le

ruban déroulé doit rester parfaitement transparent. Mettez de côté ce que vous avez déroulé et recommencez à dérouler le ruban, mais cette fois très lentement : 1 mm par seconde par exemple. Regardez tout près du rouleau : surprise ! Le ruban devient opaque, et peut même le rester. Pourquoi ?



La réponse tient à la structure de l'adhésif déposé sur le plastique. Ce sont des filaments qui réagissent différemment selon la vitesse à laquelle vous tirez dessus. Quand vous tirez lentement, ces filaments se déroulent, s'allongent fortement, puis finissent par se casser ; ils s'emmêlent alors les uns aux autres et forment un réseau opaque. Quand vous tirez violemment, les filaments n'ont pas le temps de s'allonger, ils cassent immédiatement et le ruban reste transparent. Ces filaments peuvent se voir avec une bonne loupe.

On peut comparer cette situation à ce qui se passe avec du miel ou avec un fil : le miel (liquide) étiré lentement forme un long filet avant de casser. Un fil tiré brusquement casse presque sans s'étirer, comme les polymères formant l'adhésif du ruban. Cette propriété s'appelle la *viscoélasticité*.

Si maintenant vous mettez votre ruban adhésif quelques instants au congélateur avant de le tirer, l'effet précédent ne se produit plus : la température basse a « figé » les filaments qui n'ont plus le temps de se dérouler avant de casser, même si vous tirez lentement. Le froid leur a fait perdre leur élasticité, comme pour un élastique gelé qui devient cassant.

Reprenez pour finir vos deux morceaux de ruban, qui doivent être assez longs : 30 cm au moins. Fixez le haut de chacun sur un doigt à chaque main. Placez vos doigts à 10 cm de distance environ : vous les verrez se repousser ! En les déroulant, vous les aviez chargés d'électricité statique de même signe. Demandez alors à quelqu'un de placer une allumette enflammée ou un briquet entre les deux rubans suspendus, en bas : ils reviennent à la verticale... car la flamme a créé des *ions* dans l'air, atomes ou molécules chargés électriquement. Ces ions rendent l'air conducteur, et le courant qui se crée décharge les deux rubans. Des petites découvertes à consommer sans modération, elles...

Un bon coup à boire

Peut-être avez-vous lu ou entendu dire qu'on peut déboucher une bouteille sans tire-bouchon, uniquement en tapant dessus ? C'est exact. Voici comment et pourquoi.

Tapez le « cul » de la bouteille contre une surface dure et verticale : tronc d'arbre, mur... mais en ayant pris soin de vous protéger les mains avec un chiffon et en ayant mis une serpillière par terre pour parer à un éventuel bris de glace. En tapant un coup sec, pas trop fort pour ne rien casser, et en répétant l'opération, le bouchon sort petit à petit.



Le truc réside dans une analyse mécanique élémentaire : pour que le bouchon sorte, il faut et suffit qu'une force s'exerce sur lui, vers l'extérieur. Le mur donne un coup d'arrêt à la bouteille, ce qui lui fait subir une forte accélération et la déforme en longueur : l'énergie associée se propage ensuite dans la bouteille et le vin sous forme d'onde de choc. En arrivant dans le col de la bouteille, cette onde augmente d'ailleurs son amplitude car la bouteille est plus étroite alors que l'énergie est toujours la même.

Le col subit une compression puis une dilatation qui ont pour effet de déplacer le bouchon hors de la bouteille.

Faites bien attention si vous tentez l'expérience, et ne la faites qu'avec un vin qui ne casse pas de briques...

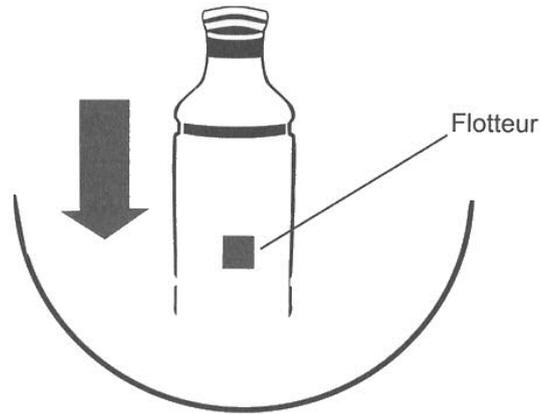
Banzaï !

Certains adeptes des arts martiaux arrivent à casser un fond de bouteille simplement en la tenant par le goulot, avec un seul coup sec. La fameuse image du karatéka casseur de planches s'explique de la même façon : il tape très rapidement, assez pour que sa main ne touche plus la planche quand l'onde de choc revient. Toute l'énergie est alors transmise à la planche qui se casse, sans dommages pour la main.

L'air de rien

L'air étant invisible, ce n'est que par des manifestations indirectes qu'il manifeste son existence. Voyons-en quelques-unes liées à la pression atmosphérique, elle-même due au poids de l'air. Nous allons faire descendre un flotteur, sans le toucher.

Prenez un saladier rempli à moitié d'eau, le haut d'une bouteille plastique que vous aurez coupée en deux, et un petit flotteur (un morceau de liège ou de polystyrène par exemple). Après avoir placé ce dernier sur l'eau, coiffez-le avec la bouteille (bouchée) et posez-vous la question : que va-t-il se passer quand je vais enfoncer la bouteille (sans toucher le flotteur) ? Et faites-le !



Était-ce prévu ? Pour bien comprendre, refaites la même chose, mais une fois que la bouteille et donc aussi le flotteur sont descendus, débouchez la bouteille... Ou bien encore, avant de commencer l'expérience, faites un petit trou avec la pointe d'un compas ou un clou dans le haut de la bouteille, rebouchez-le avec un peu de pâte adhésive, faites descendre et débouchez le trou. Vous verrez alors le flotteur remonter doucement... Vous pouvez mettre un doigt tout près du petit trou pour sentir le filet d'air qui s'échappe de la bouteille. Le flotteur remontera jusqu'à ce que les niveaux intérieur et extérieur de l'eau soient identiques.

La beauté de cette petite expérience, c'est que le flotteur ne coule pas. C'est la surface de l'eau dans la bouteille qui descend et le flotteur avec. L'air emprisonné dans la bouteille pousse la surface de l'eau vers le bas. Et la bouteille débouchée laisse une partie de l'air sortir de la bouteille, ce qui permet à l'eau et au flotteur de remonter...

Un petit jeu maintenant, qui ne coûte pas cher et emporte l'enthousiasme des petits : Prenez deux feuilles A4 et placez-les

verticalement devant votre bouche, à 3 cm l'une de l'autre ; puis soufflez vivement entre les feuilles ! Les deux feuilles se rapprochent... pourquoi ? La pression de l'air, encore ! Le vent créé entre les feuilles la fait diminuer à cet endroit, et la pression atmosphérique fait le reste !

C'est pô juste !

Une petite expérience pour apprendre à nous méfier de nos idées préconçues. Procurez-vous un petit tube ouvert de 1 cm de diamètre et 10 cm de long environ, et deux ballons de baudruche identiques. Gonflez un peu l'un des ballons, fixez-le à un bout du tube en faisant pénétrer celui-ci d'un bon centimètre dans l'embouchure du ballon. Fixez l'ensemble avec du ruban adhésif pour éviter les fuites. Faites la même chose de l'autre côté, mais en gonflant nettement plus ce deuxième ballon et en empêchant l'air de passer d'un ballon à l'autre en le pinçant près de l'embouchure ; puis demandez-vous : que va-t-il arriver si je permets à l'air de passer ? Et faites-le... Étonnant, non (comme eût dit le regretté Desproges) ?

Bien que la pression s'égalise, c'est le petit ballon qui se vide un peu dans le grand ! La physique, ce n'est vraiment pas démocratique... Pour comprendre, pensez à ce qui se passe quand vous gonflez un ballon : le moment où c'est le plus difficile est au début, car à ce moment-là la pression interne que vous devez vaincre est forte. Puis cette pression diminue pour réaugmenter à la fin. La pression dans un ballon peu gonflé peut donc équilibrer celle d'un ballon plus gros. Bien entendu, il y a des ballons plus ou moins agréables dans lesquels on nous invite à souffler...

La **Q**uestion du jour

Avec la demi-bouteille, comment donner l'impression qu'une bougie brûle sous l'eau ?

Réponse p. 169

► **Indice**

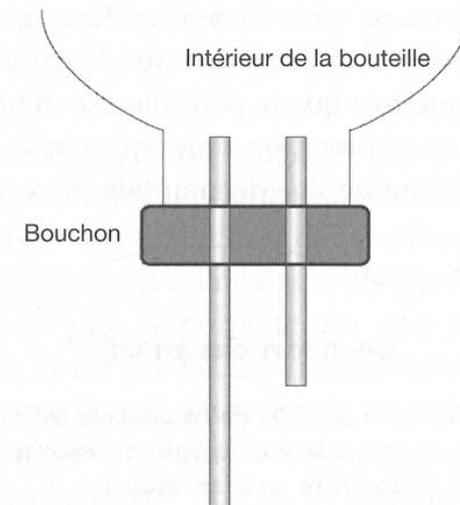
Il existe des petites bougies (chauffe-plats) qui flottent

Un siphon, phon, phon...

Prenez le pari que vous êtes capable de vider un récipient avec deux pailles... et une bouteille de plastique !

Commencez par percer le bouchon plastique (en étant prudent), de façon à y introduire les deux pailles après avoir coupé l'une d'entre elles.

Remplissez la bouteille d'eau. Bouchez provisoirement la petite paille avec de la pâte adhésive par exemple, puis mettez le bouchon et enfoncez les pailles, jusqu'à ce qu'un peu d'eau sorte par la plus grande. Mettez un peu de colle autour des pailles à l'extérieur pour avoir une bonne étanchéité. Vous pouvez maintenant déboucher la petite paille, en y introduisant une aiguille à tricoter par exemple. C'est prêt !



Pour vider un récipient, renversez la bouteille toujours pleine de façon à faire tremper la grande paille dans celui-ci, et il se videra par la petite...

Mettons les pendules à l'heure

Voici une petite manip facile et qui vous donnera un exemple de tâtonnement expérimental. Sur le bord d'une table, fixez solidement une ficelle (en l'accrochant à une règle elle-même coincée sous une pile de livres, par exemple) et accrochez un objet un peu lourd mais pas trop volumineux (un gros écrou, un poids de balance Roberval...). Écartez-le un peu de la verticale et lâchez-le, sans le lancer : il se met à osciller. C'est un pendule, qui a donné son nom aux horloges fonctionnant avec un balancier.

Maintenant le défi est celui-ci : vous devez faire en sorte que votre pendule « batte la seconde », c'est-à-dire qu'entre chacune

des positions extrêmes, où il s'arrête et fait demi-tour, il doit mettre une seconde. Comprenons-nous bien; si je compte à haute voix à chaque fois que le pendule est en bout de course, au maximum de sa hauteur, on doit entendre : « un... deux... trois... quatre... » comme si je décomptais les secondes.

Le coin du prof

Pour les physiciens, la période de ce pendule est deux secondes, car pour revenir à la même position *exactement* il met deux secondes (il doit faire un aller-retour).

Je vous laisse modifier votre pendule jusqu'à obtenir un chronomètre convenable. Je vous rappelle que vous ne devez pas lancer le pendule, mais le lâcher sans élan. En revanche, vous avez le droit de modifier ce que vous voulez : grosseur de la ficelle, longueur, angle de départ entre la ficelle et la verticale, masse de l'objet suspendu, etc.

Si vous avez vraiment joué le jeu, vous avez pu vous apercevoir que, contrairement à ce que nous dicte l'intuition, ni l'angle de départ, ni (et c'est le plus étonnant) la masse accrochée n'ont d'incidence sur la période du pendule ! Celle-ci ne peut être changée que si l'on fait varier la *longueur* du pendule, une plus grande longueur donnant une plus grande période.

Expliquons rapidement ce résultat avant de poursuivre. Une lourde masse accrochée au fil pèsera plus qu'une petite, et on peut penser qu'elle devrait descendre plus vite... Sauf qu'une grande masse est aussi plus difficile à déplacer que la petite (son

inertie est plus grande); et le miracle, c'est que... les deux effets se compensent exactement ! Ainsi la période d'un pendule ne dépend pas de sa masse.

Qu'en est-il maintenant de l'angle de départ ? Tant que celui-ci reste dans des limites raisonnables, disons une trentaine de degrés, alors la période est inchangée : si on augmente l'angle la trajectoire va s'en trouver rallongée, mais elle sera aussi parcourue à une vitesse plus importante. En effet plus la masse est écartée, plus le fil est proche de l'horizontale et plus le poids (vertical) de la masse agit. En toute rigueur, ceci n'est vraiment le cas que si l'angle de départ n'est pas trop grand, mais vous pouvez lire dans l'encart « Tic ! Tac ! » comment l'on fait depuis 350 ans pour contourner cet obstacle.

Finalement, il ne reste que la longueur du fil comme paramètre. Mais la relation entre longueur et période n'est pas une simple proportionnalité, ce serait trop simple ! La période est proportionnelle à la *racine carrée* de la longueur. Si, par exemple, vous voulez obtenir une période moitié de la précédente, il vous faudra réduire la longueur du fil au *quart* de sa longueur initiale. Voilà pourquoi il y a principalement deux types d'horloges : les grandes, type Franc-Comtoises, qui font deux mètres de hauteur, avec une période physique de 2 secondes (un « tic » à l'aller, un « tac » au retour avec une seconde entre chaque). Et les petites, souvent murales, de période une seconde, dont le balancier est quatre fois plus court (un aller-retour par seconde pour chaque « tic-tac »).

À noter que le premier à avoir décrit cet état de chose fut Galilée, mais il ne le fit pas comme le veut la légende en regardant les oscillations d'une lampe accrochée dans la cathédrale de Pise, car la lampe n'y fut accrochée que plusieurs années après son départ pour Padoue.

Tic ! Tac !

Pour passer de ce système à une vraie horloge, il manque plusieurs éléments : une source d'énergie, d'abord ; les oscillations de votre système s'amortissent, il y a des frottements au niveau du point d'attache de la ficelle, l'air freine le mouvement, etc. Dans nos pendules de grand-mère cette énergie est fournie par un poids qui descend lentement, et qu'il faudra faire remonter quand il sera complètement descendu (d'où le sens de l'expression « remonter une pendule ») ! Dans les petites horloges mécaniques à balancier, c'est un ressort que l'on « remonte » et c'est en se détendant qu'il fournit l'énergie à l'ensemble du mécanisme.

Il faut aussi un système de découpage du temps, pour que le poids ne descende pas d'un seul coup, mais délivre son énergie graduellement, et surtout régulièrement, au mécanisme ; et ceci, c'est justement le pendule qui l'assure, en faisant des allers-retours réguliers, et à chaque fois en permettant au poids qui descend (ou au ressort qui se détend) de faire bouger un tout petit peu les engrenages liés aux aiguilles. Le mécanisme faisant la liaison entre pendule et engrenages s'appelle l'échappement, et Galilée a aussi travaillé dessus ; mais le grand homme des pendules, un demi-siècle après Galilée, est hollandais et s'appelle Christiaan Huyghens.

Ce qu'a réalisé Huyghens, c'est en fait de rendre les oscillations du pendule vraiment *isochrones*, indépendamment de l'angle dont on l'écarte au départ. Il est parti du constat que quand l'angle devient trop grand, le pendule finit par retarder : les oscillations sont un peu trop lentes. Comment ne pas lui faire prendre de retard ? Le plus simplement du monde, en diminuant très légèrement la longueur du pendule quand il est en haut de sa course, en enroulant un peu le fil sur une courbe bien précise...

...

Quelle courbe ? C'est tout le mérite de Huyghens de l'avoir trouvé et démontré : il s'agit d'une *cycloïde*, la même trajectoire que celle qu'effectue la valve de votre roue de voiture ou de vélo quand vous roulez ! Cycloïde ou pas, en voilà un qui n'avait pas de petit vélo dans la tête...

La Question du jour

On a, lors de la Révolution Française, envisagé de fixer l'unité de mesure de longueur en se basant sur un pendule. Pourquoi ?

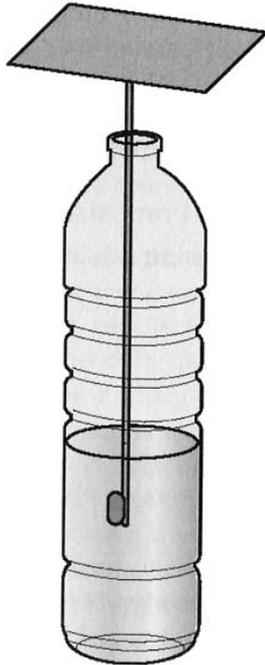
Réponse p. 171**► Indice**

Mesurez la longueur du pendule qui bat la seconde (période : 2 secondes).

Savez-vous peser avec de l'eau ?

Prenez une bouteille d'eau minérale vide, une paille, un lest (un peu de pâte à modeler par exemple) et un petit carré de carton rigide : ce sera le plateau de la balance. Vous pouvez relever les bords du carré de carton pour pouvoir y mettre divers petits objets. Fixez ensuite ce carton à une extrémité de la paille, bien

au centre et perpendiculairement à celle-ci avec un peu de colle ou de pâte à modeler. Puis mettez un peu de pâte à modeler *dans* la paille, à l'autre bout. Plongez ce bout dans la bouteille remplie d'eau. Elle doit flotter verticalement, et vous devez ajuster la quantité de pâte à modeler pour avoir une bonne moitié de la paille qui émerge.



Remarque : pour plus de stabilité vous pouvez aussi utiliser plusieurs pailles fixées ensemble.

Vous n'avez plus qu'à étalonner (graduer, si vous préférez) votre balance. Pour ce faire, mettez sur le plateau quelques (petites) masses *connues* en faisant une marque au stylo sur la paille tous les 1 ou 2 grammes par exemple. Vous ne disposez

pas de telles masses ? Utilisez des petits objets identiques (grains de riz, petits pois) en les pesant par 10 sur la balance de la cuisine. Vous aurez ainsi une bonne (petite) unité de masse... Vous pouvez aussi utiliser des feuilles de papier, coupées ou non : en qualité standard (80 g/m^2) une feuille A4 pèse 5 g.

L'essence de la luminescence

Si vous touchez une ampoule après qu'elle a été allumée un moment, vous vous brûlez ; mais ce n'est pas le cas avec un tube à fluorescence. Pourquoi ?

Nos bonnes vieilles ampoules à incandescence n'en ont plus pour très longtemps, après un gros siècle de bons et loyaux services. Il est vrai que, contrairement aux apparences, ce ne sont pas vraiment des ampoules lumineuses...

Si vous avez ne serait-ce qu'une fois changé une ampoule, vous savez bien que la première précaution à prendre (après avoir coupé le courant) est de la laisser refroidir. Ce simple constat est la preuve qu'une partie non négligeable de l'énergie dépensée (dans tous les sens du terme) s'est finalement transformée en chaleur. Or si on allume une ampoule, ce n'est pas pour se chauffer, mais pour s'éclairer, non ? De ce point de vue, la chaleur est une perte d'énergie, qui fait que le rendement de ces ampoules est loin de 100 %.

Une ampoule est un transformateur d'énergie, qui reçoit de l'énergie électrique pour la transformer en chaleur et en lumière. Quelle est la part de l'une et de l'autre ? Je vous engage à défier des invités à deviner la réponse : la part de l'énergie lumineuse, utile, est non pas de moitié, même pas même d'un quart, ni

même d'un dixième; elle est de 5 %, un vingtième de l'énergie de départ !

Passé encore en hiver, où finalement votre chauffage est donc toujours un peu électrique; mais en plein été, savoir qu'en allumant diverses ampoules, quand on dépense 10 €, c'est 9,5 pour se chauffer et seulement 50 centimes pour s'éclairer, cela donne à réfléchir...

La réponse à cet immense gâchis est connue et utilisée depuis des décennies : ce sont les lampes à fluorescence, souvent appelées « lampes au néon » (bien qu'il n'y ait pas un atome de cet élément à l'intérieur), « ampoules économiques » ou « fluocompactes ».

Ces lampes ont un rendement lumineux nettement supérieur aux lampes à incandescence : il est multiplié par quatre ou cinq selon les modèles; ça n'en fait pas des parangons d'efficacité mais c'est bien sûr un net progrès, et cela explique qu'elles chauffent très peu. Compte tenu par ailleurs de leur durée de vie très supérieure, elles reviennent donc effectivement moins cher (malgré leur prix d'achat plus élevé). Rappelons toutefois quelques précautions d'usage importantes.

La première relève du bon sens : certaines de ces ampoules sont de qualité médiocre, voire mauvaise (par exemple certaines fabriquées en Asie). Dans ce cas, même si vous y gagnez un peu à l'achat, vous finirez par y perdre car elles dureront moins longtemps et auront une lumière blafarde ou trop faible.

Précisément, pour vous assurer qu'une lampe donne une lumière de qualité, proche de celle du soleil, essayez-la un jour de beau temps : prenez un papier ou une étoffe d'un jaune criard, et un autre d'un rouge bien vif. Après les avoir regardés au soleil, regardez-les à la seule lumière de l'ampoule (dans une

pièce sans fenêtre, par exemple). Si les couleurs vous semblent trop différentes, c'est que l'ampoule ne donne pas une lumière assez proche de la lumière naturelle; choisissez un autre modèle !

Un dernier critère à prendre en compte est l'utilisation qu'on fait de ces ampoules. Ces dernières peuvent prendre quelques secondes pour éclairer correctement; plus ce temps est bref, plus leur qualité est bonne. Mais ces allumages successifs diminuent leur durée de vie, au point qu'elles sont à déconseiller dans un endroit où l'on passe peu de temps comme un couloir; et si vous savez que vous allez revenir dans la pièce avant trois minutes, alors il est plus économique de les laisser allumées, contrairement à ce que nous dit notre intuition écologique... Elles ne sont pas bien adaptées non plus à des interrupteurs à variateur.

En résumé, s'il reste bien du travail à nos ingénieurs pour trouver la lampe idéale, essayons au moins de ne pas utiliser la pire...

Un petit nid douillet

Vous voulez connaître la température qu'il fait chez vous, mais vous n'avez pas de thermomètre ? Rien de plus simple !

Pour ceux qui ont un thermostat « ancien », c'est-à-dire manuel, voici une façon élémentaire de connaître la température à l'endroit du thermostat. Si nous sommes en hiver, vous allez augmenter la température de commande du thermostat petit à petit, et à un certain moment vous allez entendre un petit « clac » (par exemple à 22 °C), qui correspond à la commande

de votre chaudière ; si celle-ci est en position chauffage, elle s'allumera. Si vous redescendez votre bouton de température, la chaudière s'arrête, par exemple à 20 °C.

Un peu de technique

En fait, quand vous descendez le bouton de commande, la chaudière s'arrête à une température un peu plus basse (19 °C dans mon exemple) que celle où elle s'est mise en route en montant (21 °C). Pourquoi ? Parce que sinon votre chaudière chaufferait jusqu'à la température choisie par vous (mettons par exemple 20 °C), puis s'arrêterait. La température redescendant (il suffit d'ouvrir la porte d'entrée), elle se remettrait en route un court instant pour atteindre 20 °C, s'arrêterait alors à nouveau, puis repartirait à la plus petite chute de température, et ainsi de suite...

Pour éviter ce fonctionnement par à-coups, on laisse la température monter un peu plus (1 °C de plus par exemple) en chauffage, et redescendre un peu en dessous (19 °C) de la température choisie. Les physiciens appellent cela l'*hystérésis*. On peut régler celui-ci sur les thermostats modernes. Vous pouvez donc connaître la température réelle en cherchant les deux valeurs, de déclenchement et d'arrêt : elle est entre ces deux valeurs.

Au passage, vous pouvez comparer avec celle d'un thermomètre placé près d'une fenêtre, et si cette dernière est vraiment très différente, c'est que votre isolation pourrait être améliorée...

Pour un thermostat électronique le principe est le même : en augmentant petit à petit la température de commande, la chaudière finit par se mettre en route. Quelle est la température de

votre intérieur ? Elle se trouve à mi-chemin entre les deux valeurs, autour de 21 °C dans mon exemple. Inutile de dire que cette méthode fonctionne en toute saison, il suffit que la chaudière soit allumée.

Vous pouvez utiliser cette méthode pour connaître la température de votre four, lorsqu'il est déjà chaud, mais pas encore à la bonne température (le témoin de chauffe est donc allumé) : vous diminuez le thermostat et le témoin s'éteint ; vous augmentez et il se rallume : la température réelle du four se trouve entre les deux. Ceci vous aidera à savoir si le four doit chauffer encore longtemps pour être à la bonne température. Bon appétit !

**Voyages,
voyages**

En voiture, Simone !

