

IDÉES DE PHYSIQUE

Le doigt, un capteur universel

Pour reconnaître un matériau du bout des doigts, il ne suffit pas d'appuyer dessus. Il faut aussi balayer la surface : grâce aux frottements, des vibrations porteuses d'informations sont engendrées.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Le seul sens du toucher nous permet d'identifier avec les doigts la matière d'un objet, qu'il soit solide comme la soie, le bois, le coton ou le papier, ou liquide comme l'huile, l'eau ou le miel. D'où provient cette capacité sensorielle qui interpelle biologistes et physiciens, et fait rêver les roboticiens en quête d'une peau artificielle ? De la présence dans la peau de plusieurs types de terminaisons nerveuses, d'une imbrication du derme et de l'épiderme, et du rôle essentiel des empreintes digitales. Muni de cette structure et de cet arsenal de capteurs, le doigt détecte simultanément la température, la pression, le cisaillement, le relief, les vibrations ou encore la texture. Un capteur très polyvalent !

Chaud et froid, pression...

Touchons un objet avec nos doigts. Une première information que notre cerveau élabore à partir des signaux transmis par les terminaisons nerveuses libres de la peau est la sensation de chaud et de froid. Il s'agit là d'une information cruciale, car deux matériaux ayant la même température peuvent provoquer des sensations différentes : par exemple, nous percevons le bois comme chaud et le métal comme froid.

En réalité, nous sommes sensibles à la rapidité du transfert thermique entre notre peau et le matériau et à la variation

de température qui en résulte. Cela traduit l'« effusivité » du matériau, propriété qui combine sa conductivité thermique et sa capacité calorifique.

Par ailleurs, cette sensation de chaud ou froid nous renseigne aussi sur la rugosité du matériau. En effet, la surface de contact avec le doigt étant plus faible lorsque le matériau est rugueux plutôt que lisse, le transfert thermique est moins efficace : la surface paraît donc plus chaude. Cette sensation diminue cependant lorsque nous appuyons un peu plus avec le doigt, puisque la surface de contact augmente, grâce à l'élasticité de la peau.

Simultanément, nos doigts perçoivent les forces engendrées par l'enfoncement de la peau. La détection de ces pressions localisées, et par là-même l'identification des déformations spatiales de la surface, est possible grâce aux « disques de Merkel », des terminaisons nerveuses spécialisées.

La sensibilité des disques de Merkel et leur haute résolution spatiale sont optimisées par leur localisation, à la frontière entre le derme et l'épiderme. Cette frontière n'est pas plane, mais au contraire fortement ondulée. Le derme et l'épiderme ayant des élasticités différentes, les contraintes mécaniques présentes à ce niveau sont beaucoup moins uniformes qu'avec une interface plane. Elles ont tendance à se concentrer dans les zones les plus incurvées de la frontière, où le stimulus (la pression), ainsi amplifié, donnera un signal nerveux plus fort.

Les disques de Merkel ont un temps de réponse relativement long, adapté aux pressions continues. Ils sont complétés par les « corpuscules de Meissner », capteurs sensibles aux variations rapides du stimulus.

En pratique, le nombre et la disposition des disques de Merkel sont tels qu'ils nous informent sur des rugosités d'échelle supérieure à quelques dixièmes de millimètre. C'est largement suffisant pour lire le braille (les points des caractères ont une taille supérieure au millimètre) et pour identifier du papier de verre à gros grains. En revanche, lorsque la rugosité est plus fine, la résolution spatiale devient insuffisante : nous sommes incapables de distinguer, par une simple pression du doigt, des papiers de verre à grains fins mais différents.

Comment faire dans ce cas ? Nous savons d'expérience qu'il convient alors de



LORSQU'ON TOUCHE AVEC LES DOIGTS une surface, la peau envoie au cerveau une multitude d'informations qui permettent d'identifier le matériau.