

utilise, des remaniements de l'activité cérébrale peuvent être interprétés comme une réorganisation corticale ou un maintien.

Dans un article soumis pour publication, par exemple, les chercheurs de la même équipe ont anesthésié temporairement un doigt de la main et ont regardé comment, dans les quelques minutes qui ont suivi l'anesthésie, l'organisation corticale a évolué. Ils ont bien retrouvé une réorganisation locale du cortex somatosensoriel, comme attendu. Mais ils ont aussi montré, par une autre approche, que cette anesthésie locale diminuait la représentation corticale de tous les doigts de la main et non du seul doigt anesthésié. De plus, la représentation du doigt anesthésié persistait et était distincte de celle des autres doigts... En d'autres termes, par une approche, ils observaient une réorganisation, et par une autre, une organisation maintenue, même si plus ténue.

#### En quoi les deux approches différaient ?

Dans les études de neuro-imagerie fonctionnelle, le principe est souvent le même : on produit une activité sensorielle ou motrice – par exemple on touche ou on bouge un

#### Qu'en déduire concernant la plasticité cérébrale ?

Tamar Makin et Dollyane Muret, une chercheuse française en postdoctorat dans son laboratoire, viennent de publier un article très éclairant où elles font le point sur la situation. En substance, l'« homunculus », une carte associant des aires cérébrales à des fonctions motrices ou sensorielles et qui a été l'icône des neurosciences de ce siècle, ne représente pas simplement une façon de visualiser comment les entrées (stimulations) et les sorties motrices (actions) sont représentées dans le cerveau, mais plutôt des aspects fonctionnels. Par exemple, l'aire dite « de la main » répond à d'autres parties du corps qui peuvent aussi être des effecteurs de la saisie, mais non dominants, comme les pieds. Il arrive d'ailleurs que ces derniers deviennent des effecteurs dominants dans des cas très spécifiques où les patients n'ont jamais eu de mains et ont développé une capacité extrêmement fine de contrôle moteur du pied qui ressemble à celle de la main, tant dans la fonction que dans l'organisation de la représentation corticale. Certaines de ces personnes sont devenues des artistes qui peignent avec leurs pieds.

Pour Dollyane Muret et Tamar Makin, de plus en plus de travaux comme ceux-là suggèrent qu'au lieu de plasticité, il faudrait plutôt parler d'équilibre dynamique. La plasticité ne serait pas tant le remplacement d'une représentation d'une partie du corps disparue par une autre qu'une sorte de mécanisme stabilisant les fonctions de la partie disparue en représentant, dans l'aire corticale dédiée à cette partie, toutes les autres parties du corps qui peuvent effectuer ces fonctions. Cet équilibre dynamique permettrait à la fois de maintenir la forme de l'homunculus en stabilisant certaines fonctions et autoriserait une activité corticale latente beaucoup plus distribuée qu'on ne le pensait, avec des représentations motrices et somatosensorielles bien plus entremêlées.

#### Cette nouvelle vision ouvre-t-elle des horizons pour améliorer la vie des amputés ?

Elle pourrait aider à améliorer les prothèses. Du fait des traitements et des risques qui accompagnent l'allogreffe (la greffe d'un membre provenant d'une autre personne), celle-ci n'est pas indiquée pour tous les patients. L'autre solution est alors une prothèse, qu'elle soit « myoélectrique », c'est-à-dire contrôlée, au moyen d'électrodes, par les signaux électriques que génère la contraction musculaire, ou « sensible », munie d'un retour tactile. Toutefois, on s'aperçoit de plus en plus qu'obtenir un bon retour tactile est difficile, tout en étant essentiel pour avoir un bon >

## L'aire dite « de la main » répond à d'autres parties du corps qui peuvent aussi être des effecteurs de la saisie, comme les pieds

doigt – et on regarde la région où cette activité produit une activité cérébrale. Mais si l'on attribue de façon sélective le maximum d'activité à un seul doigt (par exemple, celui qui a bougé), on risque de sous-estimer l'activité de cette même région évoquée par le mouvement d'autres doigts adjacents. *A contrario*, des méthodes dites « multivariées » permettent de vérifier si chaque doigt contribue à la représentation corticale des autres. Ainsi, selon la méthode d'analyse, on peut obtenir des résultats opposés, mais complémentaires, comme l'équipe de Tamar Makin l'a mis en évidence dans l'étude sur le doigt anesthésié.

> 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