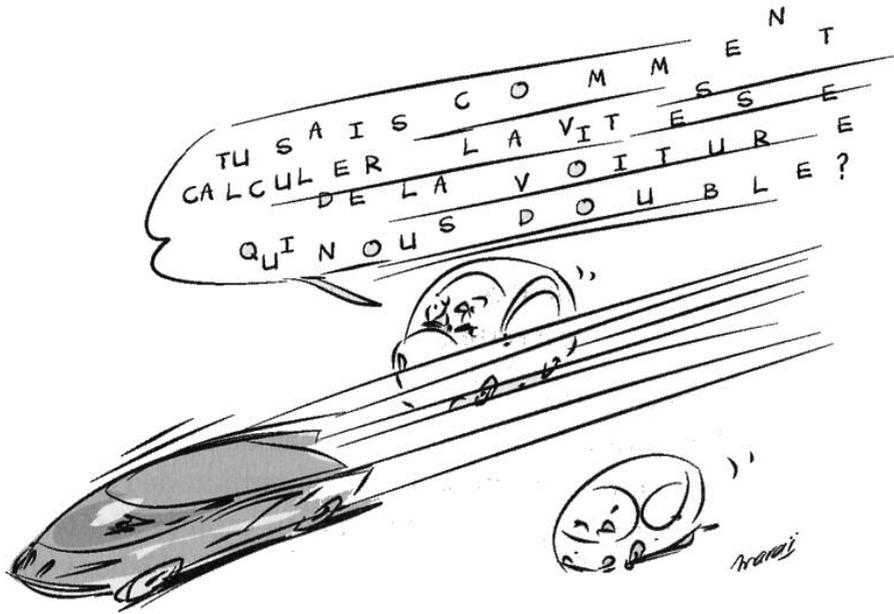
Les voyages en voiture sont parfois bien longs et fastidieux, mais ils sont aussi la source inattendue de bien des jeux.

Chacun s'est vu souvent doublé par plus rapide que soi sur l'autoroute (ou ailleurs), en étant soi-même à la vitesse limite, et donc en râlant pour le principe... avec parfois un fond d'envie. Mais à quelle vitesse roulait cet inconscient ? La physique donne une réponse très simple à cette question.

Supposons que vous soyez sur autoroute, à 130 km/h, bien sagement. Une voiture rouge (ne citons pas de marques) vous dépasse et vous en profitez pour attirer l'attention de l'aîné qui commençait à se disputer avec sa sœur. Pour estimer sa vitesse, c'est très simple : il suffit de vous imaginer – sans relâcher votre attention – à l'arrêt. Oui, à l'arrêt total. Alors dans ce cas, si vous étiez garé, à quelle vitesse estimez-vous que la F... pardon, la voiture rouge roulerait ? Si elle vous dépasse à la vitesse d'un piéton, ce sera 4 km/h ; d'une bicyclette, ce sera environ 20 km/h ; à la vitesse d'un cyclomoteur, 40 km/h ; plus vite ? Je ne l'ose imaginer... d'ailleurs il devient très difficile d'estimer la vitesse

de quelqu'un qui vous double en roulant beaucoup plus vite que vous.

Cette vitesse estimée s'appelle la vitesse relative (du fou par rapport à vous). Vous avez déjà deviné la suite : il suffit d'ajouter cette vitesse relative à la vôtre pour obtenir une bonne estimation de celle du chauffard. Dans mon exemple, s'il vous double à une vitesse que vous estimez à celle d'une bicyclette, alors sa vitesse est : $130 + 20 = 150$ km/h. Il est à la limite de la deuxième catégorie d'amendes, celles à 135 euros... mais ça, c'est son problème, n'est-ce pas ?



Bien entendu cette méthode fonctionne aussi dans l'autre sens : si vous êtes en train de doubler (enfin) une caravane après 15 km, que vous la doublez à la vitesse relative de 20 km/h avec votre compteur à 90 km/h, c'est que cet escargot (avec sa coquille)

se traîne à $90 - 20 = 70$ km/h. Élémentaire, n'est-il pas ? N'oubliez pas quand même qu'on a tendance à surestimer les vitesses relatives des autres, et à sous-estimer la sienne... vive les régulateurs !

Roulons sous la pluie...

Tout autre est la situation où il faut faire bien attention à la route parce qu'il pleut. Aussi c'est l'un de vos passagers qui va vous aider à... mesurer la vitesse de chute de la pluie.

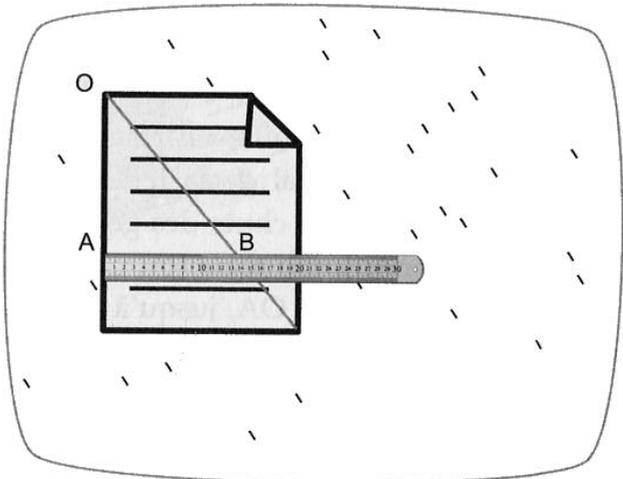
Supposons qu'il n'y ait pas ou peu de vent, car cela fausserait nos mesures. Quand on est immobile, en l'absence de vent les gouttes d'eau tombent verticalement, non ? C'est quand on avance que les trajectoires s'inclinent par rapport à nous, et ce d'autant plus que l'on va vite. Dans le cas de la voiture qui roule, une goutte qui arrive en haut et à l'avant d'une vitre latérale ne se retrouve *pas* en bas et à l'avant de cette vitre un peu plus tard ; car dans l'intervalle la voiture a avancé et la goutte se retrouve en bas (elle tombe) et à l'arrière de la vitre (la voiture avance).

Sur notre vitre, mettons une feuille à carreaux de grand côté OA parallèle au montant vertical de la fenêtre. Puis traçons dessus la direction apparente de chute des gouttes OB (voir le schéma). Ensuite descendons une règle (ou une autre feuille à carreaux) horizontale le long de OA, jusqu'à trouver un écart AB entre les droites qui soit en rapport simple avec la vitesse de notre voiture (30 cm si on va à 90 km/h par exemple). Alors on marque les points A et B et c'est fini ! Il n'y a plus qu'à mesurer OA, c'est la vitesse cherchée !

Pluie et lumière, même combat

L'exemple que l'on prend souvent pour illustrer ce phénomène (appelé *aberration*) est celui d'un(e) passant(e) qui a besoin d'incliner son parapluie quand il (elle) marche pour ne pas se mouiller, et ce d'autant plus qu'il (elle) marche vite. Les astronomes connaissent bien ce phénomène pour la lumière, il a même constitué la première preuve physique du mouvement de la Terre au début du XVIII^e siècle.

Si dans mon exemple on trouve $OA = 45$ cm, soit une fois et demi 30 cm, c'est que la vitesse des gouttes est une fois et demi celle de la voiture : $90 \times 1,5 = 135$ km/h. On peut très bien faire deux mesures à deux vitesses différentes pour plus de précision... Dis, papa, c'est quand qu'il pleut ?



Le coin des matheux

Les trois grandeurs évoquées dans le texte sont liées par la relation : $V_p = V_v \cdot \cot a$, où V_v est la vitesse de la voiture, V_p celle de la pluie et a l'angle d'inclinaison de la trajectoire des gouttes dans le référentiel de la voiture. La vitesse de la voiture est représentée par AB, celle recherchée de chute des gouttes par OA. OB représente alors la vitesse de chute des gouttes par rapport à la voiture.

La Question du jour

Qu'est-ce qui assure la cohésion des nuages ? Faits de gouttes d'eau, ne devraient-ils pas se disloquer aussitôt formés ?

Réponse p. 161

► Indice

En effet, ils n'ont pas vraiment de cohésion ; est-ce que ce sont bien les *mêmes* gouttelettes ?

Doppler fait son effet

Pas besoin que le train siffle trois fois pour remarquer que la hauteur d'un son n'est pas la même quand une source sonore s'approche et quand elle s'éloigne : vous êtes au volant de votre voiture et vous croisez une ambulance. « iiii-oooo », entendez-vous. Puis l'ambulance s'éloigne et la sirène devient plus grave. Plus l'ambulance se déplace vite, et plus cet effet est important, donc sensible. Pourquoi le son est-il plus aigu quand la source sonore s'approche, et plus grave quand elle s'éloigne ?

Christiaan Doppler a quantifié cet effet, mis en évidence en 1842 d'une façon originale par Christoph Buys Ballot : celui-ci a fait jouer des trompettistes sur un train ouvert, en comparant la hauteur du son avec d'autres qui jouaient la même note sur le quai... Si l'on voulait répéter cette expérience de nos jours, il faudrait faire jouer un « do » par un instrumentiste, emporté dans une voiture décapotable se déplaçant à 70 km/h : les spectateurs à l'arrêt entendraient alors un do dièse quand la voiture se rapprocherait, puis un si !

Bien entendu, cet effet est le même si c'est le récepteur qui se déplace ; seule compte la vitesse *relative* de l'émetteur et du récepteur : les ondes sonores sont comme « tassées » quand elles se rapprochent, et « étirées » dans le cas contraire. À noter que le vent peut changer l'effet Doppler, car sa vitesse se surimpose à celles de l'émetteur et du récepteur.

Cet effet est très général, il existe dès que des ondes mécaniques se déplacent dans un milieu (eau, air, etc.).

Doppler frappe encore

C'est encore vous, au volant de votre voiture. Vous roulez un peu trop vite et, tout à coup, le flash redouté survient : vous venez d'être repéré par un radar.

Ces radars envoient des micro-ondes vers votre voiture (ou camion, ou moto, voire bicyclette) et celles-ci sont donc réfléchies et reviennent au radar : elles reviennent soit plus élevées en fréquence quand vous vous approchez (radars à flash avant), soit plus basses (radars à flash arrière). À partir de ce décalage Doppler, un petit système électronique calcule très vite votre vitesse et déclenche (parfois) la machinerie administrativo-financière que l'on sait...

À noter que la soi-disant « tolérance » des 5 km/h vient en réalité du fait qu'aucun appareil de mesure n'a une précision parfaite, et que c'est donc surtout de la marge d'erreur de l'appareil dont on vous fait bénéficier, comme la loi l'impose !

Prenez maintenant un peu de hauteur et levez les yeux vers l'infini des étoiles (bien sûr, entre-temps vous avez arrêté votre voiture). En 1927, un astronome américain du nom d'Edwin Hubble s'avisait de mesurer par effet Doppler la vitesse des autres galaxies par rapport à la nôtre. Et il s'aperçut d'une chose inouïe pour l'époque, à savoir qu'il existait un mouvement d'ensemble de toutes ces galaxies, qui toutes s'éloignaient de la nôtre ! Le grand Copernic aurait-il eu tort ? Serions-nous le vrai centre de l'Univers ? Non, car la situation est la suivante : tout s'éloigne de tout !

Prenez un ballon, gonflez-le légèrement et marquez des taches de feutre qui figureront les galaxies. Puis gonflez-le franche-

ment en regardant ce que font les taches : elles s'éloignent toutes les unes des autres. Donc, si l'on est sur l'une quelconque d'entre elles on voit toutes les autres s'éloigner... Nicolas, tu peux te reposer en paix.

Boum !

Hubble ne s'est pas arrêté en si bon chemin (il était déjà loin), et avec des mesures indirectes de distance il a pu montrer que les galaxies s'éloignent de nous d'autant plus vite qu'elles sont éloignées ! Cela a permis d'imaginer une méthode pour mesurer des distances... astronomiques.

Les galaxies présentent toutes un « décalage vers le rouge », (*redshift* pour les anglophiles), qui est la marque de leur vitesse d'éloignement par rapport à nous ; mais alors, se dit Edwin, si on passe le film à l'envers, les galaxies se rapprochent de plus en plus en remontant le temps, et à un moment il a bien fallu qu'elles soient toutes au même endroit !

Naissance du monde ? Cette origine de l'expansion a connu un succès médiatique certain sous le nom de « Grand Boum » (ou *Big Bang* pour les mêmes), et est maintenant acceptée comme un élément « standard » dans la trousse à outils des cosmologistes.

Remarque : l'expansion de l'Univers était tellement peu dans les mentalités de l'époque que même le grand Albert (Einstein) l'a refusée dans un premier temps et a modifié ses équations en conséquence, alors qu'elle était clairement contenue dans sa théorie... comme quoi même les génies ont leurs préjugés qui les égarent, ça console un peu...

La Question du jour

Comment peut-on utiliser l'effet Doppler pour étudier la rotation du Soleil sur lui-même ?

Réponse p. 167

► Indice

Il s'agit ici de pouvoir *mesurer* cette vitesse de rotation à partir de la Terre.

La course des courses

Voici quelques idées pour épargner un peu de fatigue à nos aventuriers (plus souvent -rières) de la tête de gondole.

Pour charger des packs d'eau, chacun (ou presque) a remarqué qu'il est plus astucieux de les mettre près de soi plutôt qu'à l'avant du chariot. On doit pousser de la même manière quand on va tout droit, mais c'est quand on doit *tourner* que la différence se fait sentir. Pourquoi ? Pour dire les choses simplement, à cause d'un principe très général mis en œuvre dès qu'il y a une rotation (et nous en effectuons des centaines par jour !) : on pourrait l'appeler le principe du levier.

Une façon simple de vivre ce principe, c'est de pousser une porte chez vous, près de la poignée d'abord, puis près de l'axe ensuite. Vous avez maintenant compris pourquoi les poignées de porte sont placées à l'opposé des gonds...

Dans notre chariot, il est même possible que l'on puisse poser l'eau sous la barre, à l'extérieur du chariot : l'effort est ainsi

Soyons précis

L'énoncé élémentaire du principe du levier nous dit que plus une force qui fait tourner un objet est appliquée loin de l'axe de rotation, plus son effet est important. Dans le cas des chariots, quand on tourne, c'est le poids de l'eau (ou de la bière, ou autre...) qui résiste à la rotation : l'axe de celle-ci est vertical et passe à peu près au milieu de la barre horizontale que l'on a en mains. Une masse importante loin de cet axe aura un effet important, qu'il faudra vaincre pour faire tourner le chariot.

minimisé. Essayez, rien que pour voir, de comparer en mettant l'eau tout à l'avant du chariot...

Passons à la façon de tourner. Supposons que vous ayez repéré les yaourts de votre chéri(e) dans un rayon à votre droite. Bien. Spontanément, sans que personne vous l'ait jamais dit, votre main *gauche* pousse vers l'*avant* et la *droite* a tendance à *tirer* le chariot vers vous.

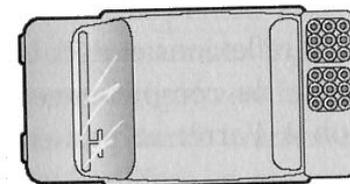
D'accord, mais comment tourner avec moins d'effort ? Avec la loi du levier, bien sûr ! Plus vos mains sont éloignées de l'axe de rotation (placé dans ce cas au milieu de la barre), et plus l'effet de rotation sera important. Amusez-vous à rapprocher les mains pour sentir la différence... Il est presque impossible de tourner un chariot, même vide, avec les mains à 10 cm l'une de l'autre... Voilà pourquoi vous écartez les mains sans jamais avoir fait de physique quand vous devez tourner et que le chariot est un peu lourd ! L'effet maximal correspond aux deux



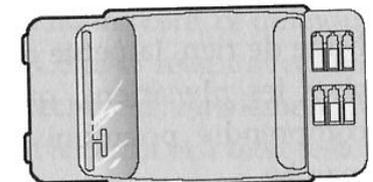
mains sur les côtés du chariot, mais ce n'est pas l'idéal pour pousser droit...

Un dernier petit truc : vous êtes devant votre coffre de voiture et vous voudriez que l'eau ne risque pas d'écraser des fruits, légumes ou œufs pendant le retour ; alors ne mettez pas vos packs en longueur, c'est-à-dire avec la plus grande dimension parallèle à la voiture Mettez-les plutôt perpendiculairement.

Pas comme ceci :



Mais comme cela :



Pourquoi ? Parce que deux types de forces vont les secouer : d'avant en arrière quand vous accélérerez ou freinerez, et de droite à gauche quand vous tournerez. Or ce sont ces dernières, et de loin, qui sont les plus importantes ; et l'eau sera beaucoup plus stable et moins sensible aux virages quand elle est dans la deuxième position. Idéalement vous pouvez même les coucher. Mais oui, c'est encore la loi du levier qui est à l'œuvre ici...

La **Q**uestion du jour

Quand on ferme les volets chez soi, à quel endroit est-il plus facile de les prendre pour les faire tourner ? Attention dans tous les cas à ne pas vous pencher !

Réponse p. 171

► **Indice**

L'idée est de rendre maximum l'effet, qui dépend de la force et de l'endroit où on l'applique.

À bicyclette

Mine de rien, la petite reine suscite encore réflexions et débats chez les physiciens, qui essaient toujours de complètement comprendre pourquoi diable tombe-t-on à l'arrêt et pas en marche...

La réponse classique à cette question de la stabilité fut formulée assez complètement par le chercheur ukrainien Stephen Timoshenko (1878-1972, belle longévité !) dans un traité publié en 1948. Selon lui, pour un cycliste qui tourne il y a deux forces opposées qui s'équilibrent : celle due à la gravité qui tend à le faire tomber, et celle opposée exercée par le sol, qui réagit aussi à la force exercée par le vélo et due à sa rotation. Oui, mais alors si on va en ligne droite ? La réponse est que dès qu'un petit déséquilibre se fait sentir, par exemple vers la gauche, instinctivement on tourne très légèrement le guidon dans cette même direction, ce qui fait apparaître une force centrifuge dirigée vers la droite et remet le vélo d'aplomb. La force centrifuge dépend de la vitesse, à l'arrêt elle est nulle et on ne peut donc pas s'équilibrer. C.Q.F.D.

Mais alors, comment peut-on rouler sans toucher le guidon ?

Prenez une roue de vélo, essayez de la maintenir en équilibre, posée verticalement sur le sol, sans bouger... Difficile ! Mais si vous la lancez vers l'avant elle roulera un certain temps sans tomber, tant que sa vitesse sera suffisante. C'est l'effet gyroscopique, dû à la conservation de ce que les physiciens appellent *moment angulaire* (« quantité de rotation »). Ainsi vous conduisez votre vélo sans toucher le guidon, et vous tournez sans les mains... En roulant, pour assurer l'équilibre on change légèrement (et instinctivement) notre position sur le vélo, ce qui agit sur le guidon (vérifiez). Mais pour tourner, à droite par exemple, on se penche avec notre destrier du même côté, ce qui nous fait pousser sur le sol vers la gauche. Celui-ci réagit avec une force dirigée vers la droite, d'où l'effet recherché. Finalement, le guidon sert à tourner... essentiellement à l'arrêt et à bien rester en équilibre en mouvement. C'est en penchant la bicyclette en

marche que l'on fait apparaître les forces qui vont en modifier la trajectoire et la faire tourner. Ce système est hautement instable à l'arrêt (inclinez un peu votre vélo, et le guidon tournera brusquement), mais c'est cette instabilité qui le rend facile à conduire en mouvement.

Disons maintenant un mot des forces qui sont à l'œuvre quand on pédale : comment la force de nos jambes, dirigée vers le bas sur le pédalier, se transforme-t-elle en force horizontale pour avancer ? Notons que nous pouvons augmenter cette force en nous mettant debout, car dans ce cas notre poids travaille pour nous ! C'est la position dite de la « danseuse » que seuls celles et ceux qui ont rencontré une vraie côte savent apprécier. La force du pied est transmise au plateau avant, puis par la chaîne au pignon arrière. Celui-ci est solidaire de la roue arrière et tend à la faire tourner. Et c'est cette roue arrière qui à son tour pousse sur le sol... vers l'arrière ! Lorsque le terrain ne peut pas opposer de frottements suffisants (sol mouillé, verglas) alors la roue dérape ; sinon le sol réagit en opposant une force vers l'avant, qui fait avancer le vélo et nous avec. À noter que ce principe de propulsion est universel : que faisons-nous d'autre avec nos pieds que de pousser le sol vers l'arrière, ce qui nous pousse en avant s'il y a suffisamment de frottements entre nos pieds et le sol ? Les frottements pour avancer, cela semble un peu paradoxal, mais c'est bien ce qui se passe.

De l'effort, des rapports et des vitesses

Le pignon transmet la force du pied à la roue, mais la valeur de cette force dépend du rapport de vitesse choisi. Pour démarrer, il est astucieux de mettre un petit plateau pour le pédalier et un grand pignon pour la roue, de façon à rendre maximale la force exercée sur la roue, donc sur la route ! Alors l'accélération de départ sera maximale elle aussi.

Lorsqu'on démarre avec un grand pignon, la force est importante mais la distance parcourue après un tour de roue est plus petite ; songez à ce qui change quand on rétrograde dans une côte : il est plus facile de pédaler mais on a parfois l'impression de faire du surplace ! En fait l'énergie que nous fournissons est fonction de deux paramètres : la force et la distance parcourue. C'est même le produit de la distance par la force, que les physiciens appellent « travail ». Ce que nous choisissons avec nos pignons de vélo, c'est la répartition : plus de force, moins de distance ; plus de distance, moins de force ! Ce dernier cas est adapté à la descente où notre poids (et celui du vélo) nous entraîne déjà : il est astucieux d'en profiter pour pousser sans trop se fatiguer... Vous pouvez voir ce qu'il en est en comparant la distance parcourue par votre vélo après un tour de pédalier sur le plus grand pignon, puis sur le plus petit. Encore une application du principe du levier...

Terminons avec quelques considérations énergétiques. L'idée est ici de diminuer les frottements afin de profiter au mieux de l'énergie que nous dépensons (même si elle est trois fois moins importante, pour la même distance, que ce qu'on dépense à

ped...). En ce qui concerne les frottements dus au roulement des pneus, le mieux est de diminuer la surface de contact entre pneus et route, ce qui se fait en les gonflant au maximum (notez que c'est vrai aussi pour les voitures, indépendamment de toutes les considérations de sécurité). Une petite pensée pour nos petits, car les petits pneus ont tendance à s'écraser d'avantage, et donc à opposer plus de frottements que les grands... Vérifiez bien la pression de leurs vélos !

Pour diminuer les frottements avec l'air, on peut déjà se pencher sur le guidon, avoir des vêtements les plus ajustés possibles, un casque bien profilé ; mais ce qui restera déterminant sera le vent. Par exemple, si vous voyagez avec un vent de face de 10 km/h, en roulant à seulement 20 km/h (par rapport à la route) vous serez dans un vent à 30 km/h, ce qui multiplie la « traînée » (les forces de frottement) à vaincre, par un coefficient 2,25... Même un vent de travers va vous freiner, d'autant plus que vous irez vite... En somme, en cas de grand vent, faites du vélo d'appartement : si l'aller vous a fatigué(e), au moins vous n'aurez pas le retour à faire...

La **Q**uestion du jour

Pourquoi dans une côte doit-on mettre un grand pignon (arrière) mais un petit plateau (devant) ?

Réponse p. 174

► **Indice**

Tout est dans les relations entre énergie (ou travail), effort (forces) et distance parcourue.

À gauche, toute !

Si nous avons peur de nous perdre dans la forêt, ce n'est pas à cause du grand méchant loup, mais parce que le risque de tourner en rond peut être réel. Voyons avec une expérience très simple, mais qui nécessite au moins deux ami(e)s, comment cela s'explique.

Placez-vous dans un endroit assez dégagé et horizontal, un pré ou un grand jardin. Choisissez un cobaye, bandez-lui les yeux et dites-lui qu'il va participer à une expérience pour faire progresser la connaissance (la sienne, surtout, mais il ne le sait pas encore). Le but sera de rejoindre une personne située à bonne distance, au moins 50 m. Faites tourner la victime sur elle-même une fois ou deux, puis demandez à la personne éloignée de l'appeler jusqu'à ce qu'elles soient orientées bien en face l'une de l'autre. Alors plus personne ne dit rien et l'« aveugle » peut partir. Dans l'immense majorité des cas, il rate la personne-cible, le plus souvent en se retrouvant à gauche... pourquoi ?

L'origine de cette tendance est que notre corps n'est pas exactement symétrique. En particulier, nous avons toujours une jambe plus musclée que l'autre. Et elle peut même être un peu plus longue ! Imperceptiblement mais régulièrement, cette jambe pousse sur le sol un peu plus que l'autre et finit par nous faire tourner en rond. Les personnes ayant la jambe dominante à droite, qui ne sont pas tous des droitiers, poussent un peu plus vers la gauche : d'où le résultat du jeu. Bien entendu, les autres ont tendance à tourner à droite. Voilà peut-être une raison de plus de discuter sans fin quand on est perdus ! D'autant que notre « œil directeur » peut lui aussi jouer un rôle, car il nous

fait nous diriger instinctivement du même côté que lui. Notre cerveau corrige bien sûr dans la vie courante, mais pour cela il lui faut des repères !

