

Matériaux mous

On explore les bases microscopiques de l'adhésion et du frottement.

Galilée eut le génie de comprendre que notre intuition du mouvement nous trompe : comme les objets qu'on lance finissent toujours par s'arrêter, on croyait, avant lui, que le mouvement résulte d'une force. Il comprit qu'il n'est que modifié par les forces ; la vitesse d'un corps sur lequel n'agit aucune force n'est pas nulle, mais constante. Les phénomènes de frottements, que Galilée a ainsi su séparer de celui de mouvement, sont restés, avec l'adhésion, un des Grands de la physique moderne.

Les nouveaux outils d'analyse donneront-ils les bases atomiques de ces phénomènes ? L'idée commence à courir. À l'École supérieure de physique et de chimie de Paris, Christian Frétny et Charlotte Basire utilisent un microscope à force atomique pour examiner les frottements et l'adhésion à une échelle presque atomique.

Ces nouveaux microscopes sont composés d'une pointe très fine (quelques atomes de diamètre à l'extrémité), que l'on déplace à la surface des échantillons ; la pointe permet de faire des expériences de «nanomécanique». Par exemple, les physiciens observent que la pointe, placée juste au-dessus de la surface d'un matériau polymère, s'enfonce sous l'action des forces d'adhésion : comme le mouvement constant des électrons autour des noyaux d'atomes engendre des dipôles électriques instantanés, des forces de van der Waals s'exercent entre les atomes de la pointe et les atomes de la surface. En mesurant la vitesse d'enfoncement, on détermine la viscosité et l'élasticité des matériaux testés... et l'on retrouve les valeurs obtenues par les mécaniciens, qui avaient observé qu'une

bille de verre posée sur une surface s'enfonce spontanément.

En quoi la reproduction des expériences macroscopiques est-elle alors utile ? Comme le microscope à force atomique explore de tout petits domaines, on peut choisir, à l'aide de sa fonction d'imagerie, un site particulier pour déterminer les réactions de matériaux bien définis. On analyse alors les diverses zones des matériaux hétérogènes, tels les composites. En outre, la nanomécanique explore les échantillons minces ou petits, dont les propriétés étaient inaccessibles par les méthodes macroscopiques. Enfin, en validant les résultats macroscopiques, on s'approche d'une interprétation des phénomènes à l'échelle atomique. La nanomécanique est ainsi une fenêtre ouverte sur l'adhésion.

CHARRUE MICROSCOPIQUE

Elle éclaire également les phénomènes de frottement. La pointe enfoncée, on peut la ressortir brusquement, ou la déplacer latéralement afin de mesurer les forces que l'échantillon exerce sur cette «charue microscopique».

Dans le premier cas, on observe que la pointe laisse un sillon qui s'estompe progressivement. Les réactions sont variées : le caoutchouc «cicatrise» si rapidement que le microscope ne permet pas d'en suivre la déformation, mais d'autres polymères ne retrouvent leur forme qu'après plusieurs heures. La microscopie à force atomique ne donne pas encore les mouvements macroscopiques de la cicatrisation, mais elle révèle le phénomène.

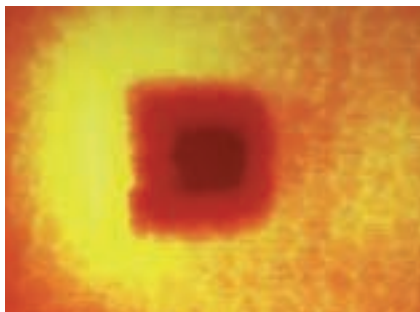
Avec l'équipe de Mathieu Joannicot et de Vincent Granier, au Centre de

recherches Rhône Poulenc, à Aubervilliers, les physiciens de l'E.S.P.C.I. ont caractérisé plus finement ces déformations. Ils ont notamment testé des films composés de microbilles de latex qui avaient été collées par l'évaporation du solvant où elles baignaient initialement ; dans le film finalement formé, chaque bille était une protubérance du film. La déformation du réseau de billes, lors du retrait de la pointe, a montré que l'échantillon ne glisse pas sous la pointe qui s'enfonce : chaque bille s'enfonce en restant à la verticale de sa position d'origine, contrairement à l'eau devant un bateau. L'absence de glissement, dans le film de latex, résulte de la forte adhérence de la pointe et du matériau.

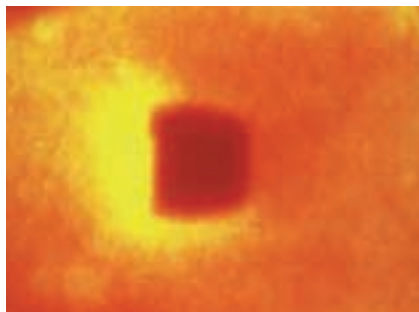
Dans le second cas, un balayage de peu d'amplitude donne accès aux forces de frottement statique, telles celles qui s'exercent sur un caillou qui ne glisse pas, sur une pente peu inclinée. Ces forces sont accessibles si le balayage est lent. En effet, les polymères que la pointe laboure se déforment, parce que les longues molécules dont ils sont constitués se déplacent, devant la pointe ; or ces déplacements dépendent de la rapidité de la sollicitation. L'effet est le même que lorsqu'on tire un spaghetti d'une assiette pleine ; si l'on tire lentement, seul le spaghetti sollicité est extrait ; en revanche, une traction rapide fait venir tout le plat.

Avec un balayage rapide de la pointe, d'autre part, on mesure le coefficient de frottement dynamique, qui prévaut quand un corps posé sur un plan incliné se met à glisser. Là encore, la méthode microscopique a, sur les études de mécanique classique, l'avantage qu'elle évite les effets, normalement inévitables, de la rugosité : à l'échelle microscopique, les surfaces qui frottent l'une contre l'autre (celle de la pointe et celle du matériau), ont une forme bien définie.

La nanomécanique de surface éclaire ainsi le comportement des matériaux mous, notoirement difficiles à étudier. Elle jette également un pont entre les phénomènes d'adhésion et de frottement. □



La déformation d'un film polymère mou où l'on enfonce une pointe microscopique. Une fois la pointe retirée, le matériau cicatrise pro-



gressivement. À partir de cette cicatrisation, on étudie les propriétés visqueuses et élastiques du matériau.

