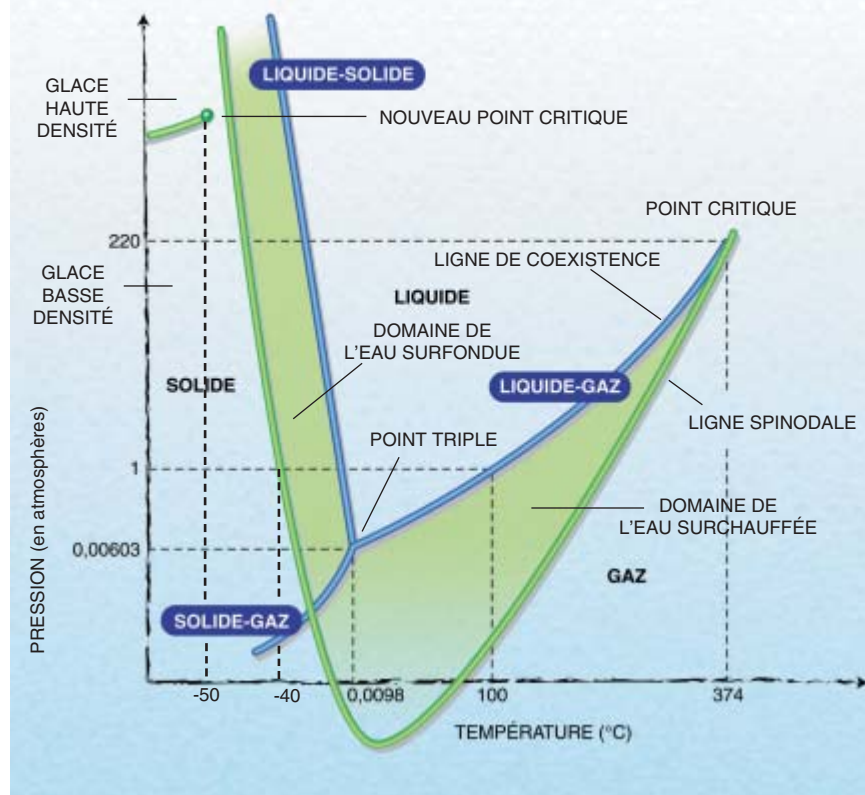


la température baisse. En outre, elle est proportionnelle à la viscosité, puisque plus la viscosité augmente, plus les mouvements ralentissent. La durée la plus courte est d'environ une picoseconde, quelle que soit la température. Elle est du même ordre de grandeur que la durée de vie de la liaison hydrogène et correspond au phénomène de rupture et de formation incessantes de ces liaisons.

Les mouvements d'ensemble des molécules d'eau, c'est-à-dire les chocs entre molécules, la diffusion des molécules ou encore les déformations des mailles qu'elles forment, correspondent à la relaxation alpha des polymères. Pour sa part, l'arrêt de la formation et de la destruction incessantes des liaisons hydrogène correspond à la relaxation bêta des polymères. Les physiciens n'ont pu poursuivre jusqu'à la température de nucléation homogène l'étude de l'évolution du temps caractéristique des mouvements moléculaires d'ensemble. Toutefois, ils extrapolent les mesures faites jusqu'à -20°C , notamment celles de la viscosité. Ce travail indique une divergence de la viscosité (et donc du temps caractéristique) vers la température de nucléation homogène, c'est-à-dire vers -45°C .

On comprend alors que, si les mouvements d'ensemble des molécules d'eau étaient les seuls mis en jeu, cette température serait effectivement la température de transition vitreuse : celle à laquelle l'eau se fige ! Il n'en est rien, car les molécules d'eau peuvent aussi subir d'autres mouvements beaucoup plus rapides : ceux qu'occasionnent la formation et la destruction incessantes de liaisons hydrogène. Ce sont bien ces mouvements qui déterminent le comportement de l'eau entre -40°C et -135°C . Dans la partie supérieure de cette plage, vers -35°C , le comportement de la viscosité de l'eau est encore dominé par le mode alpha, mais, très rapidement, le mode bêta impose des mouvements (une dynamique) qui dépendent plus faiblement de la température.