Voilà pourquoi nous finissons par tourner en rond en voulant aller toujours tout droit. Les animaux ayant perdu un œil se dirigent au début instinctivement de l'autre côté, et ce n'est qu'après quelques chocs qu'ils commencent à se régler. Je décline toute responsabilité si vous vérifiez sur votre compagnon domestique favori...



Du bon sens pour l'essence

Aujourd'hui, qui ne souhaite pas consommer le moins de carburant possible avec sa voiture ? C'est parfaitement faisable, mais pas n'importe comment : l'intuition et le sens commun, là encore, ne sont pas toujours nos meilleurs conseillers...

À l'arrêt, dès que ce celui-ci dépasse trente secondes, on consomme plus quand on laisse tourner le moteur ; aux feux rouges en particulier, il est pratiquement toujours payant d'éteindre son moteur. Seules les très anciennes voitures consomment plus au redémarrage. Regardez les autres feux, vous pourrez facilement anticiper et vous ne retarderez personne. Dans un bouchon, en regardant loin devant vous vous pouvez savoir s'il convient de couper le moteur ou pas, car en revanche des démarrages trop fréquents finissent par user votre démarreur.

Si vous êtes un adepte de l'aspiration, attention ! Ce qui fonctionne avec Hamilton le dimanche avec une Formule 1 s'avère extrêmement dangereux sur la route pour vous et moi : il faudrait se trouver à moins de 3 mètres de la voiture qui vous précède pour bénéficier de l'effet d'aspiration, d'ailleurs assez faible. Et le peu d'essence gagnée serait dérisoire devant les risques encourus (choc certain en cas de freinage brutal), sans compter les 90 € d'amende et le point de permis...

De même, le fait de passer au point mort dans une descente ne vous fera gagner qu'un ou deux centimes, complètement négligeables devant des comportements rationnels comme de baisser la climatisation ou le ventilateur de chauffage, qui peuvent faire baisser de 10 à 20 % votre facture à la pompe. Sans parler du danger : le frein moteur peut s'avérer vital.

Il y a en fait trois catégories d'économies possibles : celles touchant la voiture, le mode de conduite, et... le choix de prendre sa voiture ou pas.

Je ne m'étendrai pas sur le dernier point tellement il est évident ! Disons simplement que prendre ses pieds ou un vélo plutôt que sa voiture pour aller acheter le pain à 200 ou 300 mètres fera du bien à la nature, à votre santé, et... à votre porte-monnaie.

Votre voiture est très probablement source d'économies : vous laissez la galerie ou pire, un coffre de toit dessus ? De 100 à 300 € par an pour 10 000 km. Vous ne vérifiez la pression des pneus qu'au moment de partir en vacances ? 50 à 100 €. Vous laissez en permanence des objets traîner dans le coffre ? 150 €. Vous ne faites contrôler la carburation que lors des contrôles techniques ? 100 €. Si vous roulez deux fois plus ou que vous avez une grosse voiture, vous pouvez multiplier ces chiffres par 1,5 ou 2.

D'un point de vue physique, les deux sources de perte d'énergie d'un véhicule sont les frottements mécaniques (moteur, transmission) et les frottements des pneus et de l'air. Les premiers diminuent quand la vitesse augmente, contrairement à ce qu'on pourrait croire. Ceci grâce aux lubrifiants dont l'efficacité augmente avec la vitesse. Les frottements exercés par la route et l'air augmentent rapidement, eux, quand on va plus vite. Le meilleur rendement résulte donc forcément d'un compromis, d'autant que le moteur développe sa puissance maximale à un régime intermédiaire (situé souvent autour de 2 000 tours/min).

Les trois conseils importants sont alors : soyez zen, pas d'accélération ni de ralentissements brutaux : 10 à 20 % de gains. Soyez modéré(e), passez les vitesses dès que vous atteignez 2 000 tours/min : 20 % de mieux. Enfin soyez cool, prenez votre

temps : les vitesses les moins gourmandes sont par exemple 70 km/h pour un moteur de cylindrée 1 600, 80 km/h pour un moteur 1 300 (c'est la revanche des petits). Sur une route limitée à 90 km/h vous ne mettez qu'une minute de plus tous les 10 km ! Et sur autoroute, 120 km/h au lieu de 130 vous feront passer moins d'un quart d'heure de plus au volant pour 300 km. En plus de la diminution du stress, vous y gagnerez au moins 5 €, de quoi vous payer un café et un sandwich pendant la pause...

Feu et glace

Suer, c'est cool...

Pourquoi transpire-t-on quand on a chaud ? La sueur est surtout formée d'eau (salée), et c'est cette eau qui va nous rafraîchir, en s'évaporant. En effet, l'évaporation demande de la chaleur pour s'effectuer.

Une expérience très simple vous le fera ressentir. Procurez-vous de l'alcool, de l'éther ou tout autre corps bien volatil, c'est-à-dire qui s'évapore très facilement. Mettez-en un peu sur le visage, ou sur le haut du dos, sans frotter. Puis mettez-vous devant un ventilateur, ou demandez à quelqu'un de souffler doucement. Sentez-vous la sensation de froid ? Pourtant le souffle est chaud !

C'est ainsi que l'on peut soi-disant s'informer de la direction du vent : en mouillant son index et en le présentant en l'air, le côté qui refroidit le plus est celui exposé à la brise... d'où l'expression « estimation au doigt mouillé »...

Prenez deux bouteilles identiques, mettez de l'eau tiède dans les deux, puis enroulez des chiffons autour en mouillant l'un des deux. Mettez les bouteilles au soleil, et vous vous apercevrez après quelques minutes que celle qui est entourée du chif-

fon humide (même s'il est imbibé d'eau *chaude*) a refroidi plus vite que l'autre. Pourquoi ?

Pour la même raison que pour notre sueur : l'évaporation de l'eau prend de la chaleur, et fait refroidir la bouteille, comme elle nous refroidit et fait baisser notre température corporelle de plusieurs degrés, ce qui est sa raison d'être ; voilà pourquoi nous suons après un effort...



Halte au chaud !

Sortez trois glaçons identiques de votre congélateur, et mettez-les respectivement : dans une petite boîte métallique, au milieu d'un chandail ou d'une écharpe en laine, et sur une soucoupe

(ce dernier sera notre témoin). Puis allez faire un tour et revenez une heure plus tard. Quel sera le glaçon qui aura fondu le premier ?

Si cette rubrique n'est pas la première que vous lisez, vous commencez à vous méfier de votre intuition (vous avez raison, c'est la première précaution d'un vrai scientifique). Spontanément on a envie de répondre que le glaçon qui fondra le plus vite est celui bien au chaud dans la laine ; mais l'expérience nous montre le contraire. Le premier glaçon à fondre est celui de la boîte métallique, le second celui sur la soucoupe et le dernier, celui dans la laine.

Il s'agit bien de propriétés isolantes ou conductrices, mais la laine est ici utilisée d'une façon inhabituelle, d'où le conflit entre notre raisonnement spontané et la réalité.



Comment s'isole-t-on du froid en hiver ? Vous connaissez l'impression de froid que l'on ressent près d'une fenêtre : elle est due à la chaleur qui s'écoule spontanément des corps chauds (ici la pièce, et nous) vers les corps froids (dehors). Elle correspond donc à un phénomène bien réel, qui fait se refroidir nos maisons l'hiver et se serrer nos gorges en ouvrant les enveloppes que nous envoient gracieusement EDF et GDF.

Quand nous mettons une écharpe, c'est pour nous protéger du froid, c'est-à-dire pour limiter les pertes de chaleur de notre corps vers l'environnement : nous utilisons les propriétés isolantes de la laine. Mais dans le cas du glaçon dans la laine, la chaleur se propage de l'air extérieur (chaud) vers le glaçon (froid) : La laine empêche alors le glaçon de fondre en faisant barrage à la chaleur extérieure. La boîte en métal est bonne conductrice, elle a bien sûr l'effet inverse.

Comment donc économiser l'énergie de chauffage ? C'est un peu comme de devoir garder toujours remplie une bassine percée ici ou là. Il faut pour cela ouvrir régulièrement le « robinet » d'énergie, et se débrouiller pour réduire les pertes. L'analogie s'arrête là, car s'il est possible d'avoir une bassine sans trous (encore qu'il y aura toujours de l'évaporation...), il est physiquement impossible d'isoler totalement un corps chaud de son environnement froid... ou le contraire.

Essayons donc au moins de diminuer ces pertes au maximum, d'empêcher au mieux la chaleur de s'échapper par *conduction* en passant partout (par les murs, les portes, les fenêtres, le toit...). On sait que ceci se fait en renforçant l'obstacle, en clair en rendant les surfaces plus isolantes : on emploie des matériaux qui sont de mauvais *conducteurs* de chaleur : le bois, le polystyrène... Le meilleur isolant dans l'absolu étant le vide,

difficile et cher à obtenir en pratique, à défaut on utilise l'air : il est gratuit, et bien des matériaux isolants lui doivent cette propriété : le polystyrène, la laine de roche...

Dans les doubles vitrages, on lui ajoute parfois certains gaz comme l'argon qui ont l'avantage d'être très peu réactifs chimiquement. L'air est aussi utilisé comme isolant dans les parpaings creux qui constituent bien des murs modernes. En résumé, dans une fenêtre ou une porte avec double vitrage, l'essentiel des propriétés d'isolation provient... de l'espace entre les vitres. À noter quand même que le reste de la porte ou de la fenêtre doit avoir de bonnes propriétés isolantes, car sinon toute la chaleur partirait par là (ce serait un « pont thermique ») et l'intérêt serait bien faible...

Comment, dans ces conditions, avoir un isolant performant ? La réponse est intuitive : puisqu'il s'agit de faire barrage à l'énergie qui s'échappe, un barrage plus épais sera plus efficace ! C'est vrai, et le caractère isolant, la hauteur du barrage pourrait-on dire, est en proportion avec son épaisseur (au moins en première approximation) : deux fois plus épais, deux fois plus isolant. Dans les doubles vitrages classiques, l'épaisseur d'isolant (d'air) entre les deux vitres est ainsi de l'ordre de 3 cm.

Mais alors, pourquoi s'arrêter en si bon chemin ? Pourquoi ne pas ménager des espaces de 6, voire de 10 cm, qui ne coûteraient pas grand-chose et multiplieraient les capacités d'isolation ? Évidemment, il faudrait bien se limiter, sous peine d'avoir des fenêtres monstrueuses qui dépasseraient de 10 cm à l'intérieur et à l'extérieur de nos habitations ou bureaux. Mais l'espace entre les vitres des meilleurs doubles vitrages ne dépasse guère ces fameux 3 cm. Et ce n'est certes pas par hasard... Entre ici en scène un nouveau mode de transmission de la chaleur,

évoqué dans la rubrique suivante, où il sera même question de serpentins tournants...

Du terrier de la marmotte aux doubles vitrages...

... en passant par l'eau qui chauffe et le soleil qui brille, voilà un sujet qui promet d'être général, si ce n'est universel ! De fait, il s'agit d'un mode de transmission de la chaleur au cœur de bien des processus qui se déroulent chez nous, et ailleurs.

Partons d'une situation toute simple : juste au-dessus d'un radiateur chaud, fixez une feuille de papier sur le mur ou la vitre : vous la verrez se soulever légèrement mais régulièrement. Mieux, si vous accrochez un serpentín de papier au-dessus du même radiateur, vous le verrez se mettre à tourner tout seul... Certains objets de Noël étaient jadis ainsi formés avec des bougies et des manèges mobiles qui pouvaient même faire de la musique...

Ce mode par lequel la chaleur se transmet, certains d'entre vous l'auront reconnu, c'est la *convection*. Au lieu de se transmettre à travers la matière comme dans le cas de la conduction, la chaleur se transmet avec la matière, car celle-ci se met en mouvement et transporte ainsi l'énergie des points chauds aux points froids. C'est ainsi qu'une pièce peut être chauffée dans son ensemble à partir d'un point unique comme un radiateur (ou un *convecteur*) : l'air chauffé par ce dernier s'élève (d'où le serpentín qui tourne). Il est remplacé par de l'air plus froid, qui se réchauffe à son tour, monte et se refroidit, et ainsi de suite. C'est aussi par convection que les zones intermédiaires du soleil

transportent l'énergie, émise en son centre, vers l'extérieur. La chaleur et la lumière peuvent alors s'échapper pour nous griller un peu sur les plages, faire fondre les neiges (même, partiellement, les « éternelles »), et nous donner le plaisir d'arroser nos bégonias (il est vrai qu'avant cela, la lumière solaire nous a déjà permis d'exister...).

Seulement, cette mise en mouvement de la matière, sous forme de rouleaux qui tournent entre deux régions à températures différentes, ne se fait qu'à certaines conditions. Pour faire bref, disons qu'il faut à la fois une différence de température suffisante, et suffisamment d'espace pour que la matière se mette en mouvement. Vous l'avez compris : dans le cas du double vitrage, tant que l'épaisseur d'air entre les vitres ne dépasse pas quelques centimètres, l'air reste immobile et sa faible conductivité lui fait bien jouer son rôle d'isolant ; mais si on lui laisse assez de place, dès que la différence de température intérieur-extérieur est suffisante, alors l'air se met en mouvement, transporte par convection la chaleur de la maison à l'extérieur et pour l'isolation, c'est la catastrophe... C'est donc l'existence de la convection qui limite l'espace entre les vitres du double vitrage.

À noter que tout ce raisonnement s'applique aussi bien en été, quand il s'agit pour l'intérieur (frais) de s'isoler de l'extérieur (chaud), même si les différences de températures sont en général moins grandes dans ce cas.

Quel rapport avec les marmottes ? Il s'agit ici en fait de tous les terriers, de lapins comme de taupes, ou même des « nids » comme ceux des fourmis par exemple.

Les terriers ont au moins deux entrées (ou sorties, selon l'heure), qui sont disposées à des hauteurs différentes. Quand

L'animal est au fond de son habitat, il respire l'air autour de lui et la simple chaleur de son corps réchauffe celui-ci, qui monte par convection et s'évacue par l'entrée la plus haute. L'air vicié est remplacé mécaniquement, toujours par convection, par de l'air entrant par l'autre entrée, et l'ensemble constitue donc une ventilation automatique permettant de renouveler l'air des logis de ces petites bêtes... pas si bêtes, en fait.

La **Q**uestion du jour

Est-ce la convection qui porte les avions ? Ou bien est-ce le vent ?

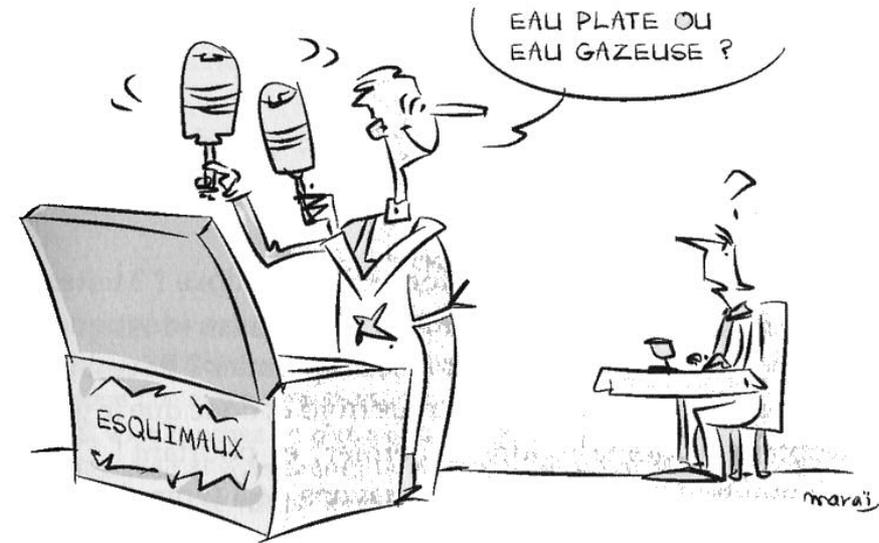
Réponse p. 161

► **Indice**

Est-il possible de voler dans de l'air calme, sans convection ?

Eau plate ou eau gazeuse ?

Mettez à congeler de l'eau gazeuse (pas trop, vous allez voir pourquoi). Une fois glacée, ressortez-la du congélateur. Vous vous apercevrez lors du dégel que d'une part elle n'est plus gazeuse, et que d'autre part il y a un dépôt au fond de la bouteille. Je rappelle que dans la quasi-totalité des boissons gazeuses, alcoolisées ou non, le gaz dissous est du dioxyde de carbone : on peut dissoudre jusqu'à 22 litres de gaz carbonique dans un litre d'eau... L'eau ne sera pas très bonne à consommer, car la température diminuant, le gaz carbonique devient moins solu-



ble, ainsi que les minéraux sous forme d'ions qui étaient dissous dans l'eau ; et ces composés forment ensemble des carbonates très peu solubles qui sont stables même quand l'eau revient à température ambiante. Ainsi l'eau gazeuse s'est dégazée et un dépôt se forme. Faites l'expérience avec une eau très peu minéralisée et une autre qui l'est beaucoup plus : la différence est nette.

La **Q**uestion du jour

Pourquoi les champions de natation sont-ils toujours très grands ?

Réponse p. 164

► **Indice**

La raison est liée aux types de muscles que ces athlètes doivent développer.

Fusions, confusions

De la glace qui fond ou de l'eau qui gèle, quoi de plus banal ? C'est vrai, mais ne confondons pas banal avec simple : sous le familier, le complexe.

Voulez-vous un exemple en forme de paradoxe ? Mettez un glaçon sur un couvercle métallique, et un autre identique sur une planche en bois. Lequel va fondre le premier ? Il semblerait, au toucher, que le couvercle soit plus froid et donc que le glaçon correspondant doive fondre le dernier ; et pourtant ! L'expérience montre le contraire... Nous savons déjà (voir ci-dessous « Halte au chaud ») que notre intuition est souvent mise à mal en ce qui concerne la chaleur. Qu'est-ce à dire ? On est là devant un cas typique de généralisation un peu hâtive, qui nous fait considérer notre expérience courante comme universelle...

Résumons : un glaçon dans la laine fond moins vite que s'il était laissé dehors, alors que la laine « garde le chaud » ! Oui, mais elle « garde aussi le froid »... La laine est un *isolant thermique*, qui empêche donc la chaleur de se propager ; et comment la chaleur se propage-t-elle, je vous le demande ? Du plus chaud au plus froid, bien sûr ! En hiver la laine limite les pertes de chaleur de notre corps (chaud) vers l'extérieur (froid).

Alors, on pourrait se protéger d'une grande chaleur avec un pull ? Oui, si la température extérieure est supérieure à celle de notre peau (35 °C environ), la laine limite les transferts de chaleur entre l'extérieur (très chaud) et notre peau (chaude). Les Bédouins le savent fort bien, qui dans le désert, par 40 ou 50 °C, s'enveloppent dans leurs djellabas pour limiter le réchauffement dû à l'air...

C'est exactement la même chose pour le glaçon dans la laine : celle-ci fait barrière à la chaleur de l'air de la pièce qui fait fondre le glaçon...

Et pourtant

Le cas du marbre ou du carrelage est un peu différent, car ce sont des isolants, et pourtant ils semblent froids au toucher ; ici joue une autre caractéristique, la *capacité calorifique*.

Si vous touchez un plat qui sort du four chaud, vous vous brûlez ; mais si vous prenez un morceau de papier aluminium qui était dans le même four, il ne vous arrive rien. L'aluminium a emmagasiné une quantité de chaleur très faible, que vous ressentez à peine ; mais le plat, qui a d'ailleurs mis un certain temps à chauffer, c'est une autre histoire ! Il a stocké largement de quoi vous brûler sérieusement.

Le marbre possède lui aussi un important pouvoir de stockage de la chaleur (la fameuse capacité calorifique), donc votre main ne le réchauffera que très peu par rapport à du bois ou à du plastique et il restera froid. Tant de physique sans sortir de la cuisine...

Mais alors, pourquoi le glaçon fond-il plus vite sur le couvercle ? Pour la même raison : parce que le métal est un bon conducteur de chaleur. Il transmet donc bien la chaleur de l'air au glaçon et le fait fondre, ce que ne fait pas la planche en bois.

C'est le même phénomène quand on touche un objet métallique : on ressent une impression de froid. On pourrait dans une certaine mesure en dire autant du marbre ou du carrelage de votre cuisine, contrairement au bois ou au plastique. Ce n'est

pas une question de température, car un objet quelconque laissé dans une pièce depuis un bon moment est en *équilibre thermique* : il a pris la température de cette pièce. Mais le métal étant bon conducteur, la chaleur de notre peau va se diffuser dans le métal et la température de notre peau diminuer au point de contact.

Faites l'essai avec du polystyrène, très bon *isolant* (essentiellement à cause de l'air qu'il renferme) : quand vous laisserez la main dessus, vous ressentirez une impression de chaleur qui n'est autre que celle de votre peau, chaleur qui reste pour l'essentiel aux points de contact parce le polystyrène la conduit très mal.

De la chaleur à l'électricité, et retour

À propos de conductivité, avez-vous remarqué le lien existant entre les bons conducteurs *thermiques* et les bons conducteurs *électriques* ? Ou bien entre les bons isolants *thermiques* et *électriques* ? Si vous faites la liste de ceux que vous connaissez, vous vous apercevrez que ce sont... les mêmes ! Les métaux : bons conducteurs ; les plastiques : bons isolants (même si on sait maintenant construire des plastiques conducteurs) ; le bois, l'air : bons isolants ; et ainsi de suite...

Ce n'est pas une coïncidence : dans tous les cas ce sont les électrons dits précisément « de conduction » qui sont responsables des transferts de chaleur (sous forme de mouvements désordonnés) et de l'existence du courant (sous forme de mouvement d'ensemble), dans les conducteurs. Quand la structure chimique des matériaux est telle que ces électrons n'existent pas, les corps correspondants sont des isolants. Cela explique aussi que le meilleur isolant reste le vide, qui laisse cependant passer la chaleur associée au rayonnement solaire (heureusement pour la Terre...).

La **Question du jour**

Pourquoi reste-on « collé » à un métal qu'on touche quand il est très froid ?

Réponse p. 173

► **Indice**

La peau est toujours plus ou moins humide.

Invisibles vapeurs

Un modeste autocuiseur va vous aider à réviser sérieusement vos idées sur l'eau.

Tout le monde croit savoir ce qu'est la vapeur d'eau, cette brume flottant au-dessus des casseroles d'eau bouillante, ou ces nuages courant devant le soleil, ou encore ce brouillard que l'on voit se former devant sa bouche un jour de grand froid... Tout ceci est fort bien, mais n'a qu'un seul petit défaut, celui d'être totalement faux !

Pourquoi ? Si vous n'êtes pas dans le désert du Hoggar à midi, il est clair que vous vous trouvez dans une ambiance où règne une hygrométrie non nulle. Qu'est-ce que cela veut dire ? Simplement que l'air que vous respirez, et dans lequel nous baignons tous, comporte une partie d'« humidité », en réalité

de vapeur d'eau. Mais si vous regardez autour de vous, la voyez-vous ? Pas plus que l'air auquel elle est mélangée. Air et vapeur d'eau ont ceci de commun avec l'immense majorité des gaz : ils sont totalement *invisibles*. Jusqu'ici, rien qui vous choque, quoique... Si en effet la vapeur d'eau est invisible, de quoi sont faits les nuages ? Et ce qu'on voit au-dessus de la casserole ?

Pour y voir plus clair (!), sortez votre autocuiseur et mettez un peu d'eau à chauffer en fermant le couvercle et en mettant la soupape. Quand celle-ci commence à tourner, vous allez l'enlever, mais attention ! Il vous faudra regarder juste à la sortie du trou de la soupape : le centimètre au-dessus du petit orifice lié au couvercle. Que voyez-vous ? *rien*. Qu'y a-t-il à cet endroit précis ? De la vapeur d'eau qui sort, et qui se transforme juste au-dessus en un nuage d'eau chaude, mais dans lequel vous pouvez mettre la main sans vous brûler (à 30 cm environ).

Autrement dit, la vapeur (brûlante) est invisible quand elle sort de l'autocuiseur, mais elle se transforme en se refroidissant en quelque chose que l'on voit sous forme de nuage ou de jet, et qu'on appelle communément vapeur... En fait, le jet visible provient de la vapeur refroidie, et qu'obtient-on quand on refroidit de la vapeur d'eau ? De l'eau, de l'eau liquide (la main dans le jet se mouille).

Est-ce à dire que la vapeur d'eau n'est invisible que lorsqu'elle est chaude ? Non, car elle existe dans l'air à toute température, et toujours invisible. Ce n'est que lors d'une *condensation* qu'elle devient visible, comme par exemple quand vous expirez dans un air bien froid, et que la vapeur d'eau invisible que vous avez inspirée avec l'air se refroidit, se condense sous forme d'eau...

