

babilité que la longueur d'une corde tirée au hasard sur un cercle soit plus longue que le côté du triangle équilatéral inscrit dans le cercle (voir : http://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_Bertrand).

Les trois raisonnements calculent trois probabilités qui, contrairement aux apparences, ne correspondent pas à la même question. En effet, il n'est pas équivalent :

- de choisir au hasard une voiture en train d'être dépassée ou de dépasser (raisonnement 1) ;

- de choisir une voiture au hasard à un instant donné sur la section d'autoroute, et de s'interroger pour savoir si, lors du prochain dépassement, elle dépassera ou sera dépassée (raisonnement 2).

Et ces deux questions sont différentes de celle qu'on se pose avant d'arriver sur la section d'autoroute : vais-je avoir de la chance et me retrouver sur la voie rapide ? (raisonnement 3).

Se poser la bonne question

Sachant cela, le problème devient : quelle question le conducteur doit-il se poser pour savoir s'il a de la chance ou pas ? Il me semble que c'est la troisième question, celle qui aboutit à la réponse la plus positive nous indiquant qu'on sera dans la bonne file plus d'une fois sur deux.

Cette conclusion semble contraire au sentiment de malchance persistante ressentie dans les embouteillages, mais l'explication de ce sentiment est simple et nous ramène à la première partie de l'article. Pour les raisons identifiées, quand les files ont des vitesses équivalentes, nous croyons avoir moins de chances que nous devrions en avoir. Lorsque les files ont des vitesses différentes, les mêmes biais de mémorisation se produisent pour des raisons de même nature, et pour une raison supplémentaire qui n'a pas encore été évoquée. Quand nous sommes sur la voie la plus rapide, nous en sortons vite et oublions aussitôt que nous venons d'avoir de la chance !

En clair, et dans notre vie à propos de bien d'autres choses que les encombrements de circulation, nous considérons normal d'avoir de la chance et nous ne nous en

réjouissons pas comme nous le devrions (ce que les probabilités nous permettent d'analyser), alors que nous trouvons injustes les désagréments qu'un peu de malchance provoque et cela surtout lorsque le désagrément est plus long que la satisfaction.

Changer de file ?

La réponse est assez claire, ce qui ne veut pas dire facile à appliquer.

- Si vous pensez que la file d'à côté avance plus vite que la vôtre, effectuez un contrôle aussi objectif que possible de votre jugement (il se peut que vous soyez victime de l'illusion de la file voisine).

- Si vous concluez que la file voisine est vraiment meilleure, alors il sera intéressant de changer de file.

Cependant, n'oubliez pas que vous prenez un risque d'accident en changeant de file et qu'il faut l'intégrer à votre calcul. Cette prise en compte pourrait en effet en changer la conclusion, comme le montre une étude récente de D. Redelmeier (décidément soucieux de circulation routière).

Les résultats publiés dans la revue *Medical Decision Making* sont troublants, ils résultent de calculs menés à partir des statistiques de mortalité dans les accidents et des données de circulations routières. Ils indiquent que :

- une heure passée à conduire une voiture diminue l'espérance de vie de 20 minutes (du fait qu'on prend un risque d'accident mortel) ;

- une augmentation de vitesse d'un kilomètre par heure entraîne pour un conducteur moyen, une perte de temps de 26 secondes, car le gain de temps obtenu par la vitesse accrue est plus que compensé par la diminution d'espérance de vie résultant de l'augmentation du risque d'accident.

- une diminution de vitesse de trois kilomètres par heure est ce qui produit pour le conducteur moyen le meilleur gain de temps total (différence entre le temps perdu immédiatement par la vitesse moindre, et la prolongation de l'espérance de vie due à la diminution du risque d'accident pour celui qui ralentit). Des calculs à méditer, là encore !

L'AUTEUR



Jean-Paul DELAHAYE est professeur à l'Université de Lille et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL).

BIBLIOGRAPHIE

P. Barthélémy, *L'autre file avance-t-elle vraiment plus vite ?*, *Le Monde*, 19 novembre 2011.

D. Redelmeier et A. Bayoumi, *Time lost by driving fast in the United States*, *Medical Decision Making*, vol. 30(3), pp. E12-E19, 2010.

B. Dawson et T. Riggs, *Highway relativity*, *The College Mathematics Journal*, vol. 35(4), pp. 246-250, 2004.

L. Clevenson *et al.*, *The average speed on the highway*, *The College Mathematics Journal*, vol. 32(3), pp. 169-171, 2001.

