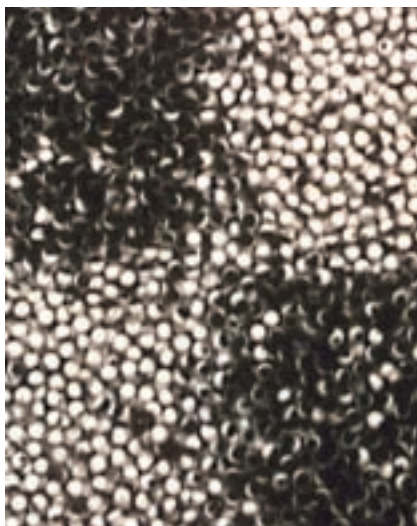


peut relâcher les billes à moitié tournées, ce qui permet de reproduire les nuances de gris. Une version de l'écran avec des billes rouges et blanches a été fabriquée, et les ingénieurs travaillent aujourd'hui sur des combinaisons de billes de différentes couleurs pour reproduire le spectre visible.

Tout avait été prévu, excepté la fabrication économique de milliards de micro-billes de plastique bicolores. Pour les fabriquer aujourd'hui, on utilise un disque qui tourne à 2 700 tours par minute. Du plastique fondu blanc est injecté au centre, sur le dessus du disque, tandis que du plastique noir est injecté en dessous. Les jets de plastique filent vers le bord où ils se rejoignent et se cassent, formant des billes bicolores.

Après plus de deux ans d'utilisation et trois millions d'inscriptions et d'effacements, le *Gyricon* reste lisible. Les écrans ont une surface de 1 000 centimètres carrés et la résolution atteint 87 points par centimètre, quatre fois mieux que la plupart des écrans à cristaux liquides. Comment augmenter la résolution ? En utilisant des billes plus petites et en les compactant.

Certaines applications, tels les panneaux publicitaires de grande taille, seront commercialisables dans quelques années seulement. Les écrans *Gyricon* pourront être utilisés dans les ordinateurs portables peu après. Avec



Des microbilles de plastique bicolores, ici vues à travers un microscope, forment des images à niveau de gris contrôlé.

des piles ordinaires, un ordinateur portable fonctionnera ainsi durant des mois, car, contrairement aux écrans à cristaux liquides, l'écran *Gyricon* ne requiert ni lumière de fond, ni maintien de la tension.

Toutefois, le but réel est la fabrication d'un succédané électronique du papier. L'ingénieur Matt Howard me tend un crayon de bois branché sur une petite source de tension. À mesure que j'écris sur l'écran, le faible champ électrique transmis par le cœur de graphite du crayon noircit l'écran à l'endroit où la pointe le touche.

L'avenir d'une telle invention est difficile à prévoir. Si les dirigeants de la Société Xerox avaient été plus conquérants ou si M. Sheridan avait été plus ambitieux, le papier électronique serait-il aujourd'hui aussi répandu que la souris ? C'est possible. Aujourd'hui, le *Gyricon* a des concurrents, dont les cristaux liquides et les écrans à électrophorèse (qui utilisent de petites particules chargées d'une couleur, en suspension dans un colorant liquide d'une autre couleur). La course est lancée.

Wayt GIBBS

Écoulement enroulé

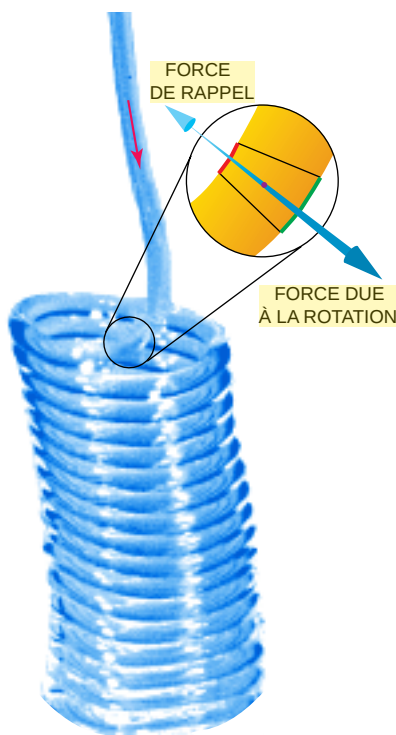
La physique de l'enroulement régulier d'une colonne visqueuse.

Renversons doucement une cuillère de miel sur une tartine. Après qu'un régime stationnaire s'est établi, on observe une fine colonne de miel qui s'enroule en spires superposées. L'enroulement résulte d'une instabilité qui se déclenche lorsque le miel s'écoule d'une hauteur suffisante.

On comprend comment cette instabilité se déclenche, mais pas ce qui se passe loin de son seuil de déclenchement, après que l'instabilité est déjà établie. C'est cette période que Lakshminarayanan Mahadevan et ses collègues de l'Institut

Les forces qui agissent sur le filament de silicone qui s'enroule sont les forces dues à la rotation et la force de viscosité. Les forces dues à la rotation sont dirigées vers l'extérieur. Comme l'extérieur et l'intérieur d'un filament qui s'enroule vont à des vitesses différentes, l'intérieur du filament est comprimé (en rouge), tandis que l'extérieur est étiré (en vert). Comme un solide élastique courbé, le filament visqueux «cherche» à se redresser. Ainsi, la force de viscosité est analogue à une force de rappel dirigée vers l'intérieur de la boucle. Ici le débit est de un centimètre cube par seconde, le rayon du filament est égal à 0,2 centimètre, et la viscosité vaut $1,019 \times 10^3$ centimètres carrés par seconde.

de technologie du Massachusetts ont étudié. En analysant la dynamique du phénomène, ils déduisent des lois reliant les différents paramètres de l'écoulement : la vitesse d'enroulement d'un filament de fluide en fonction de son rayon, de son débit et de sa viscosité.



Deux types de forces s'exercent sur une colonne de fluide en chute libre : les forces de gravitation et les forces de viscosité. La gravité accélère le fluide et le filet se rétrécit, ce que les forces de viscosité ont tendance à empêcher. Que se passe-t-il quand un tel écoulement est subitement freiné, quand le miel arrive sur une tartine par exemple ?

Examinons d'abord le déclenchement de l'instabilité. L'écoulement reste stable si les forces visqueuses ont le temps d'agir pendant la durée de chute du fluide. Pour le vérifier, on compare le temps de relaxation visqueuse, qui mesure le temps nécessaire pour que les forces de viscosité agissent, au temps de chute libre, c'est-à-dire la période entre le moment où le miel quitte la cuillère et le moment où il arrive sur la tartine.

Lorsque le temps de relaxation visqueuse est inférieur au temps de chute libre, comme c'est le cas pour un filet d'eau, le filet s'étale rapidement au moment de l'impact, laissant de la place pour le fluide qui arrive : l'écoulement reste axial, sans formation de spires. En revanche, lorsque ces deux temps sont comparables, comme c'est le cas pour un filet de miel, la colonne au voisinage de la table ne s'étale pas assez vite pour laisser la place au fluide qui arrive et l'équilibre est brisé : dans une petite région, près de la tartine, le filet s'enroule en spires. Pour du miel, cette condition