



2. L'ASSIETTE LÂCHÉE DES MAINS tombe par terre et se brise en une multitude de petits morceaux : elle était en verre trempé. La trempe accroît la solidité du verre en mettant sa surface en compression, mais elle fragilise son intérieur en y créant des tensions.

En revanche, dans un matériau comme le verre, il n'y a pas réorganisation des atomes et la contrainte amplifiée se reporte uniquement sur quelques atomes : au-delà d'un certain seuil, les liaisons atomiques se rompent et la fissure se propage alors par séparation des plans atomiques, en laissant des surfaces relativement lisses.

Recuit ou trempé ?

Puisque c'est en étirant que l'on ouvre les fissures, le verre casse toujours en tension. Il est en revanche très résistant à la compression ; ce n'est qu'avec de très importantes pressions que l'on atteint un régime plastique. Pour obtenir un verre plus solide, une première étape est d'éliminer les tensions internes. De telles tensions apparaissent spontanément lors du refroidissement (en général non homogène) du verre à partir de la température où on le travaille (vers 700 °C pour le verre à vitre ordinaire). D'où la pratique du recuit, qui consiste à échauffer le verre à une température proche de son point de ramollissement : le matériau est alors assez mou pour que les tensions internes se relâchent.

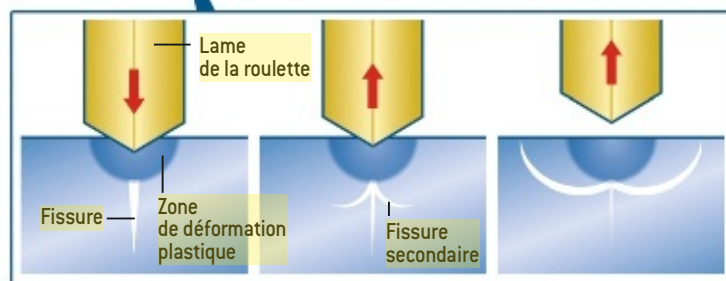
Sans recuit, la moindre rayure au mauvais endroit (c'est-à-dire un endroit déjà

soumis à une tension interne) peut briser le verre localement. Le verre recuit, tel celui des vitres des fenêtres (voir la figure 1), est si homogène qu'une fissure, une fois ouverte, peut se propager sur toute la vitre et la briser tout du long ! Évidemment, si l'on chauffe à nouveau le verre de façon non homogène, il redevient fragile : s'il y a des différences de température au sein du verre, des zones se dilateront plus que d'autres et des contraintes internes apparaîtront : la rupture brutale redevient possible. Pour éviter cela, on emploie du verre dont la dilatation thermique est faible, tel le pyrex, trois fois moins dilatable que le verre usuel.

Une autre technique, la trempe, accroît encore la solidité du verre. Le verre est échauffé comme pour le recuit, mais sa surface est ensuite refroidie rapidement par des jets d'air. Les couches externes se solidifient donc en premier et forment une espèce d'armature rigide. Lorsque l'intérieur se refroidit, il tend à se rétracter. Selon l'épaisseur du verre, cela se traduit par un léger amincissement sans conséquence. En revanche, dans les directions parallèles à la surface, le verre intérieur reste solidaire des couches externes déjà solidifiées. Il demeure alors sous tension et met la surface en compression.



3. LA ROULETTE du vitrier, en appuyant sur la surface du verre, crée une toute petite zone de déformation plastique et, juste au-dessous, une fissure. Lorsque la roulette est retirée, la fissure verticale s'amincit tandis qu'une fissure latérale en forme de moustaches s'ouvre et s'agrandit jusqu'à atteindre la surface. La découpe du verre n'est donc pas tout à fait nette.



LES AUTEURS



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

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. F. Ashby et D. R. H. Jones, *Matériaux*, tomes 1 et 2, Dunod, 2008.

B. Lawn et R. Wilshaw, *Indentation fracture: principles and applications*, *Journal of Materials Science*, vol. 10, pp. 1049-1081, 1975.

Ainsi, en cas de petite rayure en surface, la compression préexistante fait qu'une tension plus forte est nécessaire pour l'ouvrir davantage. Le verre trempé est donc plus solide. Toutefois, dès qu'une fracture atteint la zone interne, qui est sous tension, l'effet est radical : le seuil de contrainte y étant plus faible, le verre se brise en de nombreux petits morceaux, dont la taille est de l'ordre de l'épaisseur de la vitre (voir la figure 2). Mais cela évite de se retrouver avec de grands morceaux coupants et dangereux.