Histoires d'eau

Un jour qu'il fait bien froid dehors, soufflez sur une vitre (à vitrage simple, c'est encore mieux parce qu'elle est plus froide) et vous verrez de la buée se former. Pensez maintenant à ce qui se passe quand l'hiver on entre dans une voiture à trois ou quatre : qu'est-ce qui apparaît rapidement sur les vitres ? D'ailleurs, si les passagers sont essouffés c'est encore plus rapide...

Nous savons que *ce qu'on voit ne peut jamais être de la vapeur d'eau* (invisible, voir ci-dessus « Invisibles vapeurs »); la buée est donc le résultat de la *condensation* de cette vapeur sous l'effet d'un refroidissement : de l'eau liquide. Si quelque chose est visible, c'est tout sauf de la vapeur ! Les nuages ? De l'eau. Le brouillard ? De l'eau. Ce qu'on voit sortir de la bouilloire ? De l'eau, de l'eau, vous dis-je...

Si nous avons du mal à accepter que tous ces brouillards sont bel et bien formés d'eau liquide, c'est parce que nous réduisons celle-ci à n'être que quelque chose qui coule (du robinet) ou qui tombe (du ciel). En fait, les gouttes d'eau peuvent être microscopiques, et c'est d'ailleurs fréquemment le cas : leur taille leur permet d'être en suspension dans l'air en attendant soit de se vaporiser, soit de s'agréger à d'autres gouttes et d'ainsi en former une suffisamment grosse pour tomber.

Au fond, les trois états de l'eau, c'est : l'eau « dure » (solide), l'eau qu'on boit (liquide), et l'eau invisible (la vapeur d'eau)...

Des gaz bien discrets

Quasiment tous les gaz sont invisibles. Les « vaporisateurs » sont bien mal nommés puisque ce qui en sort n'est pas un gaz ni une vapeur, mais bien un liquide...

Regardez ce qui sort d'un briquet en appuyant sur le petit levier, mais sans l'allumer : vous ne voyez rien. Le méthane qui sort (qui est aussi le gaz de combustion des chaudières et cuisinières) est lui aussi invisible ; on peut deviner sa présence grâce au « trouble » qu'il crée dans l'air, comme au-dessus d'une route un jour très chaud.

Dans le gaz de nos cuisinières ou de nos chaudières sont ajoutés des composés à base de soufre (ce qui n'est pas sans conséquences environnementales) : cela lui donne une odeur, qui permet de détecter les fuites... Quant aux fumées, en général, ce sont des mélanges hétérogènes de liquides et de solides (avec des gaz invisibles) : celle de cigarette peut être recueillie sur un couteau, on y verra surtout des particules de carbone.

Coup de froid sur le thermomètre

Voilà bien un ustensile que tout un chacun a chez soi : le thermomètre. Mais nous allons l'utiliser d'une façon un peu... particulière. Ici je parle de nos bons vieux thermomètres à liquides, pas des thermomètres électroniques médicaux modernes ; et attention, les anciens thermomètres à mercure, reconnaissables à la couleur argentée du liquide, sont à proscrire, à cause de la grande toxicité du mercure.

Souvent on entend dire que la température seule ne signifie pas grand-chose, car l'humidité joue un grand rôle dans la sensation de chaud ou de froid ; c'est vrai, et du reste la météo américaine, par exemple, donne les températures en « corrigeant » avec le facteur hygrométrique. Par une journée ensoleillée, vous constaterez en effet que donner la température sans l'humidité n'a guère de sens physique.

Commencez par placer votre thermomètre en plein soleil, puis attendez qu'il se stabilise ; vous aurez une température qui peut s'élever jusqu'à 50 °C ! Bien entendu, les températures doivent être prises à l'ombre. Ce même thermomètre mis à l'ombre vous donnera une température bien plus basse.

Posez maintenant votre thermomètre, toujours à l'ombre, sur une feuille de papier bien blanche ; notez la température quand elle ne varie plus, puis faites la même mesure avec un papier noir et comparez : la température a monté ! Le noir n'« attire » pas la chaleur, comme le dit la sagesse populaire, mais cette couleur absorbe le rayonnement lumineux, donc l'énergie. À l'inverse, le blanc, couleur réfléchissante, donne lieu à une température plus faible. Comprenez-vous pourquoi l'on porte des vêtements clairs en été et sombres en hiver ?

Mais revenons à votre thermomètre. Mettez-le donc à l'ombre, puis ventilez-le doucement avec un carton jusqu'à ce que sa température se stabilise. Notez-la puis entourez le réservoir du thermomètre avec de la gaze ou du coton humide (mais pas trempé). Mettez le tout au même endroit, ventilez-le comme précédemment, et notez la température stabilisée : elle est inférieure de plusieurs degrés à celle du thermomètre « sec » !

C'est bien sûr la présence d'eau, qui en s'évaporant emporte de l'énergie, qui est responsable de cette différence. C'est pour-

quoi, en période de canicule, il est recommandé non seulement de boire, mais aussi de s'humecter la peau pour se rafraîchir.

Chaud et humide, ou froid et sec ?

En fait, vous avez réalisé sans le savoir un *hygromètre*, car de cette différence de température on peut déduire la valeur du taux d'humidité dans l'air : si la première mesure vous a donné par exemple 22 °C, et la deuxième 14 °C, un calcul savant (dont je vous ferai grâce) montre qu'il y a 40 % d'humidité dans l'air. Si la deuxième donne 18 °C il y a 67 % de vapeur d'eau... Plus la différence est grande, plus l'air est sec ; s'il fait moins de 15 °C et que la différence est de plus de 10 °C, alors il n'y a pratiquement pas d'humidité dans l'air ; mais si la différence est très faible, alors il doit faire bien humide... s'il ne pleut pas !

La Question du jour

Les Anglo-Saxons notent les températures avec une échelle différente (bien que le °C soit l'unité légale) : l'échelle des degrés Fahrenheit. Comment est définie cette échelle ?

Réponse p. 173

► Indice

Comme pour les degrés Celsius, cette échelle est définie à partir de deux points fixes.

Chaud devant !

Faites bouillir de l'eau. Les premières bulles qui apparaissent vers 50 °C sont des bulles d'air : l'air dissout dans l'eau se dégage à cause de l'augmentation de la température. Puis l'eau se met à « chanter ». Ce bruit provient de la formation des bulles de vapeur d'eau qui se forment à l'endroit le plus chaud, c'est-à-dire au fond de la casserole. Quand ces bulles montent (Archimède, nous voilà), elles rencontrent de l'eau moins chaude et se contractent jusqu'à disparaître en émettant un petit bruit, qui finit par se faire entendre de façon continue. Quand la température et la production de bulles sont suffisantes, elles s'agglomèrent et forment les grosses bulles que rappelle le mot « ébullition ».

Mais pourquoi les bulles sont-elles sphériques ? À cause d'un grand principe physique : la nature minimise l'énergie (elle aussi aime bien la bulle). Cela se fait dans ce cas en diminuant le plus possible la surface extérieure : pour un volume donné c'est la sphère qui a la plus petite surface... voilà pourquoi les gouttes d'eau sont sphériques, ainsi que celles des boissons ou liquides pour nos spationautes en orbite. Hergé avait raison (relisez *On a marché sur la Lune*)...

N'oubliez pas, la prochaine fois que vous ferez des pâtes, que le simple fait de mettre un couvercle peut réduire la dépense énergétique de 20 à 25 %. L'idée est que vous dépensez beaucoup d'énergie pour amener l'eau de 20 °C à 100 °C, mais aussi pour transformer cette eau liquide en vapeur d'eau... Si donc vous laissez cette vapeur s'échapper dans l'atmosphère c'est une source de pertes et il vous faudra chauffer plus longtemps.

De la même façon, laisser vos pâtes ou votre riz cuire à gros bouillons est une perte de gaz et contribue à l'effet de serre, car quel que soit le rythme de l'ébullition la température ne montera jamais au-delà de 100 °C... Réglez la flamme pour juste maintenir l'ébullition.



La **Q**uestion (expérimentale) du jour

Supposez que vous soyez dans une barque, sur un lac, avec une grosse pierre. Vous jetez cette pierre dans le lac. Que fait le niveau de l'eau ?

Pour savoir laquelle des trois possibilités qui viennent à l'esprit est la bonne, je vous suggère d'essayer avec une bouteille d'eau ou un vase étroit, un flotteur en polystyrène et un corps bien lourd comme un morceau de métal. Attention, le résultat n'est pas forcément conforme à l'intuition, le plus dur restant de l'expliquer...

Réponse p. 169

► **Indice**

Question délicate ! N'oubliez pas en particulier qu'une pierre immergée dans l'eau déplace une quantité d'eau plus légère qu'elle (puisqu'elle coule).

**De la Terre
au Ciel**

Tonnerre de Zeus !

L'été dernier nous avons tous été témoins d'au moins un orage, c'est donc l'occasion de (re)donner quelques « trucs » simples.

Le plus connu, d'abord, mais pas toujours bien appliqué (et encore moins compris) : savoir à quelle distance se trouve un éclair que l'on vient de voir tomber.

Exercice futile, me direz-vous, puisque cet éclair-là ne pourra plus vous faire de mal (ce serait déjà fait); mais c'est oublier qu'un éclair ne vient jamais seul et que le fait de savoir si un orage s'approche ou s'éloigne peut se révéler bien utile... voire vital. La règle est simple et à la portée de tous les nuls en maths : il suffit de décompter, en secondes, la durée entre le moment où l'on voit l'éclair et celui où l'on commence à entendre le tonnerre. Cela revient, dès que l'on voit l'éclair, à égrener lentement 1... 2... 3... 4... 5... 6... « Boum ! » répond Toutatis. Puis on divise ce nombre par 3 et on obtient la distance entre soi et l'éclair, en kilomètres. Dans mon exemple, 6 secondes divisées par 3 donnent 2, l'éclair est donc tombé à 2 km. Si vous voulez connaître l'origine de cette règle, allez à la fin de la rubrique.

Revenons à l'orage (pas trop près quand même). Signalons d'abord que contrairement à une idée reçue, la majorité des éclairs se produisent entre les nuages, pas entre les nuages et le sol. Il y a d'ailleurs deux éclairs, le précurseur (charges négatives qui remontent en général) et le retour. Ces deux éclairs se succèdent très rapidement (trop pour nos yeux).

Des chiffres qui font peur

Il est possible, en écoutant le tonnerre, d'avoir une idée de la longueur des éclairs associés. En prêtant bien attention, vous distinguerez deux phases très différentes dans le bruit du tonnerre : un premier grondement, le plus fort, puis des « roulements » qui sont dus à l'écho entre les nuages et/ou le sol.

C'est le premier grondement qui nous intéresse : mettons qu'il dure 2 secondes. On peut dire (en simplifiant) que le début de l'éclair correspond au début du tonnerre et la fin de l'éclair à la fin du tonnerre. Dans mon exemple, si le « premier tonnerre » a duré 2 secondes, comme à chaque seconde le son parcourt 320 mètres, l'éclair correspondant mesurerait donc $2 \times 320 = 640$ m, une longueur honorable mais pas extraordinaire du tout : on a observé des éclairs de plusieurs kilomètres de long...

Mais attention ! Pour qu'une étincelle surgisse, il faut qu'il y ait au moins 3 000 V pour chaque centimètre d'éclair, donc 300 000 V pour chaque mètre... Je vous laisse calculer quelle tension est à l'œuvre dans notre éclair de 640 m, mais sachez que le résultat se chiffre en *dizaines de millions de volts*, d'où l'énergie associée... Il est très difficile de la récupérer, précisément parce qu'elle est très importante et libérée très rapidement.



Que faut-il éviter de faire quand on est surpris par un orage ? Être près d'un point saillant (sommet, arbre...) est une mauvaise idée, de même qu'être près d'un point d'eau. Il ne vaut mieux pas écarter les pieds non plus, car ceux-ci sont soumis à une tension qui augmente avec leur écartement ! On a rapporté le cas de vaches s'étant électrocutées simplement à cause de la position de leurs pattes : la tension qui en résultait était suffisante pour assommer... un bœuf. La position la plus sûre quand on est pris dans un orage et qu'on ne peut pas s'abriter, c'est donc de s'accroupir (pas de s'allonger), pieds joints, en s'éloignant des pointes et des points d'eau. Il n'est pas recommandé de marcher, mais si vous devez le faire, faites-le à petits pas...

Encore une petite expérience avec le son : quand vous vous trouvez dans un lieu où il y a de l'écho, en vacances par exem-

ple, voici comment estimer la distance de la paroi réfléchissante. Criez et chronométrez l'intervalle entre votre cri et l'écho. Si cet intervalle est par exemple de une seconde, la paroi est à $0,5 \times 320 = 160$ mètres. Pourquoi 0,5 fois et pas une fois la vitesse du son ? Parce qu'il faut compter aussi le temps pour votre puissante voix d'arriver jusqu'à la paroi (vous pouvez d'ailleurs vérifier que même si l'on crie plus fort le son ne va pas plus vite...) : c'est un aller-retour que le son a dû faire, comme nous en vacances, hélas...

La **Q**uestion du jour

Vous savez peut-être que le paratonnerre a été inventé par Benjamin Franklin (pas Franklin Roosevelt...). Mais sa diffusion a été laborieuse : à Saint-Omer, petite bourgade du nord de la France, le maire voulut s'opposer à la mise en place d'un paratonnerre. Le propriétaire dut faire appel à un jeune avocat, alors inconnu, mais qui allait accéder à la gloire en politique quelques années plus tard. L'avocat gagna la cause. Qui était-ce ?

Réponse p. 169

► **Indice**

Ceci se passait quelques années avant la Révolution; mais l'histoire a bien mal fini pour lui en 1794...

Pour aller un peu plus loin

Le hasard qui nous rend la méthode si simple vient de la valeur de la vitesse du son : la lumière de l'éclair est rapide, elle est même si rapide que l'on considère qu'elle parvient à notre œil pratiquement au moment où l'éclair se produit. Mais le son, lui, va à « seulement » 320 mètres par seconde, et dans notre exemple il lui a fallu 6 secondes pour nous parvenir.

Il aura donc parcouru pendant ce temps $6 \times 320 = 1\,920$ mètres, soit environ les 2 km annoncés plus haut. A noter que cette vitesse, qui vaut quand même quelque 1 100 km/h, est une unité de vitesse en aviation, le Mach. Le regretté Concorde volait à Mach 2,2, soit plus de 2 400 km/h...

Mirage, mon beau mirage

Bien des spectacles nous sont offerts par la nature, pour peu qu'on y prête un minimum d'attention. Voyons quelques exemples de ces illusions d'optique naturelles.

La plus simple : il vous est très probablement arrivé d'admirer un beau coucher (ou lever) de soleil, sur un horizon exceptionnellement dégagé. L'idéal, de ce point de vue, c'est en pleine mer ! Mais ce qui est curieux, c'est que le soleil que vous voyez se coucher et toucher l'horizon... est déjà en dessous ! Vous le

voyez encore grâce à la *réfraction*, déviation de la lumière due à l'air : elle courbe la trajectoire de la lumière et « relève » ainsi l'image du soleil pour le laisser voir encore quelques minutes... La même chose se produit le matin, toujours si vous avez un horizon parfaitement clair. Vous verrez donc le soleil un peu avant le moment « officiel » de son lever ! À la prochaine occasion, regardez bien la *forme* de notre étoile près de l'horizon : il a l'air d'être écrasé, parce que la partie inférieure est plus « relevée » que la partie supérieure.



Un mirage très courant, que tout le monde a pu voir l'été, consiste à voir de loin, sur une route chauffée, une grande flaque d'eau dans laquelle se reflètent les arbres environnants ou les voitures qui arrivent. Parvenu à l'endroit en question, vous

vous apercevez qu'il n'y a pas une goutte d'eau ! C'est notre cerveau qui nous trompe dans ce cas précis. Il interprète comme il peut ce qu'il reçoit de nos yeux... Et que voient-ils, ces yeux ? Ils voient en fait deux images : l'image directe de la voiture qui arrive, et une autre image, renversée, provenant toujours de la voiture, mais qui a suivi une trajectoire courbe avant d'arriver à nos yeux. Ce qui fait que notre cerveau a l'impression de voir une autre image des objets *sous* la route, et il l'interprète comme un reflet sur de l'eau (difficile de penser à un miroir ou à du verglas quand il fait 30 °C à l'ombre...).

Mais pourquoi la lumière se courbe-t-elle ainsi ? Parce qu'elle traverse des couches d'air à des températures très différentes (la couche la plus proche de la route étant la plus chaude). Voilà pourquoi ce mirage ne se produit que lors de fortes chaleurs... On appelle ce type de phénomène des mirages « inférieurs ». Il s'en produit de similaires dans le désert qu'on nomme mirages « supérieurs », car ils sont vus au-dessus de l'horizon. Dans ce cas le sol est un peu moins chaud que les couches supérieures de l'air, et ces apparitions ont donné des fausses joies à bien des voyageurs ! L'oasis existe bien, mais elle peut se trouver à des kilomètres de là. Une légende veut que les Groenlandais aperçoivent ainsi, l'été, le continent américain...

Tous ces mirages se produisent aussi la nuit, et parfois en altitude : des mirages ont été observés à 1 000 m d'altitude ! Il existe même des mirages complexes, qui font apparaître des pointes sur les objets lointains. Donnant l'impression de châteaux en construction dans le ciel, ils ont reçu le nom de *Fata Morgana* (Fée Morgane) de la part des navigateurs italiens du XVII^e siècle décrivant ces apparitions inexplicables pour eux.

La **Q**uestion du jour

Comment fonctionnent les lunettes de soleil ? Seulement en absorbant une grande partie de l'énergie lumineuse ?

Réponse p. 172

► **Indice**

Il y a bien sûr absorption, mais pas seulement (ni même principalement) en filtrant la lumière par la couleur des verres : les bonnes lunettes sont polarisantes.

Ôte-toi de mon soleil !

Ombre et lumière, voilà bien un thème qui entremêle science et art, poésie et mystère, rationnel et imaginaire... Bien, reprenons-nous ; par quoi commencer ? Peut-être par l'ambiguïté du mot « ombre ». Si l'idée générale d'absence de lumière est assez « claire », quelle est la différence entre les ombres sur le sol un jour de beau temps, et l'ombre de la nuit ? Elles ont en commun d'être toutes créées par un objet qui arrête la lumière, un objet opaque. Si vous tournez le dos au soleil, vous voyez votre ombre devant vous : c'est la partie du sol qui n'est pas éclairée directement puisque, étant un objet opaque, vous faites barrage à la lumière. Mais quid de l'ombre *sur vous* ? Votre dos est au soleil et votre visage à l'ombre.

Pour voir le premier type d'ombre, celle vue par terre, il faut un écran : le sol, un mur, etc. Les physiciens les appellent *ombres portées* (ou projetées). Pour le second type d'ombre, celle qui est sur l'objet, on parle d'*ombre propre* : c'est la partie de l'objet opposée à la source de lumière. Au fond, il existe l'ombre *d'un* objet et l'ombre *sur* l'objet.

Un petit point... à éclairer

Certains pensent peut-être (et ils ont raison !) que pour un objet au Soleil même la partie à l'ombre est éclairée, bien que moins lumineuse que celle tournée vers la source de lumière : on voit votre visage, même quand vous tournez le dos au Soleil ! Et s'il est visible, c'est qu'il émet de la lumière... qu'il a bien dû recevoir, en fait de l'environnement qui l'éclaire par *diffusion*.

Ce point est d'ailleurs une source de difficultés pour certains enfants : pour leur parler du jour et de la nuit, on leur présente un globe terrestre que l'on éclaire d'une lampe de poche, le tout dans une pièce plus ou moins sombre. Très bien, sauf que la partie « nuit » est malgré tout éclairée un peu et certains enfants observateurs le remarquent... La réponse à leur donner est que le globe est éclairé directement par le Soleil côté « jour », et côté nuit par... l'environnement : le sol, les murs de la pièce, etc., qui réfléchissent la lumière de notre étoile dans toutes les directions. Pour la vraie Terre cet environnement n'existe évidemment pas et il fait vraiment nuit (sauf les « nuits de pleine lune », mais c'est une autre histoire...)

À noter que la lumière diffusée est responsable de pas mal de coups de soleil, à la montagne (pensez à la neige) comme à la mer !

Rayons visibles, lumière invisible

Une simple lampe de poche va vous faire découvrir la propriété essentielle de la lumière dite « visible » : celle de ne pas l'être, justement.

Qui a vu des rayons de lumière ? Tout le monde, la nuit en voiture s'il y a du brouillard ou qu'il pleut, en dessous de certains nuages, etc. Oui, mais pour les physiciens, un rayon lumineux (qu'on fait tracer à nos collégiens et lycéens), c'est une *trajectoire* ; autrement dit, c'est assez abstrait et surtout... immatériel ! Qui a jamais vu la lumière se déplacer ?

Avec une lampe de poche, éclairez un mur. Vous voyez une tache de lumière, preuve que la lumière se propage de la lampe au mur ; mais *entre* la lampe et la tache de lumière, que voyez-vous ? Rien ! Et pourtant, de la lumière est bien là, puisque votre main placée devant la lampe l'arrête et la réfléchit...

Prenons l'exemple des ombres sur le sol : par une belle journée ensoleillée, regardez votre ombre sur le sol. Voyez-vous la lumière passer à côté de vous pour dessiner le contour de votre ombre ? Entre vous et le sol, zone où vous avez fait obstacle à la lumière, voyez-vous quelque chose de différent de ce que vous voyez à côté de vous ? Et quand deux personnes se voient, ce qui suppose que de la lumière se déplace de l'une à l'autre, personne ne voit rien *entre* elles, n'est-ce pas ?

J'exprime tout ceci de la façon (à peine) provocatrice suivante : *la lumière est invisible*. Mais oui, tout ce que nous voyons : soleil, nuages, lampes, tout ce qui est visible autour de nous ne l'est que parce qu'il émet de la lumière invisible ; ce qui est visible, ce

sont les *sources* de lumière. On distingue les sources *primaires* (qui émettent leur propre lumière : Soleil, lampe, flamme...) et les sources *réfléchissantes* (la Lune, une lampe éteinte, nous, en bref tout ce qu'on ne voit pas dans le noir). La lumière ne se voit pas, mais elle *rend visibles* les objets dont elle provient, qui sont les sources lumineuses.

Mais alors, qu'en est-il des fameux « rayons » évoqués plus haut ? Certains l'auront sûrement deviné : ce sont les objets *atteints* par la lumière (des gouttes avec les phares, ou des grains de poussière) et qui la réfléchissent. La lumière se déplaçant « tout droit », elle rencontre des obstacles situés en ligne droite et c'est ainsi que l'on confond une trajectoire avec ce qui se déplace... Vous n'avez sans doute jamais pris conscience que vous ne voyez rien entre les objets visibles et vous, mais que vous voyez ces objets eux-mêmes... parce qu'ils sont des sources de lumière (primaires ou pas).

Si vous avez des persiennes ou des volets métalliques, vous avez sûrement observé le rai de lumière qui filtre par un jour de soleil ; et plus il y a de poussière dans l'atmosphère (secouez un chiffon !), plus vous pouvez « matérialiser » ce rayon, invisible dans l'air pur... Avec un Soleil voilé, les ombres sont invisibles car seule reste la lumière diffuse qui se déplace dans toutes les directions, et un objet opaque n'arrêtera qu'une très faible partie des rayons diffusés arrivant sur une surface quelconque. Réfléchissez, et vous verrez...

La Question du jour

Pourquoi les éclipses de Soleil sont-elles si rares (pensez au battage médiatique du 11 juillet 1999) alors que celles de Lune ont l'air plus banales ?

Réponse p. 162

► Indice

En réalité il y a à peu près autant d'éclipses de Soleil que de Lune... Pourtant vous risquez fort de voir plus d'éclipses de Lune !

Ne perdons pas le Nord !

Pour les amateurs de promenades ou de randonnées il est utile de pouvoir s'orienter sans avoir de boussole sous la main. C'est très facile avec la plus banale des montres, pour peu qu'il y ait un minimum de soleil...

Imaginons que vous vouliez vous orienter ; laissez tomber tout de suite les idées du style « la mousse sur les arbres est du côté nord », c'est la meilleure façon de se perdre définitivement. Une première méthode consiste à planter un bâton vertical, et à mesurer son ombre de temps en temps : la plus courte correspondra à midi, elle sera donc du côté nord. En effet à ce moment-là le soleil est au-dessus du point cardinal sud, en plus d'être au plus haut de sa course (d'où l'ombre minimale). Évidemment

ceci n'est applicable que si midi solaire n'est pas passé, mais n'oubliez pas qu'en été notre montre a deux heures d'avance sur le soleil, et une heure en hiver. En clair si en été votre montre vous indique 13 heures il n'est que 11 heures au soleil et la méthode de l'ombre est encore parfaitement possible. En hiver nous n'avons plus qu'une heure d'avance sur le soleil.



