

Actualités | 2015-07-02 09:00:00 | [Réagir à cet article](#) | [< Précédent](#) - [Suivant >](#)

[Physique](#)

## Des chaînes coopératives pour comprendre la transition vitreuse

**Un modèle relativement simple des déplacements à l'échelle moléculaire permet d'étudier ce qui se passe lorsqu'un liquide se transforme en verre en refroidissant**

Maurice Mashaal



La transition vitreuse, c'est-à-dire le passage de l'état liquide à l'état de verre ou inversement, est encore mal comprise par les physiciens.

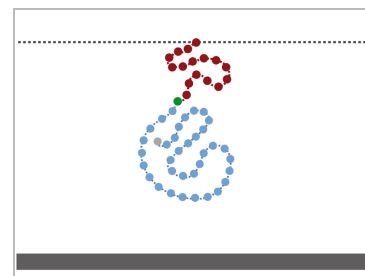
Shutterstock/havoc

Le passage de la matière d'un état liquide à l'état de verre, c'est-à-dire un solide où les positions désordonnées des atomes ou molécules ont été figées, constitue l'un des grands problèmes encore non résolus en physique de la matière condensée. Cette « transition vitreuse », qui se produit quand la température a suffisamment diminué, présente en effet plusieurs caractéristiques incomprises. Les travaux d'une équipe de quatre physiciens et d'un mathématicien à Paris et dans l'Ontario, au Canada, ont cependant permis de faire un pas en avant. Ces chercheurs ont élaboré une modélisation théorique qui, notamment, explique deux propriétés surprenantes de la transition vitreuse de couches minces de polymères.

Quelles sont les deux propriétés en question ? D'une part, la transition vitreuse d'un film de polymères d'épaisseur nanométrique se produit à une température qui dépend fortement de l'épaisseur. D'autre part, le film semble présenter à sa surface une très mince couche où les molécules sont plus mobiles que celles situées au cœur du verre.

Afin de comprendre ces caractéristiques, Thomas Salez, chercheur à l'institut Perimeter de physique théorique à Waterloo (Canada) et au laboratoire Gulliver (CNRS et ESPCI ParisTech), et ses collègues ont développé un modèle théorique fondé sur des « chaînes coopératives aléatoires ». L'idée essentielle, qui était suggérée par des simulations numériques et des observations sur les matériaux granulaires, est que dans un verre, les molécules se trouvent dans un milieu très encombré et donc que leurs déplacements, nécessaires pour que le matériau atteigne l'équilibre thermodynamique correspondant à la température imposée, se font par des mouvements collectifs. Ces derniers impliqueraient surtout des groupes de molécules se suivant à la queue-leu-leu, formant ainsi des « chaînes coopératives » aléatoires. Thomas Salez et ses collègues proposent l'analogie avec les passagers d'une rame de métro bondée qui, pour entrer ou sortir, s'organisent spontanément en petites files se frayant un chemin.

En appliquant à son modèle les méthodes d'analyse de la physique statistique, l'équipe franco-canadienne est parvenue à retrouver quantitativement certaines lois qui décrivent la dynamique de l'évolution des verres vers l'équilibre thermodynamique. Qui plus est, le modèle, appliqué aux films minces, explique pourquoi et comment la température de transition vitreuse dépend, dans ce cas, de l'épaisseur du film. La clef de la réponse est



Près de la surface libre (*en haut*) d'une couche mince de matériau vitreux, une molécule (*en vert*) peut se déplacer en faisant partie d'une chaîne coopérative (*en bleu*) du cœur du matériau (*entre le gros trait et les tirets*). Elle peut aussi le faire si elle appartient à une chaîne coopérative (*en rouge*) tronquée par l'interface ; or une telle chaîne est plus courte, donc plus probable. La mobilité est par conséquent accrue à proximité de la surface libre, ce qui réduit la température de transition vitreuse du film par rapport à celle du matériau massif.

Th. Salez, J. Salez, K. Dalnoki-Veress, É. Raphaël et J. A. Forrest, PNAS

### L'AUTEUR

Maurice Mashaal est rédacteur en chef du

que, lorsqu'elles sont à la surface du matériau, les molécules n'ont plus besoin d'appartenir à une chaîne coopérative pour se mouvoir : il en résulte qu'à proximité de la surface, la mobilité moléculaire est accrue, ce qui a pour effet d'abaisser la température de transition vitreuse, et cela d'autant plus que le film est mince.

Ainsi, le modèle de l'équipe franco-canadienne, fondé sur des idées assez simples et intuitives, apparaît prometteur pour mieux comprendre la transition vitreuse.

### Cet article vous a intéressé ? Poursuivez votre lecture en illimité

En vous abonnant, vous accédez immédiatement à plus de 300 numéros et à des milliers articles de Pour la Science et son hors-série.

2 formules au choix : papier + web (offre Intégrale) ou 100 % web (offre Web illimité).

Accès numérique illimité  
A partir de 6,70€ par mois !  
[Je m'abonne](#)

[M'abonner gratuitement à la newsletter](#)

**Sur le même thème**

**Vos réactions (0)**

[> Revenir en haut de page](#)

mensuel *Pour la Science*.

#### DU MÊME AUTEUR

- [La fragmentation en gouttes d'un liquide sur un fil, un phénomène glissant](#)
- [Pollinisation des cultures : la biodiversité des abeilles importe peu](#)
- [Gélfication marine](#)
- [Un plastique rigide, non soluble et refaçonnable à volonté](#)
- [Le hasard des distances](#)

#### POUR EN SAVOIR PLUS

Th. Salez *et al.*, [Cooperative strings and glassy interfaces](#), *PNAS*, 22 juin 2015 (doi : 10.1073/pnas.1503133112).

J.-M. Courty et É. Kierlik, [Le verre : attention, fragile !](#) *Pour la Science* N°398, décembre 2010,

[Les vitrimères : un plastique rigide, non soluble et refaçonnable à volonté](#), pourlascience.fr, 2013.



Dossier Pour la Science N°79 avril - juin 2013  
[Les paradoxes de la matière](#)