

D'où vient l'électricité statique ?

Meurig Williams

Les phénomènes d'électricité statique nous sont familiers, mais comment les charges s'accumulent-elles ? Des études récentes montrent que des transferts de matière sont parfois à l'œuvre.

L'ESSENTIEL

■ **La nature des charges électriques qui s'accumulent à la surface des matériaux est encore mal connue.**

■ **Certaines expériences mettent en évidence un transfert d'électrons ou d'ions d'une surface à l'autre lors d'un contact.**

■ **D'autres études suggèrent que dans certains cas, des fragments de matière sont échangés.**

■ **Dans le cas de matériaux identiques, l'asymétrie des frottements pourrait expliquer la présence des charges.**

Chacun a fait l'expérience désagréable des décharges électriques par temps sec en hiver en marchant sur de la moquette ou en enlevant un pull-over. Ces petits désagréments du quotidien peuvent prendre plus d'importance dans certains cas. On le constate lors des éruptions volcaniques, où se produisent des éclairs dus au frottement des grains de poussière les uns sur les autres (voir la figure 1). Les décharges électrostatiques préoccupent aussi les ingénieurs de la NASA, car la sécheresse qui règne sur la Lune et sur Mars favorise ces phénomènes : un astronaute qui tend le bras pour ouvrir un sas après avoir marché sur le sol sec peut provoquer une décharge, susceptible d'endommager un composant électronique critique. Il est par ailleurs possible qu'une décharge électrostatique ait été à l'origine de la catastrophe du *Hindenburg* en 1937 ; l'étincelle aurait enflammé l'hydrogène gazeux contenu dans ce dirigeable. Cependant, l'électricité statique n'est pas toujours un inconvénient : on la met à profit dans des appareils répandus tels que les photocopieuses et les imprimantes laser.

Lorsqu'on frotte deux objets l'un contre l'autre et qu'on les sépare, des charges électriques apparaissent à leur surface. On parle de charges triboélectriques, ou encore de charges de contact ou charges statiques. La triboélectricité était déjà connue des Grecs anciens : le philosophe Thalès de Milet découvrit ainsi qu'en frottant de l'ambre sur de la laine, on créait un tel phénomène. D'ailleurs, le terme « triboélectrique » signifie en grec « frotter de l'ambre ».

Le phénomène a cependant été très peu étudié. Quelle est la nature des particules chargées qui s'accumulent à la surface des matériaux ? Par quel mécanisme migrent-elles dans la zone de contact ? Depuis quelques années, des chercheurs de diverses disciplines s'intéressent à ces questions. Cet article présentera les différents phénomènes et scénarios possibles à l'origine de l'effet triboélectrique. Trois hypothèses sont envisagées quant à la nature des charges échangées ; il pourrait s'agir d'échanges d'électrons, d'ions ou

1. LE VOLCAN ISLANDAIS EYJAFJÖLL, lors de son éruption en 2010, a expulsé dans l'atmosphère de grandes quantités de poussière. Le frottement entre grains de poussière conduit à l'accumulation de charges et crée des décharges d'électricité statique, visibles sous forme d'éclairs.

© Arctic-Images/CORBIS

de petites quantités de matière entre les deux éléments frottés. Plusieurs expériences récentes, que nous allons décrire, tentent de répondre à ces questions et de donner une description du phénomène.

L'une des raisons pour lesquelles les progrès se sont fait attendre est le manque de motivation : la plupart des travaux sur la triboélectricité visent le développement de nouvelles techniques, contexte où la compréhension des mécanismes d'échange de charges n'est pas perçue comme indispensable.