D. Redelmeier et R. Tibshirani, *Are those other drivers really going faster ?* *Chance*, vol. 13(3), pp. 8-14, 2000.

N. Bostrom, *Cars in the next lane really do go faster*, *Plus*, nov. 2001 (<http://plus.maths.org/content/os/issue17/features/traffic/index>).

D. Redelmeier et R. Tibshirani, *Why cars in the next lane seem to go faster ?*, *Nature*, vol. 401, p. 35, 1999.

 IDÉES DE PHYSIQUE

Le repassage, c'est physique

Pour bien faire disparaître les plis formés dans un tissu, il faut le repasser en l'humidifiant. On comprend mieux aujourd'hui pourquoi.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Comment se débarrasser des plis de nos vêtements ? En les repassant avec une « centrale à vapeur », dont la haute pression permet à la vapeur de pénétrer et d'hydrater les fibres des tissus ? En fait, le repassage fait intervenir à la fois la température, la pression exercée par le fer et l'humidité. Et des physiciens français viennent de donner un nouvel éclairage sur la question. Contrairement à une idée répandue, l'action de l'humidité dans le repassage ne se limite pas à altérer les propriétés mécaniques des fibres : elle crée aussi des ponts liquides entre les fibres, ce qui facilite l'effacement du pli.

Les vêtements portés ondulent et plient au gré de nos mouvements. Le plus souvent, une simple pression de la main suffit pour faire disparaître ces plis. Certains, bien plus tenaces, nous obligent à la corvée du repassage. Des trois caractéristiques du fer à repasser ou de sa variante plus perfectionnée, la centrale à vapeur, on comprend bien le rôle du poids de la semelle : une forte contrainte mécanique sur le tissu apla-

nit le pli. Mais comment agissent la température (150 °C recommandés pour la laine, 200 °C pour le coton) et l'humidité du jet de vapeur ? Pour répondre à ces questions, examinons de plus près nos vêtements.

Molécules d'eau contre liaisons

Les textiles sont élaborés par le tissage de fibres (éventuellement regroupées en fils) de quelques centimètres de long et de quelques dizaines de micromètres de rayon. Ces fibres sont des associations de longues chaînes de molécules, des polymères, dont l'origine peut être biologique (la cellulose pour le coton, la kératine pour la laine) ou synthétique (le polyéthylène téréphtalate ou PET pour les polyester, les polyamines pour le nylon). Ces chaînes sont résistantes, mais leur association est bien plus fragile : elle est assurée par des liaisons hydrogène, où œuvre une faible attraction entre un atome avide d'électrons, tel l'oxygène ou l'azote, et un atome moins gourmand, tel l'hydrogène d'une molécule voisine.

Lorsque la fibre est étirée, les chaînes moléculaires glissent les unes sur les autres jusqu'à rompre leurs liaisons hydrogène : la fibre s'allonge, mais les liaisons se reconstituent dès que la contrainte cesse, et la fibre reprend sa forme originelle.

Quel peut être alors le rôle de l'humidité ? Quand on mouille le tissu, on introduit entre les longues chaînes des molécules d'eau, constituées d'un atome d'oxygène et deux d'hydrogène. Ces molécules perturbent l'organisation et défont les anciennes liaisons, ce qui a pour conséquence un rétrécissement des fibres pour les cotons ou la perte de la frisure pour les laines. Devenues moins solidaires, comme lubrifiées par l'eau, les chaînes sont plus libres de répondre à une sollicitation mécanique et de perdre l'organisation responsable du pli disgracieux : le tissu se défroisse.

Une température élevée facilite ces réorganisations. Animés de mouvements erratiques plus rapides, les atomes s'échappent plus facilement de l'attraction de leurs voisins. Par ailleurs, certains travaux suggèrent qu'avec une température plus élevée, les chaînes moléculaires perdent leur rigidité. Ainsi, à la chaleur d'un sèche-linge ou sous le fer, le tissu serait souple et aucun pli ne pourrait subsister. En refroidissant, le tissu retrouverait sa rigidité, avec des fibres conservant la forme qui leur a été imposée par le fer ; un pli permanent se créerait, comme ceux des mouchoirs repassés.

