



Les interfaces cerveau-machine développées par l'auteur (à gauche) et son équipe ont permis à Erik Sorto (à droite) de bouger un bras robotisé.

menée par Hideo Sakata, à la faculté de médecine de l'université Nihon, au Japon.

Le cortex pariétal postérieur présente plusieurs avantages potentiels pour le contrôle cérébral de robots ou d'ordinateurs. Premièrement, il contrôle les deux bras, alors que le cortex moteur de chaque hémisphère n'active que le membre du côté opposé. Il donne aussi une indication sur le but du mouvement. Chez le singe, quand l'animal fixe son regard sur un objet donné, l'aire s'active immédiatement pour signaler sa position. Le cortex moteur, lui, indique la direction à suivre pour que le membre atteigne l'objet. Connaître le but d'une action motrice permet à l'ICM de la décoder rapidement, en deux ou trois dixièmes de seconde, alors qu'interpréter le signal de trajectoire émis par le cortex moteur peut prendre plus d'une seconde.

Passer d'expériences sur des animaux à des études du cortex pariétal postérieur humain n'a pas été simple. Quinze ans se sont écoulés avant que nous réalisions le premier implant humain. Nous avons d'abord implanté chez des singes sains la même grille d'électrodes que celle que nous voulions implanter chez les patients. Les singes ont rapidement appris à contrôler un ordinateur ou une prothèse.

Pour notre projet sur des volontaires humains, qui a reçu l'agrément des autorités veillant au respect des règles de sécurité et d'éthique dans les structures concernées, nous avons formé une équipe de scientifiques, de cliniciens et de professionnels de la rééducation de l'institut de technologie de Californie (ou Caltech),

de l'université de Californie du Sud, de l'université de Californie à Los Angeles (UCLA), du centre de rééducation Ranchos Los Amigos et de l'hôpital et centres de soin Casa Colina.

En première ligne de notre projet, les volontaires sont de réels pionniers, car ils n'ont pas l'assurance d'en retirer un bénéfice. Ils s'engagent pour aider les futurs utilisateurs de cette technologie, qui en bénéficieront une fois qu'elle sera adaptée à un usage quotidien. Pour Erik Sorto, notre premier volontaire, l'implantation chirurgicale a eu lieu en avril 2013 et a été effectuée par les neurochirurgiens Charles Liu et Brian Lee. L'opération s'est déroulée sans problème, puis nous avons dû attendre la cicatrisation avant de pouvoir tester le dispositif.

UN APPRENTISSAGE INTUITIF

Mes collègues du Jet Propulsion Laboratory de la Nasa, qui avaient conçu et lancé des robots à destination de Mars, m'avaient parlé des sept minutes d'angoisse durant lesquelles le vaisseau qui emporte le robot pénètre dans l'atmosphère de la planète avant de se poser à sa surface. Pour moi, ce furent deux longues semaines d'inquiétude, à me demander si les implants allaient fonctionner. Nous connaissions certes le fonctionnement des aires cérébrales similaires chez les primates non humains, mais avec un implant humain, nous entrons en territoire inconnu. Personne n'avait encore tenté un enregistrement à partir d'une population de neurones du cortex pariétal postérieur.

Le premier jour du test, nous avons détecté une activité neuronale et à la fin de la semaine, nous avions suffisamment de signaux pour commencer à déterminer si Erik pourrait contrôler un membre robotisé. L'activité de certains neurones était modifiée lorsqu'Erik imaginait faire pivoter sa main. Sa première tâche a consisté à tourner la main du robot dans différentes directions pour serrer celle d'un étudiant. Il était ravi (et nous aussi), car c'était la première fois qu'il interagissait avec le monde depuis son accident.

Les gens s'interrogent souvent sur le temps nécessaire pour apprendre à se servir d'une interface cerveau-machine. Le principe d'utilisation de la technologie s'est révélé immédiatement compréhensible. Exploiter les signaux d'intention du cerveau pour contrôler le bras robotisé s'est fait simplement et de manière intuitive. En imaginant différentes actions, Erik pouvait voir les enregistrements de neurones individuels de son cortex et les « allumer » ou les « éteindre » à volonté.