Un conseil d'ami : perdez-vous plutôt le matin...

Une autre méthode facile à mettre en œuvre ne nécessite qu'une montre et un peu de soleil : plus besoin de bâton. Vous voulez connaître la direction des points cardinaux (il suffit d'ailleurs d'un seul !) ? Pour cela, considérez le soleil et prenez votre montre (si elle est numérique, dessinez un cercle sur un bout de papier ou par terre et faites figurer la position des aiguilles). Le soleil, on l'a dit, passe au méridien à midi, c'est-à-

dire qu'à cette heure-là il est juste au-dessus du point cardinal sud de l'horizon. Mais il constitue une excellente horloge car il fait un tour dans le ciel en 24 heures et par exemple 6 heures après être passé au méridien, il est exactement à l'ouest (je me place dans l'hypothèse où il est n'est pas déjà couché).

Voici donc ce que vous devez faire. Placez-vous face au soleil (sans le fixer) et tenez votre montre à bout de bras devant vous, le cadran incliné à 45° environ par rapport à l'horizontale. Supposons qu'il soit 10 heures du matin. La petite aiguille est donc sur le 10 et la grande sur le 12. Imaginez maintenant qu'il y a un immense cadran dans le ciel, gradué en 24 heures. Le soleil nous donnerait alors l'heure directement, en passant au sud à midi (solaire). Ce cadran n'existe pas mais notre montre va nous aider : si je pointe la petite aiguille dans la direction du soleil, je fais jouer à ce dernier le rôle d'aiguille des heures. Mais attention ! À l'horloge solaire il est 9 heures ou 8 heures (selon la saison). Si nous sommes en été (en fait, entre mars et octobre) il est 8 heures au soleil (10 heures à ma montre). Mettez donc votre montre à l'heure solaire : reculez-la de deux heures si nous avons passé le changement d'heure du printemps ; et d'une heure sinon. Vous êtes prêts à repérer le sud et le reste.

Voici comment faire : Si les montres étaient graduées en 24 heures, le midi de notre montre nous indiquerait directement le sud ! Mais en réalité la petite aiguille tourne deux fois plus vite que le soleil : elle fait deux tours par jour quand le soleil n'en fait qu'un. Il suffit alors de diviser par deux l'intervalle entre l'heure solaire et midi (4 heures dans mon exemple, de 8 heures à 12 heures). Ceci mettra la petite aiguille sur 10 heures, et cette fois-ci quand vous dirigerez cette petite aiguille vers le soleil, le midi de la montre vous donnera bien la direction du

sud. Cette méthode fonctionne bien entendu quelle que soit l'heure...

Résumons-nous : on commence par convertir l'heure de la montre en heure solaire en enlevant une ou deux heures selon la date ; puis on divise par deux l'écart entre midi et l'heure solaire (ce qui donne 1 h 30 pour 15 heures par exemple) ; après avoir mis la petite aiguille à cette heure on la dirige vers le soleil, et le midi de la montre donne la direction du sud. Ne paniquez pas, c'est beaucoup plus facile à faire qu'à expliquer...

Le coin du chipoteur

La méthode précédente souffre de deux imprécisions : elle ne tient compte ni de la longitude (nous ne sommes pas tous sur le méridien de Greenwich), ni de ce qu'on nomme l'équation du temps. Pour le premier point, entre Brest qui est une dizaine de minutes en *retard* sur Greenwich, et Strasbourg qui est une bonne demi-heure en *avance*, à vous d'estimer votre position et de rectifier « à la louche » votre décalage horaire. C'est la position est-ouest qui compte (la *longitude*), et non la position nord-sud (peu importe votre *latitude*).

Quant à l'*équation du temps*, c'est un décalage variable au cours de l'année, dû à la variation de vitesse de la Terre autour du Soleil. Ce décalage atteint un bon quart d'heure en plus (en février) ou en moins (en novembre). Vous pouvez en tenir compte pour être encore plus précis, mais ne nous leurrons pas : un quart d'heure, cela correspond à 4 degrés environ, c'est-à-dire à peu près à l'épaisseur de votre aiguille de montre...

Arc-en-ciel ! Mon mari !

Vous pouvez créer un (petit) arc-en-ciel chez vous avec une bassine, un miroir et une lampe torche.

Remplissez la bassine avec de l'eau, posez le miroir à 45° dans la bassine, et éclairez-le avec la lampe jusqu'à obtenir un petit spectre (lumière décomposée) sur le mur d'en face. Avec ce dispositif vous avez les éléments explicatifs de la formation de l'arc-en-ciel : de l'eau, de l'air, de la lumière blanche et une réflexion.

À l'intérieur des gouttes d'eau il se passe la même chose que dans la bassine, c'est-à-dire que la lumière du soleil est réfléchié ; c'est pour cela que l'on doit avoir le soleil dans le dos pour voir l'arc. Mais chacune des couleurs de cette lumière, lorsqu'elle passe de l'air dans l'eau et réciproquement, est déviée (*réfractée*) de manière différente et la lumière est *dispersée* en ses multiples composantes.

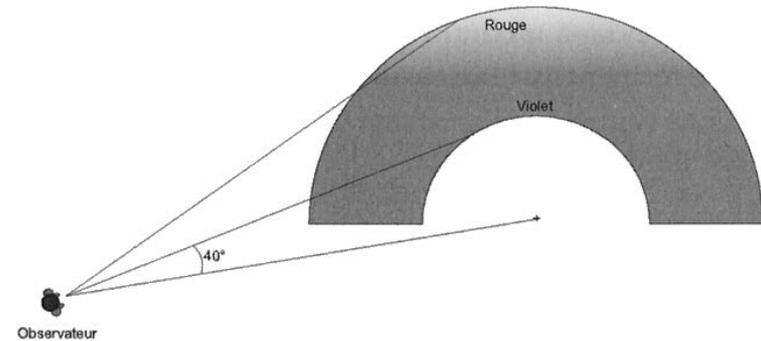
Au fait, vous avez vu sept couleurs dans votre arc-en-ciel ? Bravo, car c'est votre culture et non vos yeux qui les ont comptées. Regardez-le vraiment, cet arc : où sont les séparations entre les différentes couleurs... sinon dans notre tête ? En réalité il y a autant de couleurs que l'on veut, trois, dix-sept ou cent cinquante-trois car c'est un *continuum*, mot latin mais bien explicite qui veut dire que l'on passe progressivement et sans discontinuité d'un bout à l'autre de l'ensemble des couleurs...

Si vous avez une paire de lunettes de soleil, faites-les tourner devant votre œil en regardant un arc : vous verrez celui-ci s'éteindre pour une position précise des lunettes, ce qui prouve que la lumière de l'arc a été *polarisée*. Mais ceci est une autre histoire.

Un arc-en-ciel peut en cacher un autre

Mais où est situé cet arc ? Et son centre ? Réponse : dans l'œil de celui qui regarde (comme la beauté, dit le proverbe). En effet, les rayons du soleil arrivent sur les gouttes à peu près parallèlement les uns aux autres, et ce qu'on voit c'est un demi-cercle, parfois plus (En avion par exemple, on peut voir un cercle complet en dessous de soi avec le soleil au-dessus et l'ombre de l'avion au centre du cercle). Mais dans ce cas, quand on se déplace, on devrait voir l'arc se déformer, ou à tout le moins on devrait se déplacer par rapport au bord de l'arc... Or ce qu'on voit c'est qu'il ne se passe rien : l'arc nous accompagne dans notre mouvement !

Pourquoi ? Parce que les gouttes émettent dans toutes les directions et ce ne sont pas les mêmes qui forment les *différents* arcs que l'on voit quand on se déplace. Le centre de l'arc, ou pour être plus précis le sommet du cône constitué par tous les rayons de l'arc, c'est notre œil ! L'ouverture de ce cône, l'angle sous lequel on le voit, est de 41° en moyenne (la théorie dit 40° pour le violet, 42° pour le rouge), en fait un peu moins pour le violet et un peu plus pour le rouge. Avec de bonnes conditions on peut même apercevoir l'*arc secondaire*, à environ 9° au-dessus du primaire, soit 51° en moyenne.



Cet arc secondaire est plus large que l'arc primaire et provient d'une double réflexion de la lumière dans les gouttes d'eau. À noter que la bande de ciel entre les deux arcs est plus sombre que le fond du ciel : normal puisque de la lumière s'est concentrée à 41° et 51° ! Cette bande est appelée *bande d'Alexandre*, en hommage à Alexandre d'Aphrodise qui la décrit en 200 av. J.-C. Il existe des arcs tertiaires et plus, mais extrêmement ténus : on ne les observe qu'exceptionnellement dans la nature, ou en laboratoire avec un laser. À la prochaine occasion, regardez attentivement l'ordre des couleurs dans l'arc secondaire : c'est l'inverse de celui de l'arc primaire ! Pour l'expliquer il faut se rappeler que la lumière a subi une réflexion de plus...

Au lever ou au coucher du soleil les arcs sont rouges, car très peu de lumière bleue a pu traverser l'atmosphère sans être diffusée.

Quelle aurore !

La lune aussi est susceptible de donner naissance à un arc-en-ciel, mais sa brillance étant environ un million de fois moindre, l'arc correspondant apparaîtra incolore, plutôt grisâtre. Parfois des arcs se forment au bord de la mer, ou dans des prairies avec la rosée. Les vagues aussi peuvent créer des arcs, mais alors leur taille est différente car l'eau salée réfracte différemment la lumière. Même le brouillard peut s'y mettre, mais assez rarement car il faut de grosses gouttes pour former un arc-en-ciel. Les lieux privilégiés pour voir des arcs-en-ciel sont les cascades : en début de matinée ou en fin d'après-midi, placez-vous devant la cascade avec le soleil derrière vous... et admirez.

Passons à des phénomènes plus rares sous nos latitudes : les aurores (chez nous elles sont boréales, dans l'hémisphère sud elles sont australes). Ces bandes changeantes qui vont du vert au violet en passant par le rouge sont des spectacles féeriques et évanescents ; ils se produisent notamment après des éruptions sur le soleil, ce qui indique que leur origine se trouve dans les particules que celui-ci nous envoie : ce sont des électrons, particules chargées électriquement, qui sont freinées par le champ magnétique de la Terre et entrent en collision avec des atomes de notre atmosphère (d'oxygène principalement). Ces derniers se « désexcitent » en émettant ces lueurs caractéristiques.

Si vous prenez l'avion et que vous passez près d'un pôle, regardez ! Avec votre appareil photo ou votre portable, vous pouvez les photographier avec une pose d'une dizaine de secondes. Comme la fréquence et l'ampleur de ce phénomène dépendent de l'activité du soleil qui augmentera jusqu'en 2010, tous les espoirs nous sont permis !

La Question du jour

Pourquoi ne peut-on pas voir d'arc-en-ciel en milieu de journée ?

Réponse p. 168

► Indice

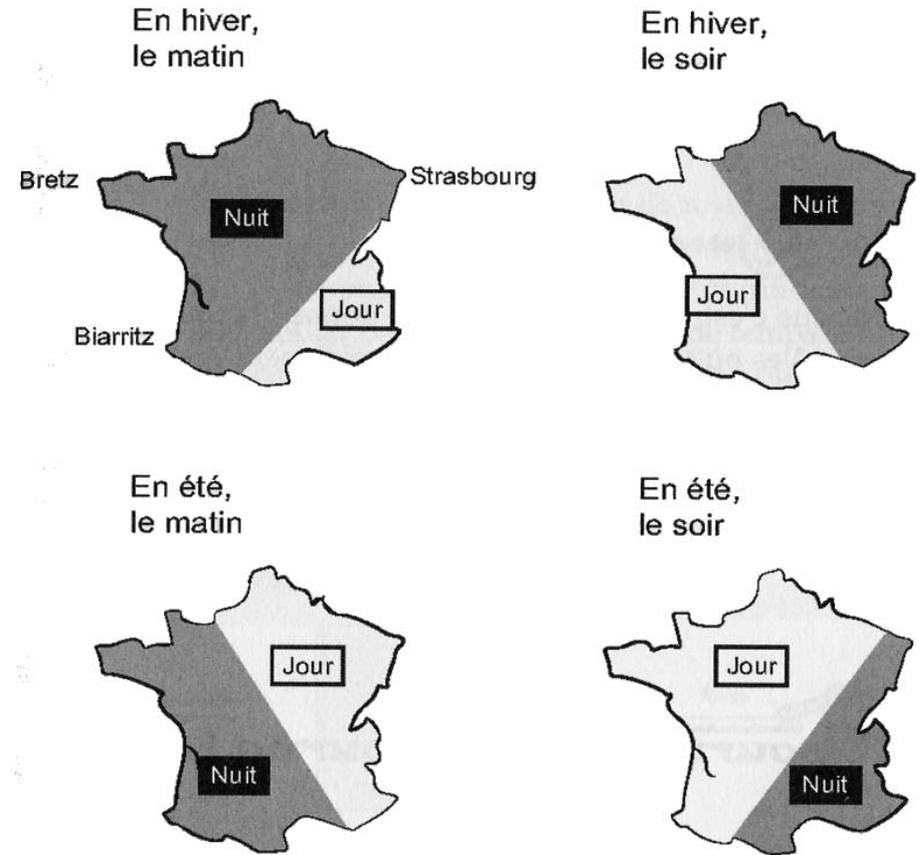
N'oubliez pas que c'est le Soleil qui est la source de la lumière de l'arc... Où se situe-t-il dans le ciel quand on voit un arc-en-ciel ?

C'est le jour et la nuit

Si vous êtes parti(e) en vacances l'hiver dernier, en allant vers le sud, peut-être avez-vous remarqué que le soleil se levait plus tôt et se couchait plus tard que chez vous (si vous avez voyagé vers le nord c'est bien sûr le contraire). Autrement dit, la journée est plus longue au sud qu'au nord ! Cela peut sembler injuste, et que signifient alors les heures de lever et de coucher que nous donne aimablement la présentatrice de la météo ?

L'été prochain, cherchez un endroit bien dégagé et notez l'heure de lever (si vous êtes matinal(e)) ou de coucher du Soleil. Faites la même chose sur votre lieu de vacances ou téléphonez à de la famille éloignée pour qu'elle fasse la même chose aux mêmes dates. Et comparez ! Vous verrez que vous tenez votre revanche : à Strasbourg, il fait jour dix bonnes minutes avant Nice, et nuit dix minutes après. Pourtant, Strasbourg et Nice sont pratiquement sur le même méridien ! D'où vient cette différence, qui change avec les saisons ?

Eh bien, elle a justement la même cause que nos saisons : la position particulière de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son mouvement annuel autour du Soleil. L'une des conséquences est que la limite jour-nuit, appelée *terminateur*, n'est en général pas parallèle aux méridiens. Le matin, en hiver, cette ligne est « inclinée » vers l'est, et il fait alors jour le matin plus tôt au sud qu'au nord, et nuit plus tard (fig.) Les jours rallongent quand on va vers le sud. En été, c'est le contraire : il fait jour un peu plus longtemps au nord. Encore plus au nord, le soleil ne se couche plus du tout pendant quelques jours, c'est le soleil de minuit. Tout au nord, au pôle, le jour dure six mois...



C'est seulement aux équinoxes de septembre et mars que les terminateurs sont nord-sud, et alors les décalages dans les levers et couchers du soleil sont bien dus uniquement à la longitude (position est-ouest). Il fait ainsi jour à Strasbourg 50 minutes avant Brest le 21 mars, mais nuit 50 minutes avant aussi : la durée du jour est identique partout sur Terre (12 heures).

Pour simplifier le tout, les effets de saison et de décalage horaire s'ajoutent algébriquement : le jour arrivera en même temps à Strasbourg et Biarritz lors du solstice d'hiver, mais le

même jour il fera nuit nettement plus tard au pays basque ! On n'est pas couchés...

La **Q**uestion du jour

Puisque c'est le méridien qui nous donne l'heure (solaire), aux pôles où tous les méridiens se rejoignent quelle heure est-il ?

Réponse p. 177

► **Indice**

N'oubliez pas que la référence pour l'heure n'est pas sur Terre.

Et pourtant... elle tourne !

Cette célèbre exclamation, attribuée à Galilée à la fin de son procès, est très certainement apocryphe ; elle ne résume même pas la pensée du savant italien, qui pensait en réalité (sans le dire, puisqu'il venait d'abjurer) : *Eppur, si muove* : et pourtant, elle *bouge*. Il faisait ainsi allusion aux *deux* mouvements de notre planète, la rotation quotidienne et la révolution annuelle.

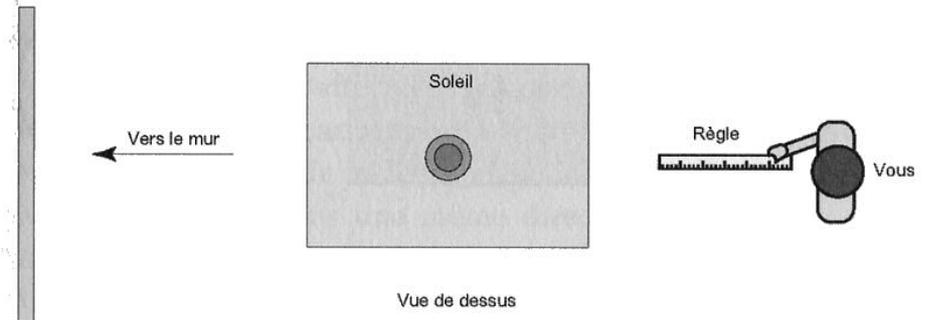
Revenons dans le présent, avec une question bien simple mais qui nécessitera que vous jouiez en personne le rôle de la Terre : en combien de temps le globe tourne-t-il sur lui-même ?

La réponse vient immédiatement : en 24 heures. Comme notre planète est précise ! Mais non, soupirez-vous en haussant les

épaules, on a divisé la durée de cette rotation en 24 parties égales, qu'on a appelées des heures, c'est tout... Eh bien, ce n'est pas si simple, et vous allez devoir tourner vous-même pour vous en apercevoir.

La première remarque est que la durée de rotation de notre planète est variable. Bien sûr, ces écarts ne se chiffrent pas en heures ni même en minutes, mais le BIH, Bureau International de l'Heure doit ajouter ou retirer une seconde de temps à autre pour que le temps civil corresponde bien au temps physique.

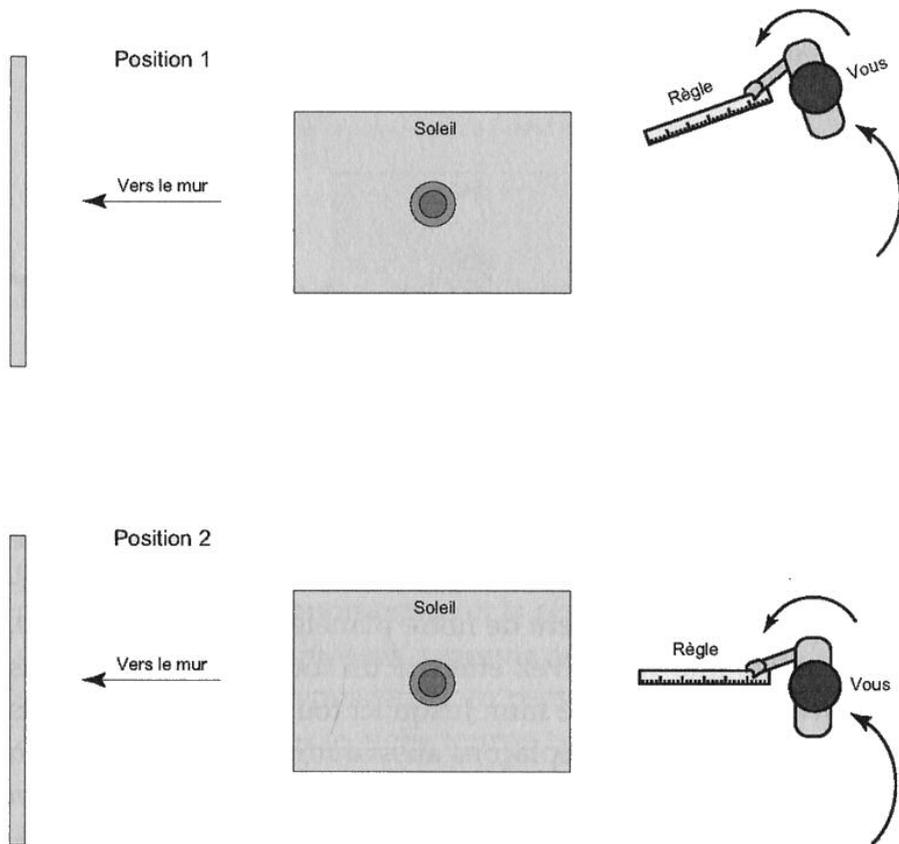
Mais il y a un autre « écart », qui se chiffre en minutes et existe tous les jours, et que vous allez maintenant vivre physiquement.



Placez un objet au centre d'une table, par exemple une lampe, qui figurera le Soleil. Vous êtes donc la Terre. Mettez-vous face à un mur, et faites un tour sur vous-même : vous venez de simuler le premier mouvement de notre planète : la rotation diurne. Vous savez que vous avez effectué un tour quand vous vous retrouvez face au même mur. Jusqu'ici tout va bien. Mais vous savez que nous nous déplaçons aussi autour du Soleil, et ce en un an. Vous allez donc devoir tourner sur vous-même *tout en faisant le tour de la table* pour simuler les deux mouvements prin-

cipaux de notre globe. Pour ne pas vous perdre, prenez en main une règle que vous dirigerez *toujours face à vous*. Elle matérialisera votre orientation.

Partons donc de la position ci-dessus où vous visez le Soleil avec la règle, avec le mur de référence en face de vous. La consigne est : tournez sur vous-même et autour du Soleil, jusqu'à avoir fait *exactement un tour* (il se sera alors écoulé un jour). À l'arrivée, les personnes mises dans cette situation se partagent entre deux positions. Dans quel camp vous rangez-vous (attention aux sens des déplacements) ?



Les partisans de la première solution disent que tant qu'on n'est pas de nouveau en face du Soleil, que la règle ne vise pas le Soleil comme au départ, on n'a pas accompli un tour complet. Ils doivent alors tourner un peu plus longtemps que ceux qui retiennent la position 2 : ces derniers font valoir le fait qu'un tour est accompli quand on regarde de nouveau dans la même direction de départ, vers le mur de référence... Qui a raison ?

Un des grands intérêts de la réflexion scientifique, c'est qu'elle prend presque toujours le contre-pied de nos intuitions. Ici je renverrai tout le monde dos à dos (!), la réponse étant : tout le monde a raison.

En effet, la définition de la rotation nécessite qu'on précise *par rapport à quoi* on considère cette rotation. Si la Terre n'avait pas de mouvement autour du Soleil, et c'est la toute première simulation que vous avez effectuée, un tour par rapport au mur est identique à un tour par rapport à la lampe-Soleil. Mais avec le mouvement annuel de la Terre, c'est différent ! Pour que nous nous retrouvions dans une même direction de l'espace, vers une étoile (et non un mur) donné, nous devons être dans la position 2. Mais si nous choisissons le Soleil comme référence, alors il faudra attendre un petit peu pour atteindre la position 1. Il y a donc deux définitions du jour, ou mieux deux jours différents : le jour *sidéral*, mesuré à partir des étoiles, points de référence extérieurs au système Terre-Soleil, matérialisé dans notre expérience par le mur ; et le jour *solaire*, un peu plus long que le précédent, mesuré à partir des positions respectives de la Terre et du Soleil : un observateur regardant toujours dans la même direction, celle de la règle, verra le Soleil repasser après un jour solaire. On peut ainsi le définir comme l'intervalle de temps entre deux passages consécutifs du Soleil au méridien.

Et les 24 heures, dans tout ça ?

Dans la vie courante, c'est le Soleil et non la Grande Ourse qui règne sur nos montres et donc nos vies, et c'est donc le jour solaire qu'on a divisé en 24 périodes d'une heure. Les mesures du jour sidéral ont donné une moyenne de 23 h 56 min 4 s.

En vrac

Que d'eaux, que d'eaux...

L'eau est un composé vital, et ceci à cause de ses propriétés très particulières pour ne pas dire uniques. Nous avons évoqué ailleurs sa capacité à dissoudre des gaz (voir « Eau plate ou eau gazeuse ? », p. 86); mais elle en a une autre moins visible et pourtant riche de conséquences. Pour le voir, frottez bien une règle en plastique (ou un ballon de baudruche gonflé) sur un chandail, puis approchez-la d'un mince filet d'eau du robinet (sans le toucher).

Surprise ! Le jet est dévié ! La règle frottée porte des charges électriques, et le fait que l'eau soit attirée prouve qu'elle porte des charges opposées. Mais n'avons-nous pas appris au lycée que les corps sont neutres dans leur état normal ? C'est vrai, mais l'eau est une molécule dite *polaire*, globalement neutre mais avec des zones chargées + (là où se trouvent les atomes d'hydrogène) et d'autres chargées - (où sont les atomes d'oxygène).