Une découpe pas nette

Comment, dans ces conditions, couper du verre de façon contrôlée ? L'artisan verrier commence par créer des amorces de fissures. Il peut rayer le verre avec un matériau plus dur, tel le diamant, mais l'entaille est

difficilement régulière et la coupure qui en résulte n'est pas nette. C'est pourquoi il préfère utiliser une roulette à lame en céramique, qui concentre la pression sur une très petite région et crée sous elle une tension dans la direction horizontale. Une fissure nette apparaît dans le cœur du verre. Ensuite, un simple choc (obtenu par exemple en tapotant le verre) élargit la fissure et la propage dans l'épaisseur de la vitre jusqu'à ce que le verre se brise de la façon désirée. Cela reste vrai même si l'entaille n'est pas rectiligne.

Mais cette technique n'est pas sans défaut. La pression de la roulette crée de légères déformations plastiques qui sont à l'origine de fissures latérales lorsque la contrainte de la roulette disparaît (voir la figure 3). Il reste donc difficile d'obtenir une découpe bien nette ; une bonne finition exige alors de limer ou polir les bords du verre.

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



Et tout s'éclaire

france culture

La marche des sciences
14h/15h jeudi

avec Aurélie Luneau
en partenariat avec le magazine Pour la Science

franceculture.com

DREAM ON - Radio France / Christophe Abramowitz

LA SÉLECTION DE POUR LA SCIENCE

Des livres à offrir ou à s'offrir

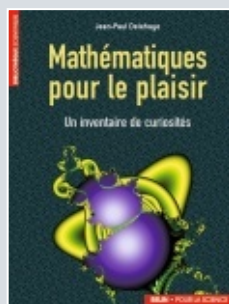


Peut-on parler de mathématiques, de religion, de politique dans un même ouvrage ? Oui, et c'est le défi qu'ont relevé le mathématicien Jean-Michel Kantor et l'historien des sciences Loren Graham, du MIT.

Dans ce livre, on découvre comment les mathématiciens de l'École de Moscou, inspirés par la secte hérétique orthodoxe de l'Adoration du Nom, finissent par croire à l'existence des infinis de la théorie des ensembles qu'avaient commencé à explorer des mathématiciens français.

Ce livre touchera même ceux que les mathématiques laissent indifférents, voire effraient. Les auteurs éclairent les liens étroits entre la vie – avec ses plaisirs et ses drames – et l'œuvre de ces hommes et ces femmes qui ont marqué le XX^e siècle par leur créativité en mathématiques.

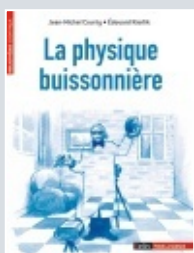
075107 • 288 pages • 24 euros



Les mathématiques sont faciles et s'y adonner est un plaisir. Les arts géométriques, les jeux de cartes, les jeux avec des dominos ou des damiers, la vie sociale et politique et ses subtiles stratégies, toutes ces activités sont mathématiques et souvent procurent des satisfactions... même à ceux qui clament ne pas aimer les mathématiques et y être « nuls ».

Les mathématiques ne se réduisent pas – heureusement – à ce qu'on nous en apprend à l'école. Partout présentes, elles sont une source de joie et d'épanouissement pour celui qui sait y consacrer un peu d'attention et d'esprit ludique.

075104 • 208 pages • 25 euros

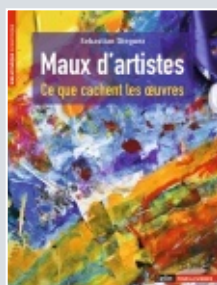


Une plante plus rapide qu'une mouche, un tuyau qui parle, une cape qui rend invisible, etc. La nature est pleine de surprises pour qui veut bien s'aventurer hors des sentiers battus.

Passionnés de physique et curieux de sciences, Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik vous invitent à une promenade sur ces chemins de traverse dans un langage accessible, simple et imagé. Retrouvez les meilleures de leurs chroniques parues dans *Pour la Science*.

Avec eux, laissez-vous surprendre par un phénomène que vous avez déjà côtoyé sans même le remarquer. Suivez-les pour découvrir et comprendre cette physique du quotidien.

075105 • 160 pages • 22 euros



Ce livre est un recueil des articles que l'auteur a publiés dans la rubrique Art et pathologies du magazine Cerveau & Psycho.

Dans cet ouvrage, l'auteur s'interroge sur les liens cachés entre une œuvre d'art – une peinture, une sculpture, une composition musicale ou une œuvre littéraire – et une maladie de l'esprit que présentait son auteur.

Examinant divers chefs-d'œuvre avec un regard de psychologue, neurologue, voire psychiatre, Sebastian Dieguez analyse plus d'une vingtaine d'œuvres : Dostoïevski, Monet, De Chirico, Proust, Van Gogh, etc.

075101 • 176 pages • 25 euros