Ce que nous avons expliqué jusqu'ici ne porte que sur l'intérieur d'une même fibre. Lydéric Bocquet et son équipe, du CNRS et de l'Université Lyon 1, viennent de montrer qu'il faut aussi prendre en compte l'effet de l'humidité sur les contacts entre fibres. Ces physiciens ont comparé deux matériaux



1. LE REPASSAGE AVEC UN FER À VAPEUR est beaucoup plus facile qu'avec un fer à l'ancienne. La température élevée et la pression exercée par le fer permettent de briser les liaisons faibles (en bleu) entre les chaînes moléculaires et ainsi de réorganiser ces dernières dans les fibres. Le jet de vapeur facilite ce processus, notamment parce que les molécules d'eau introduites dans les fibres perturbent elles aussi les liaisons entre les chaînes moléculaires.

composés d'un même polymère, le PET, soit sous forme de fibres, du polyester, soit sous forme massive, du mylar. Les plis de feuilles de mylar, matériau qui n'absorbe pas l'eau, sont insensibles à l'humidité. En revanche, bien que les fibres de polyester n'absorbent pas l'eau non plus, la vitesse d'ouverture d'un pli d'un tissu de polyester dépend du taux d'humidité.

Des ponts lubrifiants

Quel est l'effet de la vapeur d'eau sur le contact entre fibres ? Un phénomène connu depuis longtemps aide à le comprendre. L'observation des tas de sable a montré que le frottement entre grains augmente avec le temps, et cela d'autant plus que le taux d'humidité est important. Ce processus de vieillissement, dans le cas d'une atmosphère sèche, peut atteindre quelques pour cent (en étant patient !). Les physiciens ont pu l'interpréter en termes d'écrasement progressif et lent des aspérités qui assurent le contact mécanique et qui, à cause de la charge exercée sur elles, deviennent plastiques, déformées irréversiblement.

Cependant, l'humidité intervient aussi dans le vieillissement du tas de sable. On sait qu'à température donnée, la masse de vapeur d'eau que l'air peut contenir est



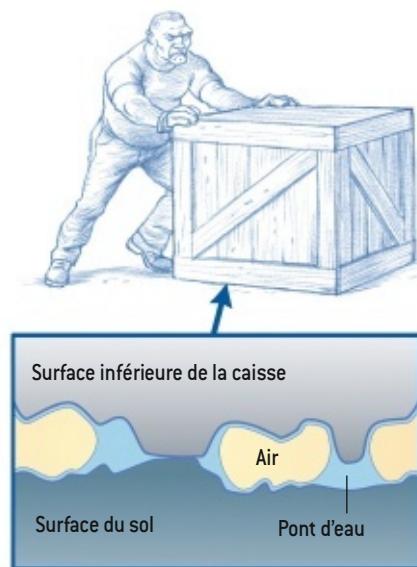
2. UN VIEUX TAS DE SABLE est moins fragile qu'un tas tout frais. En effet, avec le temps, des ponts d'eau liquide se forment entre les grains, par condensation de l'humidité de l'air. Ces ponts capillaires augmentent la cohésion des grains. Il en est de même avec les fibres d'un tissu ; mais quand les ponts d'eau deviennent très nombreux et grossissent, ils produisent un effet de lubrification, qui facilite le glissement des fibres les unes sur les autres.

limitée. Au-delà de ce seuil (qui définit les 100 pour cent d'humidité), la vapeur se condense. En deçà du seuil, les gouttes d'eau microscopiques qui peuvent se former au hasard dans cette vapeur n'atteignent jamais la taille qui leur permettrait de grandir : elles s'évaporent en permanence.

Or le confinement de la vapeur entre deux solides modifie radicalement ce phénomène. D'une part, certains matériaux ont une affinité pour l'eau et facilitent ainsi l'apparition d'un film liquide sur leur surface, y compris lorsque l'humidité de l'air ambiant est très faible. D'autre part, les surfaces des solides sont souvent rugueuses et présentent des anfractuosités. Ces cavités, par des effets combinant géométrie et thermodynamique, favorisent la formation de gouttes d'eau alors que l'humidité de l'air ambiant est inférieure à 100 pour cent. Plus la cavité est petite, moins la teneur en vapeur d'eau requise pour cette « condensation capillaire » est élevée.

Ainsi à y regarder de plus près, dans un air humide non saturé d'eau, la zone de contact entre deux solides est parsemée de ponts liquides dans les espaces les plus étroits. Ces ponts sont autant de points de colle qui assurent une plus grande adhésion entre les solides, donc une plus grande difficulté à les faire glisser l'un sur l'autre. Plus le temps passe, plus ces ponts sont nombreux. On a ainsi un vieillissement, au cours duquel l'adhésion entre les solides augmente. C'est ce qui explique qu'un vieux tas de sable est en général plus solide qu'un tas de sable qui vient d'être créé.