C'est cette propriété qui nous rend l'eau indispensable ! La plupart des grosses molécules biologiques sont aussi des molécules polaires. Elles sont même constituées de parties chargées électriquement, qui sont dites hydrophiles, et d'autres non

C'est grave, docteur ?

La pression joue quand à elle un rôle, essentiel, dans la circulation sanguine : lors d'un battement du cœur, le sang est brusquement accéléré à sa sortie par l'artère aorte de 0 à 1 mètre par seconde (0 à 4 km/h environ). Cette brusque variation de pression ferait exploser un tube rigide, mais la flexibilité des artères permet de diminuer ce « coup de bélier » : à 20 ans leur volume peut augmenter de 50 % !

Le battement cardiaque crée une onde de choc qui se propage dans le sang : c'est le pouls. La vitesse de cette onde de choc est d'environ 10 m/s, ce que vous pouvez vérifier en prenant votre pouls simultanément sur la gorge et le poignet : vous ressentirez un petit décalage. Il a fallu en effet environ 1/10^e de seconde pour que l'onde de choc arrive à la main, à un bon mètre du cœur, alors qu'elle arrive presque instantanément au cou, très proche du cœur,

Avec le temps va, tout s'en va et surtout l'élasticité des artères ; c'est la fameuse artériosclérose. À 60 ans l'augmentation de volume est divisée par 4, ce qui élève bien sûr la pression artérielle (pensez à ce qui se passe quand vous pincez votre tuyau d'arrosage). Les façons de remédier à cette rigidité, ou plutôt de la diminuer, sont bien connues : régime alimentaire équilibré, un minimum d'activité physique régulière, pas de tabac et alcool avec modération... Je sais, je suis rabat-joie, mais on n'a qu'un cœur...

polaires dites hydrofuges. Pourquoi hydrophiles ? Parce que ces zones chargées vont interagir électriquement avec celles de l'eau, comme la règle et le filet d'eau. L'eau va ainsi orienter ces molécules, favorisant les bonnes réactions chimiques avec l'environnement : digestion, apport des aliments aux muscles, etc.

L'électricité de l'eau pour nous aider à grandir ou agir...

La Question du jour

Qu'est-ce que les plombiers (et les autres) appellent le « coup de bélier » ?

Réponse p. 176

► Indice

Le coup de bélier se produit lorsqu'on ferme rapidement un robinet, en particulier dans les anciennes installations.

Droit dans les yeux...

Placez-vous à deux ou trois mètres d'une fenêtre par laquelle vous observez un arbre, un immeuble ou tout autre objet fixe. Les deux yeux ouverts, tendez un bras et visez la poignée de la fenêtre avec un pouce dressé jusqu'à le voir juste devant elle. Maintenant fermez un œil. Que se passe-t-il ? Ou bien poignée et pouce sont toujours alignés, ou bien le pouce semble s'être décalé : si vous avez fermé l'œil droit, le pouce peut s'être décalé vers la droite de la fenêtre.

L'explication est que vos deux yeux travaillent de façon différente, mais complémentaire : ils ne voient pas la même chose, parce qu'ils sont à des endroits différents (comme vous voyez des choses différentes par la fenêtre quand vous vous déplacez). C'est le cerveau qui traite les deux images fournies par les yeux et reconstitue l'image. Or c'est un des deux yeux, qu'on appelle pour cela « œil directeur », qui impose « son » image : si en fermant l'œil droit vous n'avez vu aucun changement, c'est que votre œil directeur est l'œil gauche (ce n'est pas forcément celui qui voit le mieux chez l'ophtalmo). Si au contraire vous avez vu un décalage, c'est parce que vous avez placé instinctivement votre pouce de manière à obtenir l'image que donne votre œil droit (directeur) mais, quand vous avez fermé celui-ci, vous avez bien sûr vu l'image donnée par l'œil gauche...

Cette compétition entre nos yeux est très utile, vous allez voir pourquoi. Faites la même opération mais en visant cette fois-ci un objet à l'extérieur, comme l'arbre ou l'immeuble. Qu'observez-vous ? La même chose, mais cette fois le décalage est plus important ! Or la seule chose qui a changé est la distance de l'objet visé ; c'est en fait une façon pour notre cerveau d'estimer la distance des objets, en comparant les images différentes données par nos deux yeux... Pour finir de vous en persuader, essayez de saisir un objet sur une table en fermant un œil : vous risquez de tâtonner un peu...

Les astronomes utilisent cette particularité, appelée *parallaxe*, pour calculer la distance des étoiles les plus proches ; mais la base qu'ils utilisent pour viser est beaucoup plus large que la distance entre vos yeux : c'est le diamètre du cercle parcouru par notre planète autour du Soleil, soit deux positions à six mois d'intervalle et 300 millions de km de distance...

Mon œil !

Si vous avez un chat, regardez sa pupille en allumant puis éteignant une petite lampe de poche dirigée dans ses yeux (cela ne lui fera aucun mal). L'effet est spectaculaire : la pupille rétrécit immédiatement quand vous allumez la lampe.

Si vous n'avez pas de félin sous la main, placez-vous devant un miroir et, dans la pénombre, regardez vos yeux (certes ils sont très beaux, mais ce n'est pas le sujet). Puis allumez la lumière sans cesser de fixer vos pupilles : vu ? Le simple fait d'allumer les fait rétrécir au moins de moitié, mais dès que la pénombre revient elles s'agrandissent à nouveau pour capter un maximum de lumière.

L'air de rien, le fait de diviser par deux la taille de la pupille divise par quatre la quantité de lumière qui entre dans l'œil. Cela fonctionne évidemment dans les deux sens : quand la pupille s'agrandit pour s'adapter à l'obscurité, elle reçoit une quantité de lumière proportionnelle au carré de son rayon. Un chat peut ainsi capter près de 50 fois plus d'énergie lumineuse quand il chasse dans un grenier sombre...

Comment réagit notre œil aux brusques sauts de luminosité ? Dans le cas d'un éblouissement, il reproduit l'image de la source avec différentes couleurs, pendant quelques instants, ce qu'on voit encore mieux en fermant les yeux. On voit alors un disque s'il s'agit du Soleil, un filament pour une lampe à halogène par exemple.

Cela vient du fait que nos récepteurs ont besoin d'un certain temps pour rétablir une vision normale, et continuent à exciter le nerf optique après l'illumination. Si nous avons bougé la tête pendant l'éblouissement, nous voyons, après avoir fermé les

yeux, l'image « bougée » de la source, provenant des divers récepteurs atteints lors du mouvement...

La réaction au manque de lumière est bien plus lente mais après tout parfaitement adaptée aux conditions naturelles du jour qui décline. C'est pourquoi nous trouvons normal de laisser nos yeux « s'habituer à l'obscurité ». Observer un ciel étoilé quand on vient d'une pièce éclairée demande au moins une dizaine de minutes pour commencer à bien y voir, une vingtaine pour être au mieux de sa sensibilité. Et si, à ce moment-là, quelque chose nous éblouit, tout ou presque est à recommencer...

Donnez-moi un point d'appui...

Et je soulèverai le monde, a dit il y a bien longtemps un célèbre habitant de Syracuse : Archimède. Sans aller jusque-là, voyons avec quelques situations ce qu'il en est de ce fameux « principe du levier ».

Pour le comprendre, prenez un livre bien lourd, type dictionnaire, et posez-le sur votre main ; puis tendez le bras et comptez jusqu'à cent... Fatigant, non ? Pour vous reposer vous avez le droit de replier le bras vers vous ; c'est déjà moins athlétique ! Or le livre est toujours aussi lourd, lui ; c'est donc la façon de le porter qui change tout. Si, maintenant, vous posez le livre entre votre épaule et votre coude, bras tendu, vous noterez facilement la différence avec tout à l'heure !

Soufflez une seconde, posez votre livre, puis approchez-vous d'une porte ; ouvrez-la, puis commencez à la refermer en appuyant avec une seule main à 10 cm de la poignée, vers le milieu de la porte ; c'est encore facile, bien qu'un peu moins qu'avec la

poignée. Essayez maintenant en poussant à 10 cm des gonds ; plus dur, non ?

Arrêtons là les tortures et essayons de comprendre

Vous commencez à saisir pourquoi les poignées des portes sont le plus loin possible des gonds... Quand vous poussez à 10 cm côté gonds, la porte semble avoir changé de poids ! Ne tournons plus autour du pot : Dans chaque situation, livre ou porte, trois éléments donnent la clé (hé, hé) de la « règle du levier ».

Ces trois éléments sont : une rotation et donc un axe définissant cette rotation ; une force agissant sur l'objet en rotation ; la distance entre l'endroit où la force s'applique et l'axe de rotation. L'effet de la force dépend bien sûr de la valeur plus ou moins grande de celle-ci (on peut claquer une porte), mais aussi de l'endroit où elle est appliquée. C'est ce qui explique les différences que vous avez constatées. Par exemple dans le cas du livre que vous soulevez, la rotation est celle de votre bras autour d'un axe horizontal passant par l'épaule.

Reprenons les tortures. Prenez une planche de bois assez longue (mettons deux mètres) et faites-la porter par une personne à chaque bout. Qui porte le plus ? Par symétrie, personne. Maintenant, faites se rapprocher une personne du milieu de la planche. Y a-t-elle gagné ou perdu ? Demandez-lui ce qu'elle a ressenti. Puis comparez avec ce que votre raisonnement vous dicte (réponse : la personne qui est plus près du milieu – l'axe

de rotation – a besoin d'une plus grande force pour maintenir l'équilibre, comme pour la porte évoquée plus haut).

Au fait, Archimède avait-il raison ? En théorie, oui, mais allez donc trouver un levier assez long et solide...

La **Q**uestion du jour

Pourquoi n'est-il pas recommandé de s'appuyer sur un lavabo (ou une étagère) accroché au mur ?

Réponse p. 170

► **Indice**

Quand un lavabo ou une étagère se décroche, elle commence par effectuer une rotation.

Un petit pas pour l'homme

Rien de plus éloigné de la science que le sport, pensez-vous ? Grave erreur ! Vous allez voir qu'au contraire le sport est truffé de science !

Commençons par un sport calme : la marche à pied. La jambe constitue un « pendule naturel », avec sa période propre d'oscillation, qui ne dépend pas de sa masse mais uniquement de sa longueur (voir « Mettons les pendules à l'heure », p. 41). Ainsi une longueur de jambe de 90 cm correspond à une période

naturelle d'environ 1,5 seconde, soit 80 pas par minute. Une période correspond à 2 pas, car c'est seulement au bout de 2 pas que vous vous retrouvez exactement dans la même position, sur le même pied.

Faites dix pas le plus naturellement possible, en vous chronométrant : quel temps avez-vous mis ? Une jambe de 70 cm marche spontanément à 90 pas par minute, soit 7 secondes environ pour dix pas. Il est alors facile de comprendre pourquoi les personnes de petite taille font plus de pas que les grandes, et dépensent plus d'énergie ! Sept secondes pour 10 pas, cela fait 0,7 seconde par pas ou 1,4 seconde pour deux pas. Le rythme d'oscillation est donc très proche du rythme « naturel » et l'effort est minimal. Il va sans dire qu'il faudrait tenir compte de facteurs liés aux différentes articulations, au contact avec le sol et à la forme réelle de la jambe qui peuvent faire varier un peu la durée réelle des oscillations.

Quelle est la vitesse d'une personne qui marche ? Cela dépend de sa taille, à double titre : une personne de grande taille va faire des pas plus lents, mais ces pas seront plus grands. C'est ce dernier effet qui l'emporte, comme on le voit entre adultes et enfants ; un adulte fait un pas de 0,70 m en moyenne, ce qui au rythme décrit plus haut correspond à une vitesse de 0,93 mètre par seconde ou 3,4 km/h environ. Un enfant deux fois plus petit que cet adulte marche spontanément 1,4 fois moins vite, soit 2,4 km/h...

Si maintenant nous parlons de course, les oscillations ne se font plus selon leur période naturelle, car ce sont les muscles qui commandent le rythme : on parle d'« oscillations forcées ». Pour une jambe plus longue, la période d'oscillation est dans ce cas proportionnelle à cette longueur de jambe ; et la conséquence

paradoxe est que la vitesse de déplacement ne dépend plus de la taille de la jambe (au moins en première approximation) ! Grands ou petits, tout le monde court aussi vite ? Non, bien sûr, car c'est alors la musculature qui fait la différence... Mais les « petits » sont nettement moins défavorisés pour la course par rapport aux « grands » que pour la marche. Vous avez compris pourquoi pour courir plus vite nous devons plier plus nos jambes : leur période d'oscillation est alors plus courte.

Notons que d'un point de vue énergétique, la consommation d'énergie à vitesse normale se fait avec une puissance de 250 Watts, et que pour « brûler » l'équivalent d'un steak (125 kcal) il nous faut marcher rapidement environ 40 minutes, soit deux bons kilomètres ; dur de ne pas grossir !

Le saut du physicien

Montons d'un cran et regardons ce qui se passe lors d'un saut. En hauteur, il faut vaincre la pesanteur, c'est-à-dire notre poids ; voilà pourquoi la technique la plus économique en énergie consiste à « s'enrouler » autour de la barre, en maintenant les jambes le plus bas possible et en courbant le dos au maximum : de cette façon, le centre d'inertie (appelé parfois encore « centre de gravité ») du corps reste le plus bas possible, en dessous de la barre elle-même ! Cette technique fut introduite par l'américain David Fosbury, champion olympique en 1968. La vitesse d'élan ne sert qu'à augmenter la poussée donnée par le pied d'appel au moment du saut, qui seule permet d'élever le sauteur.

En longueur c'est différent : plus la vitesse est importante, plus le temps d'envol sera long et plus lointaine sera la chute...

...

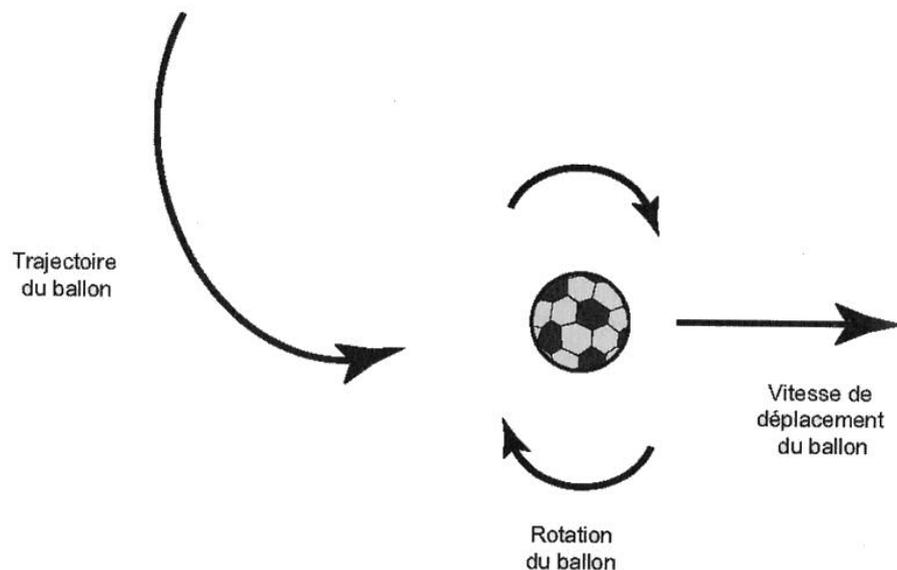
Voilà pourquoi Jesse Owens ou Carl Lewis étaient tous les deux champions de vitesse et de saut en longueur. À quoi sert de « pédaler » dans le vide pendant le saut en longueur ? À rien du point de vue de la distance parcourue, mais la position du corps permet d'avancer les jambes au maximum et toucher terre le plus loin possible.

Un cas intéressant est celui du saut à la perche, car il y a plusieurs étapes de transformation de l'énergie. Stockée sous forme chimique dans l'organisme au départ, elle se transforme en énergie de mouvement (cinétique), puis en énergie de déformation élastique dans la perche, puis en énergie gravitationnelle (le sauteur monte), de nouveau en énergie cinétique (le sauteur retombe) puis en énergie de déformation du tapis et pour finir, en chaleur.

Enfant de la balle

Commençons par ce qui nous fait le plus vibrer : le foot, et qui donne lieu à toute une littérature plus ou moins spécialisée. Comment diable les tireurs de « coups de pieds arrêtés », coups francs ou corners, peuvent-ils donner une trajectoire aussi tordue au ballon, pour contourner le mur des défenseurs ? C'est en faisant tourner le ballon : l'air immédiatement autour de celui-ci est mis en mouvement et tourne avec ; sa vitesse s'ajoute à celle du déplacement du ballon d'un côté et s'en retranche de l'autre... Sur ce dernier côté la pression est plus forte que de l'autre et fait dévier le ballon : c'est l'« effet Magnus ». À noter que c'est un effet du même type qui porte les avions.

Une petite manip pour voir cet effet en action : prenez une paille et un verre d'eau (colorée pour mieux voir), et remplissez la paille à moitié en aspirant. Bouchez-la avec un doigt, puis disposez-la verticalement dans le verre. Maintenant enlevez votre doigt et sans attendre, soufflez fortement à l'horizontale juste au-dessus de la paille, en surveillant le niveau de l'eau dans celle-ci.



Que voyez-vous ? Le niveau de l'eau qui monte dans la paille, car la pression de l'air à l'embouchure a diminué à cause du mouvement de l'air que vous avez créé. Lancez ce défi à vos amis : comment faire se rapprocher deux balles de ping-pong suspendues à 10 cm l'une de l'autre, sans les toucher, et sans souffler dessus bien sûr ? En soufflant entre les deux, vous soufflerez aussi vos invités...

Les sports de « balles », malgré leur diversité apparente, ont bien des points communs entre eux puisque les lois physiques

sont les mêmes ! Voyez par exemple le golf : pourquoi les balles ont-elles cette surface pleine de creux ? Réponse : pour aller plus loin ! Une balle lisse est très peu aérodynamique : elle comprime l'air devant elle et laisse derrière elle, où la pression est faible, un sillage assez long d'air turbulent, source de pertes d'énergie. Une forme plus aérodynamique comme celle d'une fusée aurait un meilleur taux de pénétration dans l'air, mais ce ne serait plus une balle de golf mais de fusil. Les cavités sur la balle ont pour effet de diminuer la vitesse de l'air près de celle-ci, et donc de diminuer la turbulence derrière elle.

Ces effets existent aussi avec les balles de tennis, dont les « poils » qui apparaissent à l'usage perturbent l'écoulement de l'air et rendent imprécises les trajectoires. En ce qui concerne le tennis, les phénomènes sont assez subtils et j'en prendrai un à titre d'exemple : le « top spin », où l'effet voulu est de faire retomber et rebondir la balle le plus vite possible. Dans ce cas le joueur fait tourner la balle selon un axe horizontal, comme si elle roulait en avant devant lui. Alors la balle entraîne un peu d'air autour d'elle, et cela diminue la pression sous la balle et augmente celle au-dessus : la balle tombe alors plus vite, et accélère en rebondissant.

Quand le ballon est ovale, c'est que l'on joue au rugby ; une seule petite question à ce propos : pourquoi, quand le ballon est lancé, les joueurs lui donnent-ils une rotation autour de l'axe longitudinal (qui passe par les « pointes ») ? La réponse tient au fait qu'il se comporte alors comme un *gyroscope*, et maintient constante son orientation ; sa trajectoire est alors plus stable et il est plus facile à rattraper car il n'a pas de mouvements latéraux, et de plus sa position « pointe en haut » le fait planer plus loin.

La **Q**uestion du jour

Pourrait-on faire avancer un véhicule avec l'effet Magnus ?

Réponse p. 177

► **Indice**

L'effet Magnus implique un déplacement de l'objet par rapport à l'air (ou l'inverse, c'est-à-dire du vent) et une rotation de l'objet.

Des couches pour bébé aux séquoias centenaires

Devinette : qu'y a-t-il de commun entre une bougie, un buvard et les vêtements anti-transpiration ? Réponse : dans tous les cas entre en jeu un phénomène tellement courant que nous ne le remarquons même plus : la capillarité. Il suffit de faire un « canard » pour votre petit dernier, c'est-à-dire de tremper un sucre dans votre café pour voir monter le liquide, en totale contradiction avec les lois de la pesanteur.

Que se passe-t-il donc ? En réalité, il faut considérer la surface d'un liquide quelconque comme une membrane tendue ; cette *tension superficielle* permet à certains insectes de se promener sur l'eau ; et une aiguille posée sur du papier à cigarette, lorsque celui-ci coulera en ayant absorbé suffisamment d'eau (par capillarité !), flottera comme un bateau...

Pour comprendre ce qui fait monter l'eau dans un morceau de papier absorbant, préparez un verre de sirop et une paille. Aspirez un peu et regardez le niveau de l'eau dans la paille : il n'est pas plat, mais concave ; ce qui signifie que l'eau *monte* légèrement sur les bords, et ce d'autant plus que la paille est plus fine. Dans un papier absorbant (ou dans des couches), c'est la même chose : la cellulose dont est formé le papier est constituée par de minuscules tubes qui font remonter l'eau à l'intérieur, jusqu'à ce que le poids de celle-ci finisse par équilibrer les forces de capillarité. Si ces dernières deviennent plus faibles que le poids, gare aux fuites !

Dans le sucre le liquide se fraie un chemin entre les cristaux agglomérés, et le canard finit par être « rempli » de café.

Ce mot de *capillarité* provient des tubes « capillaires », c'est-à-dire fins comme des cheveux (ou presque), dans lesquels la surface libre de l'eau, le *ménisque*, est très nettement concave. La capillarité est bien utile dans les vêtements quand elle conduit la sueur vers l'extérieur, où elle s'évapore ; ceci n'est pas contradictoire avec une certaine imperméabilité. Dans notre organisme la capillarité joue un rôle fondamental, en lien avec l'*osmose* qui fait passer des liquides de moindre concentration dans ceux plus concentrés.

C'est aussi la *tension superficielle* qui donne sa forme sphérique aux gouttes d'eau et aux bulles de toutes sortes. Ce sont des forces moléculaires qui sont à l'origine de cette tension superficielle, et qui donnent ainsi leurs formes aux gouttes de liquide posées sur différentes surfaces : passez un mouchoir imbibé d'huile sur une surface comme du plastique, par exemple ; puis déposez une goutte d'eau : alors la forme de la goutte sera pratiquement sphérique. Les molécules de graisse agissent comme

un repoussoir pour l'eau et celle-ci ne s'étale quasiment pas. Par contre si vous étalez un peu de détergent liquide sur la même surface, alors ce type de substance dite « tensioactive » fait s'étaler l'eau et la surface devient « mouillante ».

Voilà pourquoi les canards (les vrais) sont parfaitement au sec ! Leurs plumes sont recouvertes d'une substance grasse qui empêche l'eau de s'étaler et donc aussi de pénétrer, comme c'est le cas de bien des « cirés bretons » qu'il faut parfois « regraisser ». De même les peaux de certains fruits ou les feuilles empêchent l'eau de pénétrer, car ils sont recouverts de *cuticule*, corps gras qui fait se former de grosses gouttes le matin : c'est la rosée.

Un jardin extraordinaire

Les séquoias accomplissent l'exploit de faire monter l'eau puisée dans le sol à plus de 100 mètres de hauteur, la hauteur d'un immeuble de 40 étages ! Et tout ceci par capillarité. Les petits capillaires, qu'on appelle des xylèmes ou des vaisseaux de xylème, ont un rayon compris entre un centième de millimètre et un demi-millimètre. Mais en laboratoire, on ne réussit avec de tels tubes qu'à soulever l'eau d'un mètre cinquante environ. Alors, comment font les arbres ?

Effectivement, ils ont un truc. Au niveau des racines, c'est par osmose que l'eau est pompée : la différence de pression vient ici de la différence de concentration des minéraux dissous dans l'eau, concentration plus élevée dans la plante qu'à l'extérieur. C'est ainsi que l'eau est pompée vers l'intérieur... La différence de densité est suffisante pour donner des pressions pouvant aller jusqu'à 3 bars, autrement dit 3 fois la pression atmosphérique !

...

Dans les feuilles, en haut, l'évapotranspiration (300 litres par jour pour un arbre moyen !) et la photosynthèse augmentent la densité de la sève et sont à l'origine d'une pression qui peut atteindre 20 bars... Mais une pompe naturelle ne peut en principe pomper l'eau à plus de 10 mètres de hauteur, car cela correspond à la valeur de la pression atmosphérique ; alors comment opèrent nos séquoias ?

Le modèle invoqué pour expliquer la montée de la sève dans les très grands arbres s'appelle la « pression négative ». Discuté depuis plus d'un siècle, son idée est qu'un liquide soumis à deux pressions différentes à ses deux extrémités se comporte un peu comme une corde en tension soumise à une traction à ses deux bouts ; c'est alors le volume entier du liquide qui est soumis à cette pression et non plus seulement sa surface.