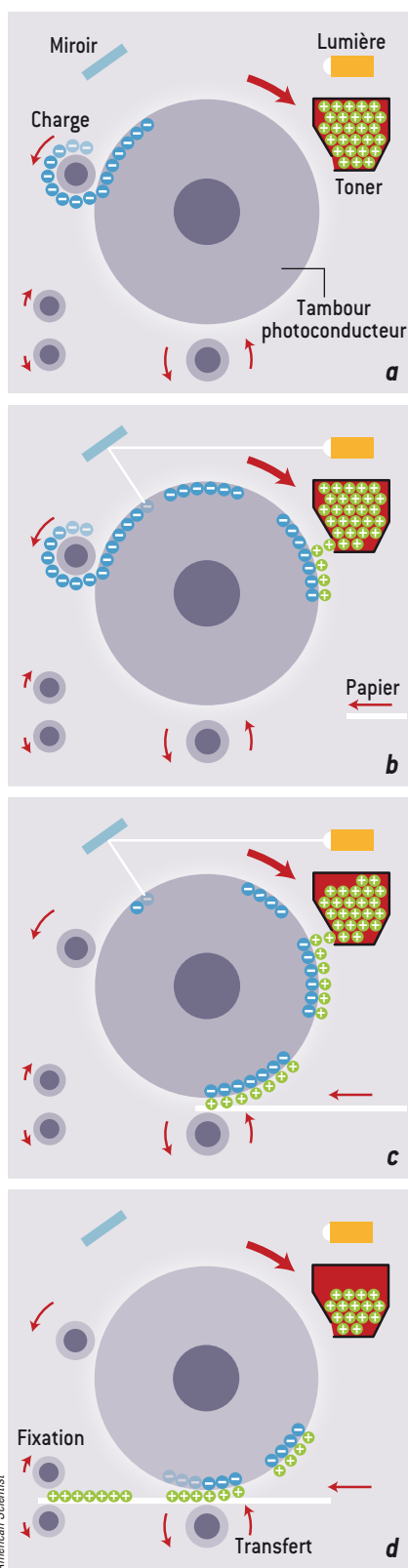
Les photocopieuses et les imprimantes laser figurent parmi les principales applications de la triboélectricité. Ces dispositifs ont été introduits par la Société Xerox et développés aussi par Kodak (voir l'encadré page ci-contre). Dans une photocopieuse, le toner (formé de microsphères en plastique contenant l'encre) et la surface d'un cylindre, le « tambour », acquièrent par triboélectricité des charges opposées (voir la figure 2). La lumière réfléchie par les parties blanches de la feuille à copier neutralise certaines zones du tambour photoconducteur. En effet, celui-ci devient un meilleur conducteur électrique quand il est exposé à la lumière et, par conséquent, les zones illuminées se déchargent. Le toner se fixe uniquement sur les parties chargées du tambour, qui dépose les billes d'encre sur le papier. Une unité chauffante fait fondre les billes et fixe l'encre sur la feuille.

Un domaine délaissé

On a d'abord pensé qu'une compréhension des mécanismes fondamentaux de la triboélectricité faciliterait la conception des machines. Mais on a fini par délaissé ces recherches quand on a obtenu des appareils performants, alors qu'on ignorait toujours tout des transferts d'électrons et d'ions à l'œuvre dans les mécanismes triboélectriques.

Les premières études du phénomène se sont inspirées des connaissances acquises sur les métaux. L'échange de charges par contact, dans ce cas, résulte du transfert d'électrons. Au sein d'un métal, une partie des électrons sont libres, ce qui facilite leur transfert. Mais ce modèle s'applique-t-il aux matériaux isolants, dépourvus d'électrons libres ?

On a trouvé des preuves de transfert d'électrons ainsi que d'ions dans des conditions expérimentales particulières, mais ces données sont peu nombreuses et souvent contradictoires. Récemment, de nouvelles



2. LE TAMBOUR D'UN PHOTOCOPIEUR est photoconducteur et chargé négativement (a). Les zones chargées du tambour qui sont éclairées deviennent neutres et ne sont pas imprimées (b). Du toner, de charge positive, est attiré vers les zones négatives du tambour (c), puis transféré sur le papier (d).

recherches ont montré que l'échange de charges peut aussi résulter du transfert physique de minuscules quantités de matériau de surface d'une substance à l'autre. On commence tout juste à comprendre comment cela se déroule au niveau moléculaire. Plusieurs mécanismes semblent à l'œuvre, en fonction de la composition des matériaux et des conditions expérimentales dont les rôles restent à éclaircir.

Un transfert d'électrons libres ou d'ions ?

Considérons le contact entre un métal et un polymère isolant. On avait observé que la densité de charges créée sur le polymère est proportionnelle à l'énergie nécessaire pour arracher des électrons au métal. Ce résultat était présenté comme la preuve d'un mécanisme de transfert d'électrons (voir la figure 3). Cependant, cette relation n'est pas toujours vérifiée, ce qu'on attribuait au grand nombre de variables impliquées et à la possibilité que plusieurs mécanismes simultanés soient en jeu.

Pour les transferts de charge entre deux isolants, les physiciens ont développé des théories inspirées du mécanisme de transfert d'électrons, sans préciser la nature des charges. Ces théories n'ont eu qu'un succès limité dans le calcul de l'énergie nécessaire pour arracher des charges aux isolants. Elles en ont eu davantage pour expliquer que, dans certains cas, l'échange de charges est limité par le champ électrique créé. En d'autres termes, comme l'accumulation de charges crée un champ électrique, elle est limitée par la rigidité diélectrique de l'air ambiant, qui correspond à la valeur maximale du champ électrique que l'air peut supporter avant que ses molécules soient ionisées. Au-delà de cette limite, l'air devient conducteur et une décharge électrique se produit.

L'approche des physiciens s'est révélée insuffisante et c'est dans d'autres domaines, en particulier en chimie, que de nouvelles idées ont émergé. Dans les années 1990, deux décennies après la découverte par la Société Kodak que des sels d'ammonium amélioraient la charge électrique de l'encre en poudre des photocopieuses, l'idée des ions mobiles s'est imposée comme une explication possible de l'effet triboélectrique (voir la figure 4). Selon cette conception, un ion mobile est libre de passer d'une surface à une autre parce qu'il a un « contre-ion », de charge opposée, qui est soit beaucoup