Bien maîtriser le contrôle du bras demande plus de temps. Au début de l'étude, nous avons demandé aux participants ce qu'ils aimeraient réaliser en contrôlant un robot. Erik voulait être capable de boire une bière seul, sans avoir à demander l'aide de quiconque. Un défi qu'il >

➤ a relevé au bout d'un an environ, sous les applaudissements et les cris de joie des témoins.

Grâce au concours d'une équipe codirigée par Spencer Kellis, de Caltech, qui comprenait des roboticiens du Laboratoire de physique appliquée de l'université Johns-Hopkins, nous avons croisé les signaux d'intention d'Erik avec la puissance de traitement fournie par la vision artificielle et la robotique intelligente. L'algorithme de vision analyse les données transmises par des caméras et l'intelligence du robot combine le signal d'intention avec des algorithmes pour amorcer le mouvement du bras robotisé. Ces premiers résultats ont ensuite été publiés dans la revue *Science* en 2015.

Erik n'est pas le seul utilisateur de notre technologie. Nancy Smith, qui participe à notre étude depuis quatre ans, est devenue tétraplégique après un accident de voiture il y a une dizaine d'années. Auparavant, elle enseignait l'infographie au lycée et jouait du piano. Notre étude, réalisée sous la direction de Tyson Aflalo, de Caltech, et Nader Pouratian, de l'UCLA, a montré une représentation individuelle détaillée de chaque doigt des deux mains dans le cortex pariétal postérieur de Nancy. En s'appuyant sur la réalité virtuelle, celle-ci pouvait imaginer bouger individuellement les dix doigts d'avatars de mains (une gauche et une droite) présentées sur un écran. En imaginant les mouvements de cinq doigts d'une main, Nancy pouvait jouer des mélodies simples sur un clavier virtuel de piano.

COMMENT LES NEURONES RÉVÈLENT LES INTENTIONS

Travailler avec ces patients nous a permis d'étudier les neurones engagés dans le traitement de signaux relatifs aux intentions. La quantité d'informations fournie par les quelques centaines de neurones impliqués s'est révélée colossale. À partir de cela, nous avons réussi à décoder un grand nombre d'activités cognitives, comme établir une stratégie mentale (imaginer des mouvements sans les faire), bouger les doigts, attraper un objet, observer la position des mains pour saisir un objet ou encore réaliser des calculs mathématiques. Étonnamment, implanter quelques minuscules grilles d'électrodes nous a permis de décoder de nombreuses intentions d'une personne.

Quelle quantité d'information peut être enregistrée à partir d'un petit échantillon de tissu cérébral? Cette question me rappelait un problème que j'avais déjà rencontré au début de ma carrière. J'étais alors postdoctorant dans l'équipe de Vernon Mountcastle, à la faculté de médecine Johns-Hopkins, et nous étudions la représentation de l'espace visuel dans le cortex pariétal postérieur de singes. L'œil humain ressemble à une caméra, avec une rétine photosensible qui nous indique la localisation des stimuli visuels. L'image entière est appelée ➤

À LA FORCE DE LA PENSÉE

Depuis quinze ans, les chercheurs développent des interfaces cerveau-machine (ICM) qui permettent entre autres de contrôler des prothèses grâce à des signaux nerveux. La technologie a progressé lentement, car traduire le signal électrique émis par les neurones en commandes pour bouger un bras robotisé est une opération extrêmement complexe. L'équipe de l'auteur à l'institut de technologie de Californie (Caltech) a tenté d'accélérer le développement des neuroprothèses en se concentrant sur les processus neuronaux complexes, qui amorcent l'action, et en envoyant l'activité électrique correspondante à un bras robotisé. Au lieu d'envoyer les signaux du cortex moteur pour bouger un bras, ces chercheurs ont fait le pari de placer des électrodes dans le cortex pariétal postérieur (CPP), qui transmet à la prothèse les intentions d'agir du cerveau. En effet, utiliser les signaux issus du CPP, c'est-à-dire au plus haut niveau de la chaîne de commande, permet un contrôle plus rapide et plus performant de la prothèse.

