

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 Graal 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 «charrue 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.

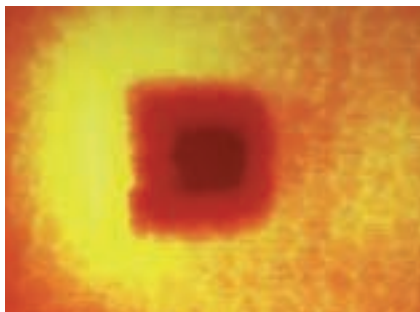
Avec l'équipe de Mathieu Joannicot et de Vincent Granier, au Centre de

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.

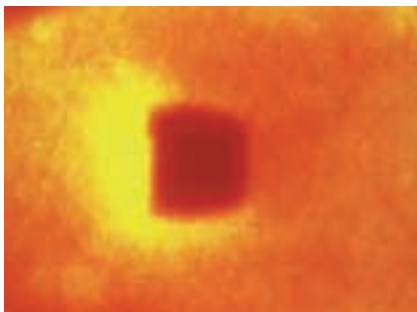
Dans le second cas, un balayage de peu d'amplitude donne accès aux forces de frottement statique, telles celles qui s'exercent sur un caillou qui ne glisse pas, sur une pente peu inclinée. Ces forces sont accessibles si le balayage est lent. En effet, les polymères que la pointe laboure se déforment, 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.

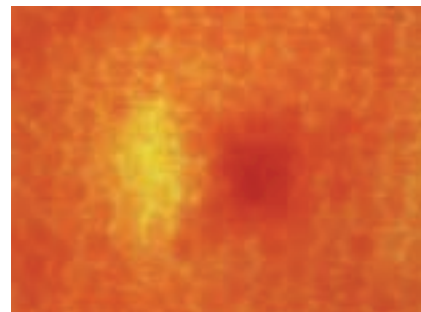
La nanomécanique de surface éclaire ainsi le comportement des matériaux mous, notoirement difficiles à étudier. Elle jette également un pont entre les phénomènes d'adhésion et de frottement. □



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.



Un soja bien mal squatterisé

L'introduction d'un nouveau gène dans le soja entraîne des allergies.

Le mieux est l'ennemi du bien : maxime éternelle. La manipulation du soja avec un gène de la noix du Brésil prouve les dangers des améliorations forcées : des allergènes ont accompagné le gène transféré au soja pour enrichir ses qualités nutritives, avec les inconvénients que l'on devine.

Pour nourrir les animaux, on utilise surtout des végétaux riches en protéines, notamment le pois sec et le soja. Les techniques de sélection classiques par hybridation ont déjà amélioré les rendements ou la qualité des plants, mais les tourteaux de soja, constitués de résidus obtenus après chauffage et pressage des graines, restent pauvres en méthionine, un acide aminé soufré, indispensable à une bonne nourriture animale. L'addition de méthionine en poudre étant très onéreuse, des chercheurs travaillant pour la firme américaine d'agro-alimentaire *Pioneer Hi-Bred International* ont voulu pallier cette déficience en transférant au soja le gène d'une protéine de la noix du Brésil, protéine dite 2s car riche en deux acides aminés soufrés : la méthionine et la cystéine.

Comme tout matériel originaire de la famille des noix (noix ordinaires, noix de cajou, noisettes et cacahuètes...), la noix du Brésil est très allergisante. Or le soja «complété» a également intégré le gène inopportun d'un allergène de la noix du Brésil.

Les chercheurs ont identifié que la protéine 2s était l'allergène le plus actif, ou majeur, de la noix du Brésil. D'autre part, des tests sérologiques et de réactivité cutanée ont montré que les personnes sensibles aux extraits de noix du Brésil réagissaient aussi aux extraits de soja transgénique, alors qu'elles restaient insensibles au soja normal.

Bien que ce soja manipulé ne soit destiné qu'à la seule alimentation animale, *Pioneer Hi-Bred International* a décidé de ne pas l'exploiter. Les jeunes

animaux, porcelets ou veaux, pourraient en effet reconnaître les mêmes allergènes que les humains ; la proportion de ceux qui développent une allergie après le sevrage est environ deux pour cent, comme chez les enfants ! Il est vraisemblable que ce qui ne convient pas aux uns, ne conviendrait pas d'avantage aux autres !

ALLERGIES INDUITES PAR DES PRODUITS EXOTIQUES

De nombreux travaux éludent les «mystères» des allergies. Chaque individu est génétiquement prédisposé à répondre à certaines molécules, pourvu qu'il les rencontre. C'est ainsi qu'aujourd'hui des produits exotiques, tels les kiwis, encore inconnus dans nos contrées il y a une vingtaine d'années, induisent parfois des réactions allergiques. D'autres allergies «émergent» aussi à la suite de modifications des habitudes alimentaires : ainsi en est-il de la fréquence des allergies au pois chiche, en augmentation depuis que cet aliment est plus fréquent dans nos assiettes.

À l'Institut Pasteur, l'équipe de G. Peltre établit un répertoire des allergènes provenant de plantes ou d'aliments d'origines diverses. Ces chercheurs ont ainsi observé que de nombreuses allergies alimentaires proviennent de fruits secs et de graines, et que l'arachide occupe la deuxième position derrière la farine de blé. Il est d'ailleurs étonnant de constater que la proportion de réactions – parfois très graves – à l'arachide a doublé en France au cours des dix dernières années.

N'en déplaise aux végétariens, le soja, comme beaucoup de plantes, est lui aussi allergisant, mais il existe des variétés dites hypoallergéniques vis-à-vis desquelles la réactivité est moindre. Deux allergènes majeurs ont été reconnus, mais la fonction d'un seul a été identifiée : il s'agit d'un inhibiteur de protéase empêchant la dégradation des protéines de la graine. Peut-être pourrait-on envisager, suggère G. Peltre, de «raccourcir» le gène concerné pour tenter de supprimer l'effet allergène sans inhiber la fonction de cette molécule et améliorer ainsi la qualité nutritive du soja (en réservant la transgénèse pour une étape ultérieure). Toutefois, du même coup, en manipulant le génome du soja, court-on le risque de démasquer un nouvel allergène ?

À la technique d'insertion d'un gène nouveau, les chercheurs préfèrent souvent celle qui consiste à «tuer l'allergène dans l'œuf». En intervenant directement sur le génome, ils tentent d'éliminer un gène ciblé ou de supprimer son expression. Au Japon, une équipe est parvenue à obtenir un riz transgénique dépourvu d'allergène majeur, tandis qu'un autre groupe est intervenu, sur un gène différent du précédent, pour améliorer la qualité d'un riz destiné au saké.

Les généticiens agronomes tendent à utiliser des plantes «donneuses» dont l'allergénicité n'est pas reconnue – ce qui, inversement, présente l'inconvénient de rendre le dépistage plus difficile. Il est d'autant plus surprenant d'avoir choisi la noix du Brésil comme «donneur» car outre le soja, le gène de la protéine 2s a déjà été introduit dans plusieurs autres plantes : tabac, colza, haricot... Comme le préconisent le Parlement et le Conseil Européen, il ne paraît pas superflu d'envisager un étiquetage des produits issus de plantes génétiquement transformées.

Marie-Thérèse LANDOUSY



Graines de soja stylisées.