

> contrôle moteur et une fonctionnalité de la main véritablement utile. Toutes les études rétrospectives des taux de succès d'utilisation fonctionnelle des prothèses auprès des amputés sont très décevantes. Les prothèses sont très peu utilisées, car elles demandent beaucoup d'efforts d'adaptation.

La découverte qu'une représentation de la main amputée persiste dans le cerveau est très importante pour les chercheurs travaillant dans ce domaine, comme Sliman Bensmaia, à l'université de Chicago, et ses collègues. Cette équipe s'attache à décrypter les codages de la perception du toucher au niveau du cortex somatosensoriel afin d'implémenter des solutions viables pour les prothèses sensibles. La nouvelle vision suggère que la prothèse doit s'insérer dans une sorte de moule naturel pré-conçu. Cela signifie que si l'on arrive à mimer suffisamment bien la fonctionnalité entre la main bionique que l'on conçoit et la représentation de la main dans le cerveau, on augmente les chances d'obtenir un meilleur contrôle de la prothèse.

C'est aussi ce que suggère une étude que l'équipe de Sliman Bensmaia a publiée en décembre dernier, où elle montre que, contrairement à ce que Scott Frey a observé avec les mains greffées (voir l'article page 32), lorsque le câblage d'une prothèse sensible comporte des erreurs, des années de stimulations simultanées visuelles et tactiles ne suffisent pas à relocaliser correctement les perceptions tactiles: par exemple, le toucher vu sur un doigt mais perçu sur la paume reste invariablement perçu sur la paume. En d'autres termes, il faut bien connaître les règles pour pouvoir y adhérer et avoir un maximum de chance qu'une prothèse soit fonctionnelle pour la personne qui l'utilise.

Et concrètement, commence-t-on à comprendre en quoi ces règles consistent ?

Oui, des pistes se dessinent. Toujours en décembre dernier, Tamar Makin, la philosophe française Frédérique de Vignemont et le professeur de neuro-ingénierie italien Silvestro Micera ont proposé des indications pour la conception de prothèses: il vaut mieux imaginer une prothèse qui permet une fonction, comme la saisie, quitte à ce qu'elle ne ressemble pas à une main, plutôt que d'essayer de reproduire une main et risquer que le cerveau ne l'incorpore pas dans son fonctionnement.

Finalement, les prothèses et les greffes de main nous apprennent-elles des choses différentes sur le fonctionnement cérébral ?

Je n'ai pas de réponse, mais la notion d'incorporation est peut-être une clé pour comprendre les spécificités de chaque approche. Avec Frédérique de Vignemont, nous étudions

comment notre perception se modifie avec l'utilisation d'outils. Vous connaissez peut-être l'illusion de la main en caoutchouc: on dissimule une main d'un sujet et on place devant lui une main en caoutchouc, puis on stimule de la même façon la main cachée et celle en caoutchouc. Après quelques minutes de stimulation, le sujet a l'impression que la main en caoutchouc devient la sienne. Dans cette illusion, la conjugaison de trois informations sensorielles – la vue, le toucher et la proprioception – pousse le cerveau à incorporer la main en caoutchouc, à la considérer comme étant une partie du corps. Mais un outil fournira-t-il le même résultat ? Nous avons montré que l'incorporation de la main en caoutchouc diffère de celle des outils.

Comment avez-vous procédé ?

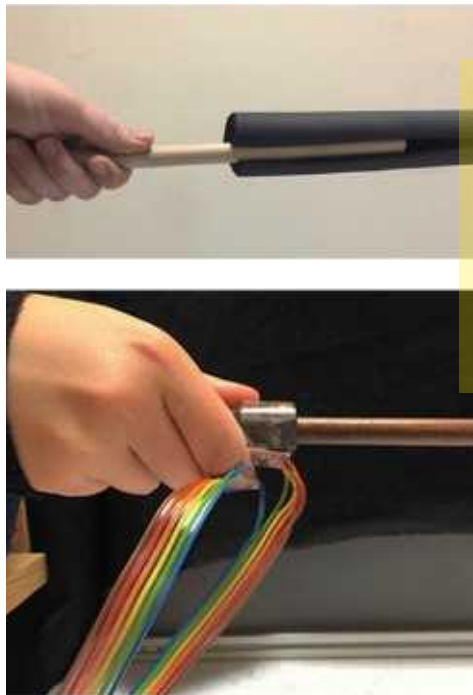
Il y a quelques années, au laboratoire, Alice Roy et moi avons fait l'hypothèse que si notre capacité à contrôler aussi bien les outils vient du fait qu'on les intègre dans notre contrôle moteur, alors cela signifie qu'on les intègre dans la représentation de notre corps, et plus spécifiquement dans la représentation du membre qui les utilise. Par conséquent, le fait d'utiliser un nouvel outil devrait changer quelque chose dans le contrôle moteur de ce membre. Pour tester cette hypothèse, nous avons étudié la cinématique du mouvement de saisie d'un verre avant et après l'utilisation d'une pince qui allonge le bras de 40 centimètres. Les sujets, qui ne connaissaient pas l'outil, l'ont contrôlé



Ce n'est pas parce que l'on a incorporé un outil qu'on le perçoit comme une partie du corps

presque immédiatement. Surtout, la cinématique du mouvement a changé: après l'utilisation de la pince, leur bras bougeait comme s'il était devenu plus long. Une sorte de plasticité fonctionnelle semblait s'être mise en place de façon temporaire.