L'eau est dans un état instable et devrait dans ces conditions se mettre à bouillir, ce qui n'est pas le cas grâce à la tension superficielle, encore elle, qui empêche la formation des bulles et donc l'ébullition. Un séquoia comme autocuiseur géant, voilà qui serait de la cuisine vraiment bio...

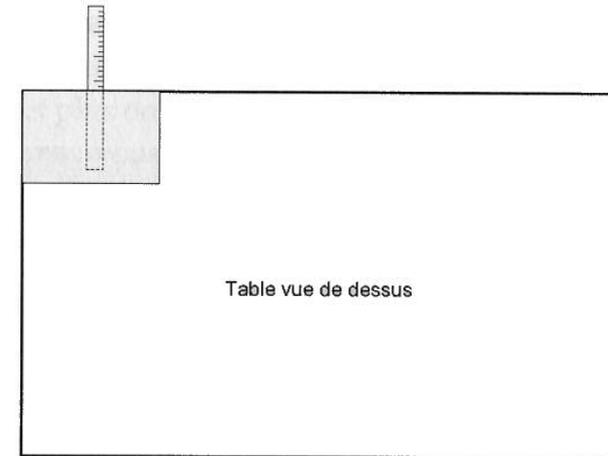
Sous pression !

Voici une expérience... renversante, qu'il est prudent de réaliser au-dessus d'une bassine ou d'un évier. Remplissez un verre d'eau et prenez une carte postale. Posez celle-ci sur le verre en vous assurant qu'il n'y a pas d'espace entre verre et carte. Et renversez le tout, assez vite, en maintenant la carte ; puis lâchez-la... Miracle, l'eau ne tombe pas (en principe... sinon, épongez et recommencez).

Le résultat de cette manip n'est pas toujours bien interprété : c'est bien la pression atmosphérique qui soutient l'eau, mais après tout il y a de l'air dans le verre, et donc une pression là aussi, non ? En fait, l'eau descend un peu (en déformant la carte) et du coup la pression diminue un peu dans le verre. De ce fait, la pression extérieure est suffisamment supérieure à la pression intérieure pour maintenir eau et carte.



C'est qu'elle est élevée, la pression due à l'air ! Pour vous en persuader, réalisez l'expérience suivante : prenez une feuille de votre quotidien favori ; étalez-la bien sur une table, de façon qu'elle en épouse un angle. Glissez dessous une règle (à sacrifier) ou un morceau de cagette en bois d'une trentaine de cm de long. Environ la moitié doit dépasser du journal.



Maintenant, attention ! En tapant un coup très sec sur le bout de la règle, vous allez la casser net... Donc une simple feuille de journal suffit à maintenir la règle jusqu'à la rupture ? Mais oui, et la pression peut faire bien plus encore.

Prenez une tête au hasard, la vôtre par exemple. Comme on le fait souvent en physique, je vais la modéliser assez grossièrement : c'est la forme et non le contenu qui m'intéresse ici (!).

J'assimile donc la partie supérieure de votre chef à un rectangle (chevelu ou pas, peu importe ; certains ont le crâne qui a poussé plus vite que les cheveux). Donnons des dimensions moyennes : 20 cm sur 10 cm ; ce qui fait une surface de 200 cm². Eh bien, sur le haut de votre tête s'exerce le poids de... 200 kg d'air, mais oui, équilibrés comme il se doit par la pression interne de votre organisme. Facile à retenir, et imposant pour une substance dont on a du mal à se persuader de la matérialité (sauf en cas de tempête) !

Un kilogramme pour chaque cm², c'est cela la pression atmosphérique... sur une feuille A4, 600 kg d'air ; sur votre feuille de

journal, plus de deux tonnes ! Pas étonnant que certaines nouvelles nous pèsent...

La Question du jour

L'air est invisible, mais vous en avez vu souvent, pourtant ; quand ?

Réponse p. 178

► **Indice**

Pensez à cette situation : un verre d'eau, une paille, mais interdiction de boire...

Des baromètres qui font le poids

Le saviez-vous ? Le mot « baromètre » signifie « mesure des poids ». Il s'agit du poids de l'air, certes peu important (1,3 grammes pour 1 litre) mais qui finit par être significatif à l'échelle de l'atmosphère. Voici comment vous en rendre compte : pesez sur une balance de cuisine un ballon de foot, de basket ou de handball « vide », puis gonflez-le bien et repesez-le ; avec une balance sensible au gramme vous verrez la différence.

Revenons maintenant au baromètre. Si vous habitez un immeuble, c'est parfait ; sinon à la première occasion emportez-le pour vérifier que c'est bien l'air qui pèse sur nos têtes (et ailleurs). Il suffit pour cela de comparer la valeur indiquée par un baromètre

au rez-de-chaussée de l'immeuble et, par exemple, au 5^e étage : si la première valeur était de 1 000 hPa, elle n'est plus que de 998 au cinquième, et plus on monte, plus elle diminue...

Félicitations : vous venez d'effectuer l'expérience que Blaise Pascal fit faire à son beau-frère Casimir Périer au Puy de Dôme le 19 septembre 1648, et que lui-même répéta à Paris du haut de la Tour Saint Jacques deux semaines plus tard ! Pascal y gagna un passage à la postérité sous la forme du nom de l'unité de pression, le Pascal (Pa), utilisé en météo (1 hPa = 100 Pa). Les altimètres numériques, qu'on trouve dans certaines montres, sont en fait des capteurs de pression...

Revenez à la maison et prenez un sac de congélation, assez grand pour que le baromètre y tienne sans le remplir. Puis gonflez le sac, fermez-le bien et posez-le sur une table. Maintenant vous allez « faire la pluie et le beau temps », en appuyant bien fort sur le sac : regardez ce que fait l'aiguille du baromètre ! Vous devez pouvoir la faire monter de 20 à 30 hPa, mais sans insister, car ce n'est pas le mode d'utilisation normal de votre baromètre...

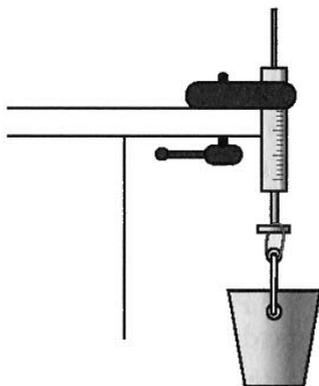
Pour les Pascal des temps modernes

Voici une petite manip pour mesurer, même approximativement, la valeur de la pression atmosphérique. Procurez-vous une seringue et mesurez-en le diamètre intérieur d . Déduisez-en la section (surface intérieure) par la formule $s = 3,14 \times r^2$ (r étant le rayon, c'est-à-dire la moitié du diamètre d). Pour une seringue de 1 cm de diamètre par exemple (donc de 0,5 cm de rayon), la section est de 0,75 cm² environ.

...

Aspirez un peu d'eau dans la seringue, et en tapotant éliminez toutes les bulles d'air, y compris celles qui peuvent s'accrocher sur les parois. Bouchez ensuite soigneusement la sortie de la seringue (où se place normalement l'aiguille), avec de la bonne colle par exemple.

Fixez la seringue verticalement, pointe en haut, par exemple avec un étau fixé sur une table. Puis attachez solidement un récipient, type seau de plage, au piston ; c'est prêt !



Vous allez verser maintenant petit à petit de l'eau dans le seau, jusqu'à ce que le piston commence doucement à descendre : c'est qu'alors la pression atmosphérique qui équilibrait le poids de l'eau n'est plus suffisante. Dans mon exemple, vous devrez verser jusqu'à ce que le poids du seau, ajouté au poids de l'eau qu'il contient, arrive à 750 ou 800 g, selon que votre seringue coulisse facilement ou pas... Le poids de l'air qui s'exerce sur $0,75 \text{ cm}^2$ est donc de 750 g, il serait de 1 kg sur 1 cm^2 , soit seulement 4 petits carreaux de vos cahiers... Pas mal, non ?

De quoi rester sans voix

Quand vous parlez, sans vous en apercevoir vous lancez tout un travail très élaboré des muscles de votre gorge...

Votre voix, comme tous les sons, se caractérise par trois valeurs : son intensité (on chuchote ou l'on crie), sa hauteur (grave ou aiguë), son timbre (qui permet de distinguer deux voix ou deux instruments jouant la même note).

Fréquences et voix humaine

La hauteur d'un son se mesure par la fréquence de vibration : la voix humaine couvre un intervalle de hauteur qui va de 60 Hz (ou vibrations par seconde) pour les basses les plus profondes, à 1 200 Hz environ pour les sopranos montant le plus haut. Certains moines tibétains descendent encore plus bas, paraît-il, en détendant leurs cordes vocales.

Le son naît quand de l'air expulsé des poumons traverse les plis du tissu dans la partie de la gorge située au niveau de la glotte ; ces plis sont les « cordes vocales », et le son résultant, quand on parle, a une fréquence d'environ 200 Hz. Les femmes ont une hauteur de voix souvent plus élevée car leurs cordes vocales sont légèrement plus courtes ; bien sûr, pour les enfants cet effet est encore plus net...

Pourquoi nos voix sont-elles toutes différentes ? Parce que le son se forme au milieu de l'ensemble larynx-pharynx-bouche et que cet ensemble joue le rôle de caisse de résonance. Selon sa

forme, variable d'un individu à l'autre mais aussi déformable par quantité de muscles, le son aura un timbre caractéristique.

Faites quelques essais : prononcez le son « ê » ; vous devez abaisser un peu votre mâchoire inférieure, et donner ainsi à votre pharynx la forme d'un cylindre un peu coudé. Montez maintenant la langue vers le palais et faites diminuer ainsi l'ouverture de sortie : vous êtes en position pour prononcer un « i ». En avançant la mâchoire inférieure et en fermant un peu la bouche, c'est un « ou » qui sort, et ainsi de suite... Amusez-vous à prononcer des voyelles et à prendre conscience de tout le travail automatique effectué par votre bouche...

Toute notre éducation vocale nous a appris à gérer inconsciemment notre musculature pour produire les sons voulus, et c'est quand on apprend des langues étrangères que l'on s'aperçoit qu'on a parfois du mal à prononcer certains sons... Les champions du monde en la matière sont les Chinois car avec leur langue à quatre tons, ils couvrent à peu près tous les phonèmes des autres langues ; l'anglais de ce point de vue est assez pauvre... Mais plus facile à apprendre !

La Question du jour

Pourquoi, dans le métro, est-il possible de parler à une personne sur le quai d'en face sans élever la voix ?

Réponse p. 165

► **Indice**

Le son nous arrive aussi par réflexion sur les murs.

Vibrer pour la musique

Pourquoi reconnaît-on tout de suite que c'est un violon qui joue et pas une guitare ? Tout est dans les vibrations...

Allons à la cuisine où nous pourrions souffler dans quelques bouteilles de verre, vides. Vous avez sans doute remarqué qu'une grande bouteille résonne avec un son plus grave qu'une petite ; en fait il se passe la même chose qu'avec un pendule constitué par une ficelle et une masse attachée au bout : si vous en fabriquez deux de longueurs différentes, vous verrez le plus long osciller plus lentement... Les grandes bouteilles font osciller l'air avec des fréquences plus faibles, donc un son plus grave.

En mettant un peu d'eau à des hauteurs différentes dans des bouteilles identiques, on peut fabriquer un instrument donnant par exemple les sept notes de la gamme... Car bien sûr seul l'air au-dessus de l'eau peut vibrer. Ce principe très général est utilisé aussi bien dans les flûtes de Pan amérindiennes que dans le xylophone, les instruments à corde... en bref dans tout ce qui vibre.

Justement, revenons à notre violon et à notre guitare. Prenons cette dernière : toutes les cordes ont la même longueur, et pourtant elles ne produisent pas le même son ! C'est le *diamètre* de la corde qui intervient ici : les cordes les plus grosses produisent un son plus grave. Pour obtenir la même note avec une corde mince et une corde épaisse, il faudra tirer sur cette dernière nettement plus ! Or le son dépend de la tension de la corde, ce qui permet d'ailleurs... d'accorder nos instruments.

Maintenant comment produire un son différent avec la même corde ? C'est comme pour les bouteilles : en diminuant la longueur de vibration, donc en posant notre doigt pour dimi-

nuer la longueur de la partie qui vibre. On retrouve l'idée que plus la longueur de vibration est faible, plus la note sera aiguë.

Une simple boîte à chaussure avec quelques élastiques, et voilà le premier instrument pour votre petit(e) dernier(e) !

Pour aller un peu plus loin

Les fréquences des notes, donc leur hauteur, et les longueurs du corps vibrant sont liées de façon relativement simple. Ainsi pour jouer une note plus haute d'une octave (même note, une gamme plus haut), il suffit de diviser la longueur de vibration par deux. Entre un Do et le Sol plus haut il y a un rapport $3/2$, entre le Do et le Mi un rapport $5/4$, etc.

Toutes les harmoniques obéissent ainsi à des rapports simples. Ce fait avait déjà frappé Pythagore il y a bien longtemps, et l'avait amené à considérer le monde entier comme soumis aux seules lois des nombres... mais c'est une autre histoire.

Cette relation entre hauteur du son et longueur de vibration est très générale : pour les instruments à vent, on diminue la longueur de vibration pour augmenter la hauteur du son et on la rallonge pour obtenir des sons graves : avec une flûte par exemple, le son le plus grave est obtenu en faisant vibrer l'air sur toute la longueur de l'instrument, ce qui n'est possible qu'en bouchant toutes les ouvertures.

Alors, me direz-vous après voir lu patiemment mes explications, qu'est-ce donc qui différencie un violon d'une guitare qui joue la même note ? Pas le son fondamental, mais le timbre ou la texture comme le disent les musiciens. Une note est compo-

sée par l'harmonique fondamentale, qui lui donne sa hauteur, mais aussi par tout un ensemble de notes émises avec des intensités diverses selon les instruments : ce sont les harmoniques. Si l'on joue un do par exemple, la corde jouera aussi le do des octaves supérieures et inférieures, des sols, des mis, etc. Certaines harmoniques sont renforcées grâce à la caisse de résonance : plus celle-ci est grande, plus les harmoniques graves seront privilégiées, ce qui distingue par exemple un violon d'un violoncelle et celui-ci d'une contrebasse. Bien sûr, la forme de la caisse « joue » aussi, mais une mandoline ne pourra jamais produire des sons graves...



La caractéristique des instruments musicalement riches est que dans ce cas toutes les harmoniques sont produites avec une puissance comparable. Toutes les hauteurs qui sont en harmo-

nie avec le fondamental sont présentes dans le son de façon équilibrée : le timbre est alors riche. Ainsi le timbre d'un Stradivarius comparé à un autre violon pourra le plus souvent être reconnu d'un spécialiste. Cependant, tout a de l'importance, depuis les bois choisis jusqu'aux vernis qui peuvent participer au son. Bien entendu (!), le passage du son à la musique (et réciproquement) reste fortement subjectif...

Réponses aux « Questions du jour »

Les réponses ne sont pas dans le même ordre que les questions. De cette façon, votre œil ne glissera pas inopinément à la réponse suivante, ce qui risquerait de vous priver du plaisir de la recherche...

Du terrier de la marmotte... : Évidemment oui, on peut voler dans l'air calme (même si ce n'est pas toujours l'idéal, contrairement aux apparences) et la convection n'est donc pas nécessaire pour voler... sauf pour les planeurs dont elle renouvelle le « carburant », c'est-à-dire la hauteur. Pour un avion classique elle rajoute une force verticale, contre laquelle il faut parfois lutter pour rester en palier, à la même altitude... le monde est parfois mal fait.

Roulons sous la pluie : Pour commencer, n'oublions pas que les nuages ne sont pas faits de vapeur d'eau : celle-ci est totalement invisible, et puisque nous voyons les nuages, c'est qu'ils sont constitués d'autre chose ! Ce sont des gouttelettes de tailles diverses qui finissent par tomber en pluie lorsqu'elles sont trop grosses (pour ne parler que des nuages de pluie). Pour la question, il y a deux situations bien différentes : celle classique où les gouttes sont stables et se déplacent au gré des vents et des ascendants ; les nuages bougent alors en se déformant plus ou moins. Mais très souvent, les gouttes sont instables, elles disparaissent en se déplaçant mais sont remplacées par d'autres qui à leur tour disparaissent... Ceci donne l'impression d'un mouvement d'ensemble, mais en réalité chaque goutte disparaît pour être remplacée par une autre et ainsi de suite : ce sont en fait les conditions de pression, température et humidité qui créent les conditions d'existence des gouttes, si le vent les déplace elles disparaissent pour se reformer un peu plus loin, tout en étant remplacées par d'autres. Et la continuité apparente du nuage est ainsi assurée, tout en faisant se déplacer l'ensemble... Un nuage est plutôt un gros tas de micro-zones indépendantes de l'atmosphère qui changent au gré des vents. C'est sûrement

moins poétique, mais cela ne nous empêchera pas d'y chercher tout ce qu'on voudra, de la figure de l'être aimé(e) aux créatures les plus fantastiques.

Rayons visibles, lumière invisible : La question, je le reconnais volontiers, n'était pas dépourvue de malice... Une question plus honnête aurait été : en un endroit donné, verra-t-on plus souvent une éclipse de soleil ou une éclipse de lune ? Prenons un détour pour faciliter la réflexion. Qui voit une éclipse de Lune ? Réponse : tous ceux qui peuvent la voir à ce moment-là ! Il suffit d'être du bon côté de la Terre, de ne pas avoir de nuages dans le ciel, et le tour est joué... Comme en plus la Terre tourne, nous pourrions même voir la fin de l'éclipse si nous avons raté le début (mais l'inverse est aussi vrai). Le point clé, c'est que la Terre arrête les rayons du soleil éclairant la Lune (enfin, presque tous), et donc que celle-ci ne peut plus éclairer. Dans le cas d'une éclipse de Soleil, notre satellite vient faire de l'ombre, mais à qui ? À ceux qui sont précisément « derrière » la Lune, donc situés sur une bande d'une centaine de kilomètres de large (pour l'éclipse totale). Pourquoi cette différence ? Parce que la Lune est près de quatre fois plus petite que la Terre, et ne risque donc pas de plonger cette dernière dans l'obscurité totale... Ainsi une éclipse de soleil en un endroit précis est un phénomène assez rare, surtout si l'on se souvient que notre globe est aux deux tiers recouvert d'eau... voilà ce qui justifie le battage médiatique sans précédent pour l'éclipse totale visible en France en août 1999 ; la prochaine pour notre pays ne sera visible qu'en 2084... Mais vous pouvez aller les voir de la Chine au Mexique en passant par les Seychelles, le spectacle est superbe... s'il fait beau, bien sûr.

Ça chauffe dans la cuisine : Le four à micro-ondes, comme son nom l'indique, soumet les aliments à un bombardement de micro-ondes. Mais que sont ces micro-ondes ? Rien d'extraordinaire : de la lumière invisible. Cette dernière est juste un peu moins énergétique que les infrarouges que l'on ressent devant un radiateur ou au soleil, et un peu plus que les ondes radios, télé, ou celles de nos téléphones portables. Pourquoi avoir choisi cette lumière en particulier ? Tout simplement parce que son énergie est précisément celle qui fait vibrer les molécules d'eau, et à peu près seulement ces molécules. C'est un cas particulier de ce qu'on appelle une résonance : l'énergie est adaptée à un certain système et lui fournit alors un maximum d'énergie. Si vous chantez dans votre cabine de douche, faites varier la hauteur du son. Vous vous apercevrez vite que pour une note fixe (probablement assez basse dans ce cas) l'amplification est maximale ; votre voix est rentrée en résonance avec la douche (pour les voisins, c'est autre chose). Revenons alors au micro-onde dont l'énergie est choisie pour faire gigoter les molécules d'eau : il est clair qu'il y a plus d'eau dans votre café que dans votre tasse et donc l'essentiel de l'énergie passera dans votre boisson, peu dans le récipient. Comme ce qui mesure l'énergie des mouvements microscopiques, c'est la température, vous avez compris le principe de fonctionnement de votre appareil. Tous les aliments, peu ou prou, contiennent de l'eau. Ils peuvent donc être réchauffés au micro-onde. Par contre, un métal réfléchira les ondes, comme pour la lumière ordinaire, et perturbera la mise en place des ondes dans le four en interdisant le transfert d'énergie : danger !

Les carottes sont cuites : L'apparent paradoxe vient du raisonnement (exact) suivant : pour que l'eau gèle, il faut d'abord qu'elle refroidisse, donc l'eau chaude mettra plus de temps et gèlera donc plus tard... La seule faille de ce raisonnement est qu'il suppose implicitement que le réfrigérateur est la seule cause de refroidissement de l'eau. C'est le cas si l'eau est dans deux bouteilles fermées (mais attention à l'augmentation de volume qui fera exploser les bouteilles). Or, il existe une autre cause de refroidissement : l'eau elle-même ! En effet un bol d'eau chaude va s'évaporer (même dans le congélateur) beaucoup plus rapidement que de l'eau froide et cette évaporation demande beaucoup d'énergie (c'est aussi pourquoi nous transpirons : notre sueur s'évaporant diminue de quelques degrés la température de notre corps). Dans le congélateur la situation est plus complexe, et dépend de la différence de température, du degré de pureté de l'eau, des récipients... Néanmoins l'eau chaude va s'évaporer et refroidir plus vite que l'eau froide, au moins au début, et peut se congeler avant cette dernière, contre toute attente ! Après quelques essais, voilà une occasion facile de gagner quelques paris...

Eau plate ou eau gazeuse ? : Voilà une question simple dont la réponse l'est moins. Essayons donc de résumer la substance du phénomène sans mots compliqués. Pour se déplacer dans l'eau, un nageur doit « s'appuyer » sur elle de différentes façons, mais qui reviennent dans tous les cas à déplacer de l'eau devant pour la propulser derrière et avancer ainsi par réaction. Ce n'est pas original, tous les déplacements se font ainsi, par réaction avec le milieu ambiant (la marche en poussant le sol vers l'arrière, par exemple), que ce soit dans l'eau ou dans l'air. La quantité d'eau

« brassée » dépend évidemment de celle du nageur, plus on est grand plus on brasse ! Mais ceci n'est pas suffisant en soi, après tout un grand nageur a aussi une masse plus importante à faire bouger... C'est un phénomène dynamique d'ondes qui explique pourquoi les « petits » nageurs seront toujours défavorisés. Ils créent en effet dans le bassin (ou la mer) un système d'ondes dont la fréquence est plus rapide que celle des grands nageurs, et celle-ci à son tour impose une vitesse maximale plus faible que pour les grands. En substance : plus on est grand, plus notre vitesse maximale (à énergie donnée) est élevée, et c'est ainsi que les dauphins seront toujours rattrapés par les orques ou les baleines ; heureusement, ces dernières sont inoffensives tandis que pour les dauphins demeure un atout majeur : l'intelligence...

De quoi rester sans voix : Cet effet n'est pas très facile à mettre en évidence dans les conditions habituelles du métro : bruit ambiant, foule qui se déplace... Un soir de calme, tentez l'expérience avec un(e) ami(e) en faisant varier la distance qui vous sépare du bord du quai (avec prudence). À une certaine distance, l'efficacité sera maximale. D'où vient cet effet de résonance ? De la forme de la voûte. Celle-ci, autant pour des raisons esthétiques qu'architecturales, a en effet une forme d'ellipse ou, plus exactement, d'ellipsoïde de translation : un plan en coupe d'une station révèle cette forme, même si elle est incomplète (les murs peuvent être verticaux, par exemple). Tout est là, car le son ne se propage pas seulement directement (si c'était le cas il n'y aurait rien de notable), il rebondit sur les parois et le plafond et, si vous vous trouvez tous deux aux foyers de l'ellipse, alors les échos de votre voix se propageront jusqu'à votre interlocuteur

(trice), avec un minimum de pertes. Les foyers, en général, sont environ à deux ou trois mètres du bord du quai. Ce sont des points particuliers : des ondes sonores provenant d'un foyer, après rebond sur les diverses parties de l'ellipse, se rassembleront à l'autre foyer ! Veillez donc à vous mettre bien en face de votre partenaire et, l'écoutant parler doucement, vous aurez l'impression qu'il se trouve à côté de vous... La situation est tout à fait équivalente à celle d'une antenne qui reçoit des ondes radios par exemple. Celles-ci rebondissent partout sur la surface de l'antenne pour se retrouver au foyer de celle-ci, où l'on a bien sûr placé un récepteur. Le même principe est valable pour l'émission, une onde émise au foyer va être réfléchiée par toutes les zones de l'antenne et celle-ci aura là encore un rendement maximal. Dans notre métro, c'est la voûte qui joue le rôle d'antenne, et vous êtes émetteur ou récepteur, c'est selon. La seule vraie différence, c'est qu'il s'agit de son et non d'ondes radio. Mais, à l'instar de celles-ci, vous êtes des lumières...