Cette explication du comportement de l'eau est tout aussi spéculative que celle de O. Mishima et E. Stanley en ce qui concerne le «no man's land», la région où les résultats expérimentaux sont inexistantes. Elle a toutefois trois avantages : d'une part, elle donne une explication plausible du fait que la température de divergence de la viscosité coïncide avec la température de nucléation ; ensuite, elle s'appuie sur des observations microscopiques



5. CE DIAGRAMME DE PHASE indique les zones d'existence de la glace, de l'eau liquide ou de la vapeur d'eau en fonction de la température et de la pression. Ces zones d'existence sont séparées par des lignes de coexistence (en bleu). La ligne de coexistence liquide-gaz se termine sur le point critique. Au-delà de ce point, l'eau est supercritique, dans un état qui n'est ni un gaz ni un liquide. Les trois lignes de coexistence se croisent au point triple. L'eau est parfois dans un état métastable (dans la région verte) : elle reste liquide au-dessous de la ligne de coexistence liquide-solide et gazeuse au-delà de la ligne de coexistence liquide-gaz. La ligne spinodale (en vert) indique la limite des états métastables : quelles que soient les précautions prises, au-delà de cette ligne, le liquide se transforme inmanquablement en glace (à gauche) ou en vapeur (à gauche). Aux très basses températures deux états de glace amorphe semblent coexister : un état à basse densité et un état à haute densité. Ils seraient séparés par une courte ligne spinodale (en haut à gauche).

faites par les physiciens ; enfin, elle procède par analogie avec les polymères au lieu d'invoquer des notions abstraites, telle une ligne spinodale ou un nouveau point critique.

De nouvelles expériences diront si les deux théories évoquées sont incompatibles ou, au contraire, si elles sont les deux facettes d'une même médaille. Apparus au cours de la dernière décennie du XX^e siècle, les lasers femtoseconde rendent possible la mesure de phénomènes ultra-brefs ; ils sont l'instrument idéal pour étudier plus avant la liaison hydrogène, qui, nous l'avons vu, joue toujours un rôle

dans le comportement de l'eau. Grâce à ces études, les théoriciens pourront mettre au point des potentiels plus réalistes pour décrire la liaison hydrogène. Ces potentiels sont indispensables pour simuler correctement les comportements thermodynamiques de l'eau à toutes les températures accessibles à l'expérience, vers -40°C notamment. Vers -135°C , le flux très intense du rayonnement synchrotron constitue un bon instrument pour suivre en direct la structure de l'eau pendant la transition vitreuse. Saurons-nous bientôt à quoi ressemble vraiment l'eau entre -40°C et -135°C ?

José TEIXEIRA est directeur de recherche au CNRS et directeur adjoint du Laboratoire mixte CNRS/CEA Léon Brillouin, à Saclay, où il mène ses recherches.

J. Teixeira et Alenka Luzar, *Physics of liquid Water. Structure and dynamics*, in *Hydration Process in Biology : Theoretical and Experimental Approaches*, NATO ASI,

Series, sous la direction de M.-C. Bellissent-Funel, pp. 35-65, IOS Press, Amsterdam, 1999.

O. MISHIMA et E. STANLEY, *The relationships between liquid, supercooled and glass water*, in *Nature*, vol. 396, pp. 329-335, 1998.

P. RICHET, *Les bases physiques de la thermodynamique*, éditions Belin, 2000.

La jaune et la rouge

DENNIS SHASHA

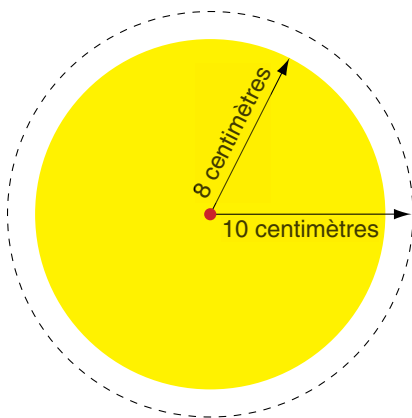
Où l'imagination du lecteur sera mise à l'épreuve pour trouver une configuration géométrique adéquate.

Prenez une figure géométrique dont une partie est colorée en jaune et l'autre en rouge. Lorsque cette figure contient au moins un point rouge et un point jaune distants d'exactly 10 centimètres, les mathématiciens disent, dans leur jargon abstrait, qu'elle satisfait la condition des 10 centimètres. Le choix de ces deux couleurs est évidemment arbitraire, mais les polytechniciens, friands de jeux mathématiques, y retrouveront la dénomination de leurs promotions successives. Petite question annexe : quelle était la couleur de la promotion du plus célèbre polytechnicien, Henri Poincaré ?