Avec Luke Miller, alors en postdoctorat au laboratoire, nous avons aussi regardé le côté perceptif: depuis Descartes, on sait que les



Pour étudier la perception que l'on a par un outil, l'équipe d'Alessandro Farnè a testé la capacité d'individus à détecter la localisation d'impacts le long d'un bâton qu'ils tenaient en main sans le voir (à gauche, le dispositif expérimental), que le bâton soit rigide ou semi-rigide (à droite en haut). Elle a aussi évalué la propagation de vibrations induites par ces impacts à l'aide d'un accéléromètre fixé à un doigt (à droite en bas).

humains sont capables de localiser les choses dans l'espace par le bout d'un outil, par exemple une canne. Mais pourquoi ne ressentirait-on que le bout ? Si la canne est comme un bras, on devrait ressentir si on est touché tout le long de la canne et où. Nous avons donc généré des impacts à différents endroits d'un bâton d'un mètre tenu par des sujets sans qu'ils puissent le voir : ils ont tous été capables de localiser à quel endroit le bâton avait été touché, quasiment comme si c'était leur bras (voir la figure page 45).

Ensuite, nous avons essayé de voir quel processus cérébral était impliqué dans ce phénomène. Nous avons montré que les mécanismes de perception tactile derrière cette capacité de localisation du toucher sur le bâton semblent être les mêmes que ceux derrière la localisation sur notre propre corps – un résultat de plus en faveur de l'idée que l'important, c'est la fonction.

En quoi l'incorporation des outils diffère-t-elle de celle de la main en caoutchouc ?

Sans entrer dans les détails, nous avons accumulé plusieurs preuves aux niveaux moteur et sensoriel suggérant que ce n'est pas parce que l'on a incorporé un outil qu'on le perçoit comme une partie du corps. Ce que l'on veut avec un outil, c'est pouvoir l'utiliser sans crainte, dans des situations où la main n'aurait pas assez de force ou ne serait pas adaptée, par exemple. Il y aurait donc différents niveaux d'incorporation. Un niveau relèverait plus des parties corporelles, comme la main en caoutchouc, et d'autres d'outils plus fonctionnels.

Où situer les prothèses dans ce cas ?

C'est toute la question. La réponse varie peut-être en fonction de la typologie de la prothèse : si elle ressemble visuellement à la main, on se rapprochera de la main en caoutchouc. Si la prothèse met en avant plutôt la fonction et si, visuellement, on n'a pas vraiment la sensation que c'est une partie du corps, on se rapprochera plus de l'incorporation d'un outil. Mais le sujet est encore très débattu et les recherches se poursuivent.

De votre côté, comment les poursuivez-vous ?

Nous continuons les expériences sur l'incorporation d'outils en étudiant la façon dont le contrôle moteur et la perception de l'espace bénéficient du fait que l'individu a accès à différentes informations sensorielles. Nous démarrons aussi un projet pour voir comment les personnes aveugles pourraient bénéficier des capacités de localisation tactile sur un bâton que nous avons mises en évidence. Par ailleurs, j'ai la chance d'être responsable d'une plateforme de neuro-immersion qui accueille des recherches cognitives de toute la France. Cette plateforme permet d'utiliser la réalité virtuelle pour répondre à des questions difficiles à aborder en laboratoire. Des études sur la plasticité cérébrale devraient y commencer bientôt. Nous avons par exemple prévu de donner aux participants une vision altérée de l'outil utilisé, afin de déterminer comment la vision, qui domine nos autres sens, influence nos capacités de contrôle moteur et de localisation du toucher. ■

Propos recueillis
par Marie-Neige Cordonnier

BIBLIOGRAPHIE

D. Muret et T. Makin, **The homeostatic homunculus : Rethinking deprivation-triggered reorganisation**, *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 67, pp. 115-122, 2021.

D. B. Wesselink et al., **Malleability of the cortical hand map following a finger nerve block**, *Biorxiv*, 2020.

M. Ortiz-Catalan et al., **Chronic use of a sensitized bionic hand does not remap the sense of touch**, *Cell Reports*, vol. 33, article 108539, 2020.

A. Farnè et al., **Face or hand, not both : Perceptual correlates of reafferentation in a former amputee**, *Current Biology*, vol. 12, pp. 1342-1346, 2002.