

bille revêtue d'un polymère, plus mou et plus lisse. On peut alors supposer qu'une couche plus profonde du film de polymère est impliquée.

Ce qui précède montre que les mécanismes de transfert d'électrons, d'ions et de matériau peuvent avoir lieu simultanément, pour certains matériaux et des conditions de contact particulières. Pour les contacts métal-isolant, le mécanisme de transfert d'électrons a été établi. Dans le cas d'un contact entre deux isolants, la question est de savoir si le transfert de matériau est le seul mécanisme ou le mécanisme prédominant dans tous les contacts.

Il existe d'autres idées pour expliquer les observations. L'une d'elles suppose l'existence d'un seuil de force ou d'énergie appliquées, au-dessous duquel trop peu de matériau est transféré pour entraîner un échange de charges. Selon une autre conception, on a un continuum de types de

contact : les transferts d'électrons, d'ions et de matériau ont tous lieu, mais ce dernier prend d'autant plus l'ascendant que la force ou la pression appliquée augmentent.

À cet égard, les données quantitatives établies par K.-Y. Law et ses collègues en 1995 pour le transfert d'ions sont intéressantes. Ces chercheurs ont mélangé avec précaution des particules de toner revêtues d'un sel de césium et des particules recouvertes de polymère. Ils ont montré que l'échange de charges est proportionnel à l'intensité de transfert du césium et que cette relation dépend également du temps de brassage.

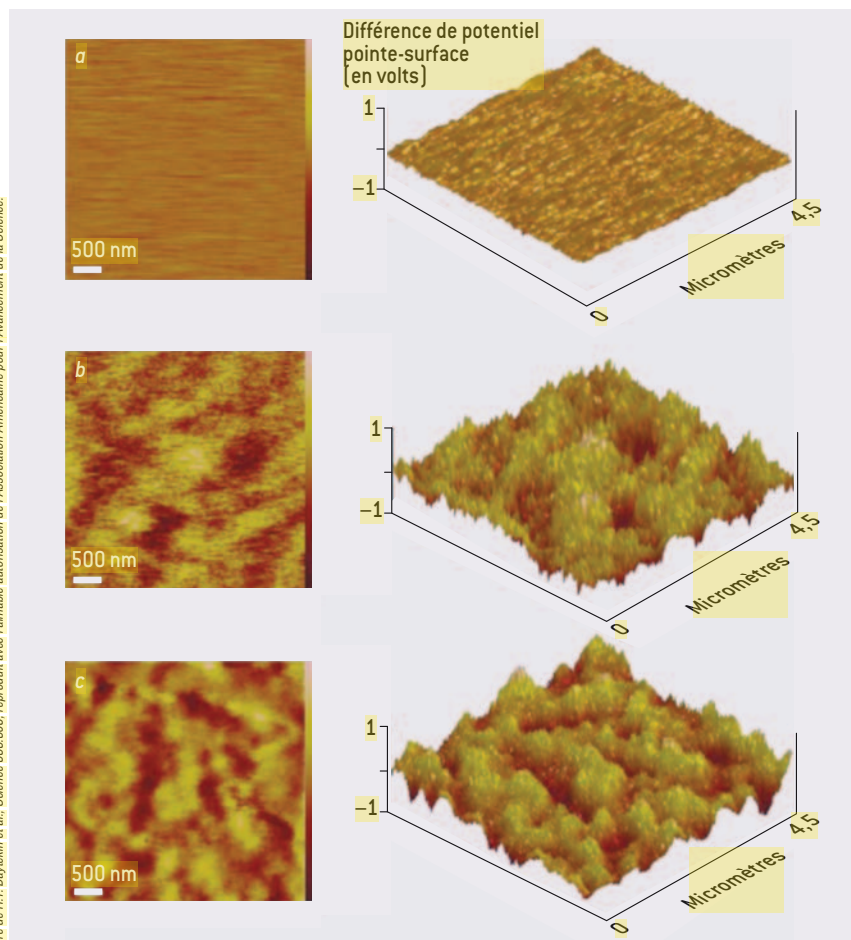
Cela suggère un mécanisme de transfert d'ions césium plutôt qu'un échange de matériau. Les ions mobiles, par leur nature même, se transfèrent plus facilement que les fragments de polymère, qui nécessitent une rupture de liaison. Cela signifierait-il que les forces mécaniques entre les particules de toner et les autres étaient trop faibles pour qu'il y ait simultanément transfert de fragments de polymère ? Y a-t-il une hiérarchie des mécanismes de charge, de telle sorte que plusieurs mécanismes puissent contribuer à la charge en fonction des conditions expérimentales ? En procédant avec des particules métalliques au lieu des particules revêtues de polymère, l'équipe de K.-Y. Law a observé les mêmes corrélations entre le transfert de charges et le transfert d'ions ; cela indique que le transfert d'ions mobiles, quand il est présent, est privilégié par rapport au transfert d'électrons.

Matériaux identiques, mais charges distinctes

Un phénomène continue d'intriguer les expérimentateurs : la possibilité de charge de contact entre matériaux de composition identique. Cette possibilité est en contradiction avec la vieille et trop simpliste idée de « série triboélectrique », qui classe les matériaux selon leur propension à se charger positivement ou négativement. Un matériau se charge positivement par rapport à tous les matériaux qui le précèdent dans la série, ce qui sous-entend qu'une différence de composition est nécessaire pour qu'il y ait charge de contact.

Pourtant, une telle charge se produit quand des polymères identiques sont soit pressés, soit frottés l'un contre l'autre, symétriquement ou asymétriquement (le frottement asymétrique de films de

Tiré de H.T. Baylékin et al., *Science* 333:308, reproduit avec l'aimable autorisation de l'Association Américaine pour l'Avancement de la Science.



6. LE TRANSFERT D'AGRÉGATS NANOMÉTRIQUES, mis en évidence par microscopie à sonde de Kelvin, entre des surfaces de polymères mis en contact, puis séparés. Avant le contact, le matériau est relativement lisse (a). Le contact avec un polymère identique (b) ou différent (c) produit divers motifs de transfert.