Avec les fibres d'un tissu, la vapeur d'eau se comporte de façon analogue. La multiplication des ponts liquides entre les fibres augmente, dans un premier temps, l'adhésion entre fibres. Mais grâce au jet de vapeur du fer à repasser, les ponts liquides deviennent si épais et si nombreux qu'ils finissent par lubrifier le contact entre les fibres, lesquelles peuvent alors glisser facilement l'une sur l'autre. Cet effet, ajouté à l'action de l'eau sur les chaînes moléculaires ainsi qu'aux effets de la température et de la pression mécanique du fer, permet de repasser sans trop d'efforts !



3. PLUS LA ZONE DE CONTACT entre deux solides présente des ponts d'eau formés par condensation capillaire, plus le frottement entre les deux surfaces est réduit. Une telle lubrification est à l'œuvre quand on repasse avec un jet de vapeur : de l'eau se condense entre les fibres textiles et lubrifie leurs contacts.

LES AUTEURS



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

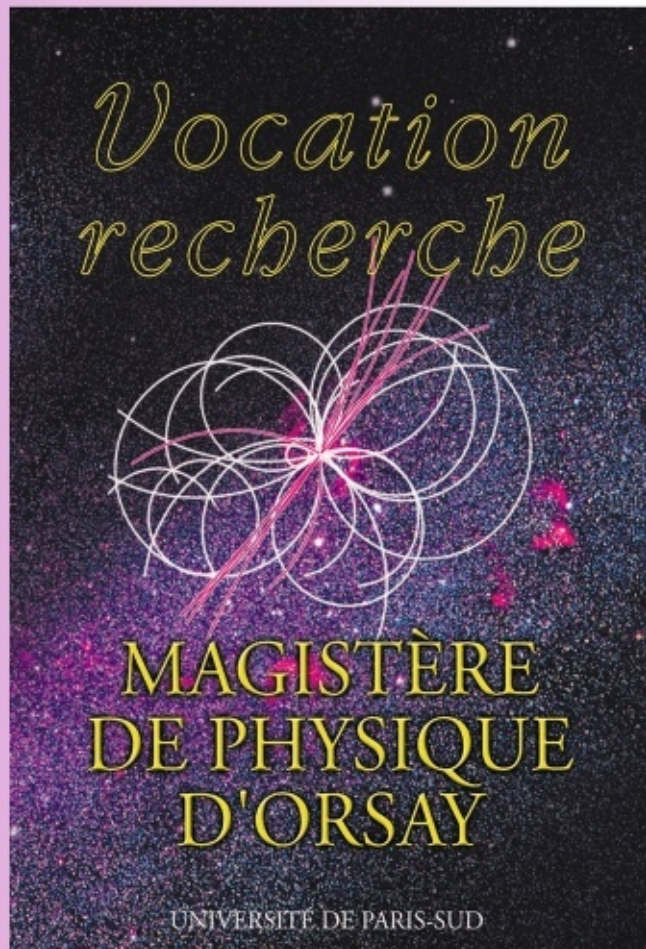
BIBLIOGRAPHIE

A. Benusiglio *et al.*, *The anatomy of a crease, from folding to ironing*, *Soft Matter*, vol. 8, pp. 3342-3347, 2012.

L. Bocquet *et al.*, *Moisture-induced ageing in granular media and the kinetics of capillary condensation*, *Nature*, vol. 396, pp. 735-737, 1998.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et É. Kierlik sur www.pourlascience.fr

MAGISTÈRE de PHYSIQUE FONDAMENTALE d'ORSAY



RECHERCHE
ENSEIGNEMENT
INDUSTRIE

<http://www.magistere.u-psud.fr/>
magistere-physique.sciences@u-psud.fr
Tél : 01 69 15 58 52

- Une formation complète et approfondie à la recherche et par la recherche en physique incluant les diplômes nationaux de Licence et Master
- Un large choix d'options permettant un parcours personnalisé : tous les secteurs de la physique fondamentale et appliquée, mais aussi la physique médicale, le génie nucléaire, la biophysique, la géophysique, l'électronique, l'informatique, ...
- Une préparation spécifique à l'AGREGATION de physique
- Une possibilité d'intégrer sur titre les meilleures Ecoles d'Ingénieurs
- Une très large ouverture internationale