L'idée du jeu d'aujourd'hui consiste à prendre une figure simple, tels une ligne ou un disque, et de déterminer une coloration en rouge et en jaune pour laquelle la condition des 10 centimètres n'est pas satisfaite, c'est-à-dire qu'aucun point rouge n'est distant de 10 centimètres d'un point jaune. Ce n'est pas aussi facile qu'il paraît.

Pour nous entraîner, prenons un segment. Pouvez-vous le colorier en rouge et en jaune de façon à ce qu'il ne satisfasse pas la «condition des 10 centimètres»? Supposons que le segment fasse un mètre de longueur : 0 marque l'extrémité gauche et 100, celle de droite (voir la figure 1). Coloriez les intervalles suivants en rouge : 0-1, 9-11, 19-21, 29-31, 39-41, 49-51, 59-61, 69-71, 79-81, 89-91 et 99-100. Puis coloriez les intervalles restants en jaune. Chaque point de ce segment a la même couleur que celui placé à 10 centimètres à sa gauche ou à sa droite. Ainsi colorié, le segment ne satisfait pas la condition des 10 centimètres !

Essayons maintenant avec un disque. Pouvez-vous colorier en rouge et en

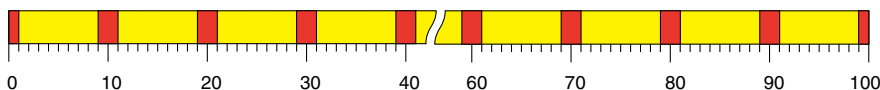


2. Un disque d'un rayon inférieur à 10 centimètres peut être colorié en rouge et en jaune de façon à ce qu'aucun couple de points de couleurs différentes ne soient distant d'exactly 10 centimètres : il suffit de colorier le centre en rouge et le reste du disque en jaune.

jaune un disque d'un rayon inférieur à 10 centimètres, afin qu'il ne satisfasse pas la condition des 10 centimètres? La réponse est également oui. Coloriez simplement le centre du disque en rouge et le reste en jaune. Tout point éloigné de 10 centimètres du centre rouge du disque est à l'extérieur de ce disque.

Qu'en est-il des disques plus grands? C'est l'objet de la question. Pour un disque d'un rayon égal ou supérieur à 10 centimètres, trouvez une coloration en rouge et en jaune qui ne satisfait pas la condition des 10 centimètres. Si elle n'existe pas, prouvez-le. Pour vous aider, souvenez-vous que selon la règle du jeu, au moins un point du disque doit être rouge et, au moins un autre, jaune.

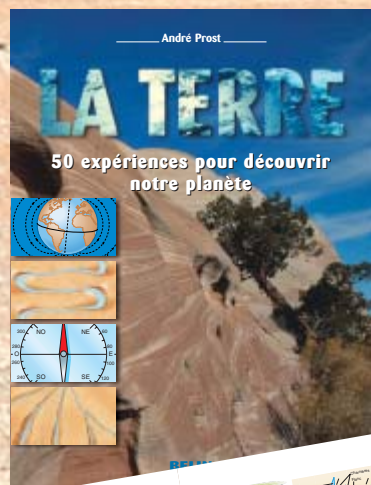
La solution de cette énigme sera donnée le mois prochain, et sera bientôt disponible sur notre site internet : www.pourlascience.com.



1. La coloration en rouge et jaune de ce segment de un mètre de longueur ne satisfait pas la «condition des 10 centimètres» : aucun point d'une couleur n'est distant d'exactly 10 centimètres d'un point de l'autre couleur.

LA TERRE

50 expériences pour découvrir notre planète



Comment naissent les dunes ?
Comment une rivière creuse-t-elle une vallée ?
Comment se forment les grottes ?
Pourquoi les pierres éclatent-elles sous le froid ?
Ce livre propose une série d'expériences pour comprendre comment le vent, la pluie, la glace, les cours d'eau modèlent le visage de la Terre.

ANDRÉ PROST est géologue, ancien enseignant à l'université d'Orléans et à Paris VI, et ingénieur au Bureau des Recherches Géologiques et Minières à Orléans.

Code 002401-100 F-128 pages

Voir bon de commande page 96

BELIN • POUR LA SCIENCE