Le petit ludion qui monte... : Le ludion fait partie de ces jeux pédagogiques qui sont aussi amusants qu'instructifs. Avec ce type d'objets, deux risques sont encourus : gâcher le plaisir en expliquant trop tôt le principe physique, et rater une occasion de satisfaire la curiosité en raison d'un manque de savoir basique... Attendez que les questions arrivent, et proposez une explication sans l'imposer, aux adultes comme aux enfants. Après ces fortes considérations pédagogiques, venons-en au fait.

Lorsque vous appuyez sur la bouteille, elle se déforme (d'où l'importance du plastique) et vous comprimez l'air situé au-dessus de l'eau ; l'efficacité est d'ailleurs plus grande si cet espace

est assez réduit car l'augmentation de pression est proportionnellement plus grande. Cette surpression fait rentrer un peu d'eau dans le flotteur et ce petit supplément de poids le fait couler... jusqu'à ce que vous relâchiez l'ensemble et que l'eau ressorte puisque la pression de départ est rétablie. Le flotteur doit être au départ assez proche de couler, car vous ne pourrez introduire que très peu d'eau avec ce dispositif. Vous voilà parés pour que le ludion retrouve son étymologie : « ludique » !

Doppler frappe encore : En effet, si j'ose écrire, la lumière que nous recevons du Soleil se ressent de son mouvement de rotation sur lui-même (d'ailleurs complexe car, le Soleil étant fluide, il ne tourne pas d'un bloc comme la Terre mais plus vite à l'équateur qu'aux pôles solaires). La lumière qui nous vient du côté qui s'éloigne est décalée vers le rouge, nous dit Christiaan et il ajoute aussitôt : de la même façon, la lumière qui nous vient de l'autre côté sera décalée vers le violet puisque ce côté se rapproche. Au total, que verrons-nous ? Un élargissement des raies lumineuses solaires par rapport à une source immobile. Si le Soleil s'éloignait en bloc, la raie serait décalée en bloc vers le rouge ; comme une partie s'éloigne et une partie se rapproche, elle est décalée des deux côtés et donc élargie. Ce phénomène est même utilisé pour déterminer la vitesse de rotation d'étoiles, car plus elles tournent vite et plus les raies lumineuses sont élargies. N'est-ce pas fabuleux de pouvoir ainsi en connaître autant sur des objets situés à des milliards de kilomètres que nous ne verrons jamais que comme des points lumineux ?

La situation se complique encore si l'on songe que les atomes qui émettent la lumière solaire sont en mouvement incessant et rapide, ce d'autant plus que la température y est très élevée.

Comme ces mouvements se font dans tous les sens, il y a en moyenne autant d'atomes qui se rapprochent et qui s'éloignent. Le résultat est alors le même décalage double qu'on observe en raison de la rotation du Soleil sur lui-même : les raies sont élargies, plus ou moins selon la température.

Comment distinguer la part de chaque effet ? D'abord on tient compte du fait que les vitesses ne sont pas vraiment du même ordre de grandeur : la centaine de mètres par seconde pour la rotation, le millier pour l'agitation thermique. Mais surtout on dispose d'autres méthodes de détermination de la température superficielle des étoiles, liées à leur couleur, et on peut ainsi faire la part des choses. Mais après tout, pour nous aussi, parfois la température monte et la tête tourne... sans qu'on sache toujours quelle est la cause, quel est l'effet...

Quelle aurore ! C'est une raison géométrique qui fait que nous ne verrons jamais un arc-en-ciel naturel autrement qu'en début ou en fin de journée. En effet, nous avons vu que l'arc a une extension de 42° ; il dessine comme son nom l'indique un arc de cercle, et le centre du cercle correspondant est le point... opposé au Soleil dans le ciel ! N'avez-vous jamais pris conscience que pour admirer un arc-en-ciel il faut tourner le dos au Soleil ? Lorsque celui-ci est bas, le point symétrique sera haut et nous pourrons voir une bonne partie de l'arc, le reste étant caché par le sol. Comme le Soleil monte le matin et décline l'après-midi, il sera proche de l'horizon en début et en fin de journée ; les orages se déclenchant en moyenne plutôt l'après-midi, c'est à ce moment que les chances sont les plus grandes... Quand il est près de midi, le Soleil est haut dans le ciel, le point opposé est bas et l'arc, s'il existe, se trouve sous l'horizon. En principe dès

lors que l'astre du jour n'est pas à plus de 42° de l'horizon, un arc-en-ciel est visible ; en pratique, à cause notamment du relief et de l'absorption près de l'horizon, il ne pourra guère dépasser 35° , sauf en pleine mer où l'horizon est bien dégagé...

L'air de rien : Il suffit d'utiliser des bougies du type chauffe-plats, qui flottent ; alors avec la même procédure que celle utilisée pour faire descendre le flotteur, on fera descendre la bougie qui semblera brûler... sous l'eau, alors qu'en réalité, elle flottera. Attention, si vous restez plus de quelques secondes, la bougie n'aura plus assez d'oxygène et s'éteindra...

Tonnerre de Zeus : Il s'agit bien de Maximilien Marie Isidore de Robespierre, qui est plus célèbre comme Révolutionnaire que comme avocat ; né en 1758, il fit sa première plaidoirie en janvier 1782 et fut nommé la même année par l'évêque, Mgr de Conzié, juge au tribunal épiscopal. La cause du paratonnerre fut plaidée en mai 1783 et le propriétaire du dit paratonnerre s'appelait M. De Vissery. La deuxième affaire où il laisse une trace judiciaire est l'affaire Deteuf, contre les Bénédictins de la petite ville d'Anchin, près d'Arras. Son début de carrière est nettement littéraire puisqu'après plusieurs mémoires dont l'un primé par l'Académie de Metz, en 1786 l'Académie des Belles-Lettres d'Arras l'élut directeur. Il partira pour Paris peu après ; le reste appartient à l'histoire de la Révolution...

Chaud devant ! : La solution repose sur le bon vieux principe d'Archimède, mais son application est ici un peu subtile. Quand la pierre est dans l'eau, elle fait monter le niveau d'eau d'un volume égal au sien : si la pierre fait un décimètre cube, le niveau

de l'eau montera donc d'un litre également ($1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$). Il faut donc comparer ce litre avec l'augmentation de volume de la mare quand la pierre est encore dans la barque. Or, Archimède nous dit que quand la pierre est dans la barque, elle fait s'enfoncer celle-ci et donc monter le niveau de l'eau d'un volume correspondant au poids de la pierre ; mais une pierre est plus lourde que le même volume d'eau, ce qui explique qu'elle coule ; dans notre exemple elle pourrait peser trois kilogrammes ; dans la barque, elle va alors faire s'enfoncer celle-ci de façon à déplacer trois litres d'eau (Archimède), et le niveau aura donc monté trois fois plus que quand la pierre est immergée... Conclusion : le niveau descend quand on immerge la pierre.

Donnez-moi un point d'appui : Il n'y a aucun piège dans cette question (pour une fois). L'axe de rotation est horizontal, parallèle au mur et près de ce dernier ; aussi lorsqu'on appuie sur le lavabo, on pousse avec un bras de levier important vers le bas : plus l'on s'éloigne du mur et plus ce bras de levier est grand. D'autre part la force avec laquelle on peut pousser est vite assez grande, et ce d'autant que le poids du lavabo nous aide. Conclusion : même si vous n'avez pas de souci de surpoids, s'asseoir sur le bord de votre lavabo, s'il est simplement fixé au mur, peut se révéler désastreux pour votre postérieur, le lavabo, et engendrer un début d'inondation (solidaires du lavabo, il y a les robinets...) ! De nos jours, les lavabos sont le plus souvent supportés par une colonne centrale, sauf en cas de manque de place chronique (mais alors les vasques elles-mêmes sont petites et le risque moindre), et cette colonne « encaisse » le poids du lavabo et les surcharges importantes éventuelles. Seuls les enfants peuvent se faire surprendre en

s'accrochant aux bords pour regarder partir les poils de la barbe de papa, et si les crochets d'attache au mur cèdent à ce moment-là, il ne faudra pas vous étonner qu'ils portent plus tard barbe et moustache... une vraie icône de savant !

La course des courses : Il s'agit ici d'avoir le maximum d'effet de rotation, qui dépend de la force exercée et de sa distance à l'axe de rotation ; si l'on veut exercer un effort minimum, il faut donc augmenter le plus possible la distance entre l'axe (les gonds) et l'endroit où l'on saisit le volet ; mais dans tous les cas la sécurité doit être prépondérante, et ne pas trop se pencher ou tirer modérément pour ne pas tomber, quand on est à l'étage, doit rester la première de vos préoccupations.

Mettons les pendules à l'heure : En mesurant la longueur de ce pendule qui bat la seconde, vous avez dû trouver un peu moins de 1 mètre. Est-ce le hasard ? Oui et non. Bien sûr, la longueur est fixée par la nature, mais dans notre cas il s'agit d'une relation entre deux unités, l'une de temps et l'autre de longueur. Et c'est l'un des grands mérites de la Révolution que d'avoir fixé un système d'unités à peu près cohérent : le système métrique.

Pour notre pendule, ce fut l'une des propositions de l'époque que de choisir comme unité de longueur celle d'un pendule battant précisément la seconde à Paris (à l'équateur il retarderait un peu, aux pôles il avancerait). Mais c'est finalement à partir de la mesure du méridien de Paris que le mètre sera défini : ce sera un quarante-millionième de ce méridien. Au départ, c'est donc plutôt le hasard qui fait que notre pendule de presque un mètre bat la seconde, mais cela a bien failli être une convention ! Et si on décidait de le faire battre deux fois plus

vite ? Raccourcissez la ficelle jusqu'à obtenir une période (un aller-retour) d'une seconde ; quelle longueur a-t-elle ? Eh bien non, elle n'est pas deux fois plus courte, mais quatre fois : dans la vie, tout n'est pas proportionnel...

Mirage, mon beau mirage : Une petite explication, d'abord, sur le principe de la polarisation. En substance et dans le cas le plus simple, c'est le fait que la lumière du soleil, après sa diffusion par l'air ou sa réflexion par un objet quelconque, possède partiellement un plan de vibration privilégié. Or, certains verres dits « polarisants » agissent sur la lumière comme des filtres : ils permettent de ne laisser passer que certaines ondes, qui vibrent dans un plan fixe. Si vous observez la lumière du Soleil avec un filtre orienté dans son plan de vibration, vous aurez ainsi un maximum de luminosité, par contre, si vous orientez ce filtre perpendiculairement, alors la lumière ne passera pratiquement plus. Pour mieux comprendre ce phénomène, imaginons le verre de nos lunettes comme une grille à barreaux verticaux qui ne laisse passer que la lumière polarisée dans cette direction. Si au départ la lumière vibre dans toutes les directions, on aura un filtrage important de la lumière de départ : c'est le rôle d'un verre protecteur.

Chaussons donc une paire de lunettes polarisantes et empruntons-en une autre à notre voisin(e) de parasol (une expérience de physique amusante est un excellent moyen de briser la glace, même en plein soleil). Posons ensuite les verres de chacune les uns contre les autres et faisons tourner l'une des paires devant l'autre : nous verrons la lumière diminuer puis réaugmenter avec deux maxima par tour.

Ce qu'il s'est passé : nous avons ici ajouté une deuxième grille à barreaux, que nous avons fait pivoter. Quand les deux grilles sont parallèles, deux fois par tour, tout ce qui passe par la première passe par la seconde. Quand elles sont perpendiculaires, plus rien ne passe. Entre les deux, il y a plus ou moins d'absorption. Comme d'autre part la lumière n'est jamais totalement polarisée, il y en aura toujours un peu qui passera. Avec tout ça, n'oubliez pas de renouveler la crème...

Fusions, confusions : C'est encore une histoire d'eau, et de changement d'état. Mais là il ne s'agit pas de fusion, mais au contraire de solidification (ou de congélation puisque c'est de l'eau). Sur la peau, qu'on sue ou pas, il y a toujours une petite quantité d'eau, et cette eau gèle quand la température est suffisamment basse (inférieure ou égale à 0 °C, bien sûr). Aussi quand vous touchez un corps quelconque assez froid, l'eau sur votre peau gèle presque instantanément (il y en a peu) et la glace forme une « colle » entre la peau et l'objet. Ce phénomène se produit pour tous les objets, mais il est particulièrement efficace dans le cas des métaux car, comme il est dit dans le texte, leur forte conductivité thermique renforce encore l'effet « peau-colle ». Cette adhérence a joué des tours à des alpinistes ou des explorateurs polaires distraits qui y ont laissé un bout de leur épiderme...

Coup de froid sur le thermomètre : Toutes ces échelles centigrades ont besoin pour leur définition de deux points fixes, notés zéro et cent par convention (d'où leur nom). Dans le cas de nos bons vieux degrés Celsius, imaginés par le Suédois Andréas Celsius en 1742, ces deux points fixes sont bien sûr les

deux points de changements d'état de l'eau : solidification/fusion à 0 °C, condensation/vaporisation à 100 °C. Cette échelle est internationale, mais ce n'est pas la plus logique d'un point de vue physique, comme nous le verrons ci-dessous. Les Anglo-Saxons, quant à eux, ont pris l'habitude de se servir de l'échelle définie par l'Allemand David Fahrenheit en 1724, pour qui les deux points fixes sont : la température minimale qu'on savait obtenir à cette époque pour le zéro, soit environ - 17 °C, et celle du corps humain, soit 37 °C, pour 100 °F. Avec ce choix, pas plus arbitraire que le nôtre, les températures en °F sont en général plus élevées que les températures en °C, et un °F est plus petit qu'un °C. Mais d'autres échelles existent, comme celle du Français Réaumur qui n'a pas survécu longtemps à son créateur.

La seule échelle universelle de température est celle qui a reçu le nom du grand physicien Thomson, plus connu sous le nom de Lord Kelvin. Elle repose sur une interprétation microscopique de la température, vue comme une mesure à notre échelle de l'énergie de mouvement des atomes et molécules. Alors le zéro absolu, 0 K, correspond à un état où il est impossible de retirer de la chaleur de la matière (un mouvement totalement nul est interdit par la physique quantique); cette limite (essentiellement théorique) correspond à -273,16 °C. On a choisi les degrés Kelvin identiques aux degrés Celsius, donc 0 °C = +273,16 K, 100 °C = 373,16 °C, et ainsi de suite. Si vous voulez vous réchauffer, comptez en degrés Fahrenheit ou Kelvin, s'il fait trop chaud gardez les degrés Celsius et faites un tour à la piscine la plus proche...

À bicyclette : Le plus simple est de raisonner en termes énergétiques : pour un grand pignon arrière, un effort donné sur la

chaîne se traduira par une force plus efficace pour faire tourner la roue arrière, puisque le rayon du pignon est grand et donc le levier important. Les grands pignons arrières sont donc bien indiqués quand on veut minimiser l'effort, en montée par exemple. Mais dans ce cas, un tour de pédale correspond à peu de tours du pignon (il est grand), et donc de la roue arrière, soit peu de distance parcourue; plus de tours de pédale, moins d'efforts ! C'est toujours la conservation de l'énergie qui se cache là-dessous : avec un produit force \times distance (= énergie) donné, on choisit de diminuer la force et donc d'augmenter notre pédalage. En ce qui concerne les plateaux avants, le but étant toujours de minimiser l'effort, il convient de faire en sorte que la force soit la plus efficace possible : c'est le cas en choisissant le plateau qui correspondra à la distance parcourue la plus faible, comme toujours. C'est donc celui qui pour un tour de pédalier déplacera le moins la chaîne, soit le petit plateau. Alors l'effort est moindre mais la distance parcourue aussi, et les effets des pignons et des plateaux s'ajoutent pour minimiser l'effort fourni. Bien entendu, le raisonnement est le même quand on se trouve devant une descente, et qu'on souhaite alors augmenter la distance parcourue, au prix d'une force supplémentaire sur le pédalier. On choisit alors de monter les vitesses arrières (comme en voiture), ou le plateau (en augmentant sa taille). En voiture (ou en moto) le principe de la boîte de vitesse est similaire pour ne pas dire identique, un faible rapport correspondant à une force importante, mais une distance parcourue faible; ce qui se traduit par une vitesse faible pour un régime moteur donné (n'essayez pas de monter à 90 km/h en première comme les F1). Quand on choisit un rapport élevé la force est plus faible mais on avance plus : adapté aux vitesses de croisière pour diminuer

le régime moteur quand celui-ci n'a pas d'effort particulier à fournir; démarrer en seconde est aussi « fatigant » pour le moteur que démarrer avec un rapport trop élevé en vélo, mais dans ce dernier cas nos jambes s'en aperçoivent...

Que d'eaux, que d'eaux : Si le « coup de bélier » vous est inconnu, c'est que votre installation est suffisamment moderne ou en bon état, car il se produit le plus souvent avec une robinetterie et une tuyauterie dans lesquelles des éléments sont mal fixés. Quand vous ouvrez un peu un robinet, le débit est faible, à cause de deux facteurs : la surface de passage de l'eau et sa vitesse. Cette dernière est réduite car l'eau subit des frottements le long des parois des tuyaux et du robinet. Quand on ouvre plus franchement, la surface augmente, et la vitesse aussi car les frottements sont proportionnellement plus faibles : deux raisons qui font augmenter le débit. Tant que celui-ci est modéré, l'écoulement est régulier, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de brusques variations de vitesse dans l'eau; les hydrodynamiciens disent que l'écoulement est laminaire, et c'est le plus efficace d'un point de vue énergétique. Mais si le débit devient trop important, il se forme des tourbillons et la vitesse devient plus chaotique : c'est un écoulement turbulent. Alors la perte d'énergie, donc de vitesse peut diminuer le débit jusqu'à ce que l'écoulement redevienne laminaire. Il y a donc un débit critique, en dessous duquel l'écoulement est régulier et au-dessus, turbulent. Si le débit est proche de celui critique, il y aura alors des oscillations entre les deux régimes, et une pièce qui a du jeu dans un robinet ou un tuyau mal fixé entrera en résonance avec l'eau et vibrera par à-coups. À l'ouverture ou à la fermeture d'un robinet, effectuées brusquement, on peut aussi avoir une onde de choc dans l'eau

qui se propage dans les tuyaux et la robinetterie et les fait vibrer. Pour éviter ce coup de bélier, ayez une installation en bon état (ce qui vous évitera entre autres les désagréments des fuites ou même des inondations), et traitez vos robinets avec le respect qui leur est dû : ne les faites pas devenir chèvre...

Enfant de la balle : La réponse est oui, même si le rendement ne sera pas extraordinaire et le véhicule ne gagnera pas de Grand Prix... En réalité l'idéal est un milieu où les frottements sont les plus réduits possibles, et le vent important : on pense tout de suite à la mer. De fait des prototypes de « voiliers » ont pu être réalisés, qui fonctionnaient de la manière suivante : des voiles rigides dont la section était en forme de « S », et qui tournaient alors par effet Magnus dès qu'il y avait un peu de vent, quelle que soit sa direction. C'est ici la relativité des mouvements qui donne la clé : un ballon qui tourne en se déplaçant dans l'air immobile subit le même effet que s'il tourne sur place, dans le vent. Ce mouvement de rotation induit par l'effet Magnus était utilisé pour propulser le bateau, les voiles jouant un peu le rôle d'hélices. L'avantage de ce mode de propulsion sur la voile classique est que la direction du vent influe peu sur la vitesse, en revanche, celle-ci reste modeste... Nos plaisanciers ont encore de beaux jours devant eux.

C'est le jour et la nuit : Aux pôles, toutes les personnes situées chacune sur l'un des 24 fuseaux horaires se retrouvent, et doivent se mettre d'accord pour fixer l'heure; on décide arbitrairement ? Non, car s'il est clair que sur Terre il va être difficile de trouver un point qui soit une référence physique, en revanche celui qui nous donne la lumière, donc qui règle nos jours et

nos nuits, est toujours là : je veux bien sûr parler du soleil, qui n'a que faire de notre rotation, et qui fixera l'heure très simplement. Si le soleil est au plus bas de sa course, il sera minuit (selon la saison je ne le verrai peut-être pas) ; s'il est au plus haut, midi, et ainsi de suite... c'est uniquement l'heure solaire qui a un sens dans ce cas, car l'heure légale dépend de la longitude, qui n'est pas définie !

Sous pression ! : Ici, la réponse est de celles qui déclenchent parfois des réactions du type « commissaire Chabrol » (bon sang, mais c'est bien sûr !) : on regrette de ne pas avoir pensé à quelque chose d'aussi simple, comme quoi, le simple n'est pas toujours l'évident ! Prenez une paille et soufflez dans un verre d'eau ; que voyez-vous ? Des bulles, bien entendu, et c'est bien de l'air expiré qui est ainsi visible. Il l'est parce que c'est un gaz à l'intérieur d'un liquide. Les bulles dans l'eau sont bien connues de ceux qui ont réparé une chambre à air de vélo. Attention, toutes les bulles ne sont pas de l'air ; celles de nos boissons gazeuses, alcoolisées ou non, sont pour l'essentiel du dioxyde de carbone. Les bulles qui donnent son nom à l'ébullition sont... quoi, au fait ? Voilà une bonne question dans la question ! Réponse à la fin du paragraphe, l'indice est de réfléchir à ce qu'est l'ébullition en tant que transformation.

Réponse : Il s'agit de vapeur d'eau, invisible dans l'air mais visible dans l'eau... tout comme l'air. Ça gaze ?

Remerciements

Je suis redevable de leurs encouragements et conseils souvent pertinents et toujours amicaux à : Gérard Chiron, Gérard de Vecchi, Jacques Echalié, Bruno Langlois, Sylvie Ogée, Michelle Rondeau-Revelle, Guy Silvain.

Remerciements particuliers à Cristiano Adorni, Pierre Drouet.

Merci à ma famille pour la patience dont elle a fait preuve pendant mes nombreuses heures d'isolement dans mon « perchoir »...

Table des matières

Introduction	1
Drôles de recettes	5
Pas de quoi pleurer	7
Ça chauffe dans la cuisine !	10
Un cordon-bleu vous parle	12
Les carottes sont cuites	14
Le monde de la bulle	16
Quand l'eau est dure	17
Quand l'eau est douce	19
Étranges objets	21
Le petit ludion qui monte, qui monte... sauf quand il descend	25
Mince alors !	26
Quand la télécommande ne commande plus la télé	29
Miroir, mon beau miroir...	31
Un coup de scotch	33
Un bon coup à boire	35
L'air de rien	37

Un siphon, phon, phon...	40	Ne perdons pas le Nord !	114
Mettons les pendules à l'heure	41	Arc-en-ciel ! Mon mari !	118
Savez-vous peser avec de l'eau ?	45	Quelle aurore !	120
L'essence de la luminescence	47	C'est le jour et la nuit	122
Un petit nid douillet	49	Et pourtant... elle tourne !	124
Voyages, voyages	53	En vrac	129
Roulons sous la pluie...	57	Droit dans les yeux...	133
Doppler fait son effet	60	Mon œil !	135
Doppler frappe encore	61	Donnez-moi un point d'appui...	136
La course des courses	63	Un petit pas pour l'homme	138
À bicyclette	66	Enfant de la balle	141
À gauche, toute !	71	Des couches pour bébé aux séquoias centenaires	144
Du bon sens pour l'essence	73	Sous pression !	147
Feu et glace	77	Des baromètres qui font le poids	150
Halte au chaud !	80	De quoi rester sans voix	153
Du terrier de la marmotte aux doubles vitrages...	84	Vibrer pour la musique	155
Eau plate ou eau gazeuse ?	86	Réponses aux « Questions du jour »	159
Fusions, confusions	88	Remerciements	179
Invisibles vapeurs	91		
Histoires d'eau	93		
Coup de froid sur le thermomètre	94		
Chaud devant !	97		
De la Terre au Ciel	101		
Mirage, mon beau mirage	107		
Ôte-toi de mon soleil !	110		
Rayons visibles, lumière invisible	112		



Vincent Bugeat

La science par le petit bout de la lorgnette

Observations et expériences amusantes à faire chez soi et dans les parages

- Que se passe-t-il si vous orientez la télécommande de votre téléviseur vers le mur derrière vous ?
- Emprisonné dans une casserole, votre téléphone portable sonnerait-il ?
- Comment peser sans balance ?
- Pour refroidir une pizza trop chaude, la meilleure solution est-elle vraiment de souffler dessus ?

Vincent Bugeat est professeur de physique à l'IUFM de Créteil et chargé de cours à l'université de Marne-la-Vallée

Grâce à ce petit livre très convivial, vous apprendrez une foule de choses intéressantes et amusantes. Vous pourrez aussi mener des dizaines de petites expériences avec les objets disponibles autour de vous.

Les explications de ces étonnants phénomènes sont à la portée de tous et, si vous voulez en savoir davantage, des encadrés poussent plus loin la compréhension des lois et des techniques. Enfin, vous pourrez vous tester grâce à des petites questions agrémentées d'indices...

Rassurez-vous, **toutes les réponses sont fournies !**



6664882

ISBN 978-2-10051914-9

www.dunod.com

