

somatosensoriel, une aire cérébrale dédiée au traitement des stimulations tactiles. Deux singes ont appris à utiliser ce dispositif. Ils ont ainsi été entraînés à avoir l'impression de toucher un objet en se servant de doigts virtuels commandés par leur cerveau.

Assisté par une équipe internationale de neuroscientifiques, de roboticiens, d'informaticiens, de neurochirurgiens et de professionnels de la rééducation, le consortium *Walk Again* a commencé à tirer parti de ces découvertes sur l'animal, en apprenant à des patients paralysés à utiliser des interfaces cerveau-machine. Notre futur tireur de la cérémonie d'ouverture débutera son entraînement dans une «chambre de réalité virtuelle», une pièce où des images sont projetées sur chaque paroi, y compris le plancher et le plafond. Il sera équipé de lunettes spéciales et d'une sorte de casque,

qui détectera ses ondes cérébrales de façon non invasive, par électroencéphalographie (EEG) et magnétoencéphalographie (MEG). Il sera alors immergé dans un environnement virtuel. Là, il apprendra à commander un avatar informatique par la pensée. Les déplacements de cet avatar gagneront peu à peu en complexité : il devra être capable de marcher sur un sol accidenté ou d'ouvrir un robinet.

Des électrodes dans le cerveau

Les mouvements d'un exosquelette ne peuvent pas être commandés aussi facilement que ceux d'un avatar informatique, et la technologie et l'entraînement seront donc plus compliqués. Nous devons planter les électrodes directement dans

L'AUTEUR



Miguel NICOLELIS est professeur de neurosciences et codirecteur du Centre de neuro-ingénierie de l'Université Duke, aux États-Unis.

DES SIGNAUX MOTEURS À LA RÉTROACTION TACTILE

L'exosquelette exploitera des signaux allant du cerveau à la machine, puis de la machine au cerveau. Lorsque le sujet pensera au mouvement à effectuer, l'interface extraira les signaux moteurs de son cerveau, imprimera le mouvement à la prothèse, puis créera une rétroaction tactile qui lui permettra de rendre le mouvement plus précis.

1 Les signaux moteurs issus de plusieurs dizaines de milliers de neurones sont enregistrés par des capteurs implantés dans le cerveau. Ils sont accompagnés de microprocesseurs, qui analysent l'activité électrique détectée pour extraire les signaux moteurs.



2 Les signaux moteurs sont transmis par les ondes à un ordinateur installé dans un sac à dos. L'ordinateur détermine à quels mouvements ces signaux correspondent et élabore les commandes mécaniques adéquates, qu'il envoie à l'exosquelette.



3 Les différentes articulations sont actionnées pour effectuer le mouvement souhaité. L'exosquelette est doté de capteurs qui mesurent divers paramètres de position et de force associés au mouvement. Ces mesures sont envoyées à l'ordinateur.



4 L'ordinateur analyse les mesures émises par les capteurs de l'exosquelette. Il gère certains ajustements grossiers et envoie des signaux de rétroaction au cerveau (via des électrodes stimulant une aire cérébrale appropriée). Une nouvelle boucle s'enclenche alors pour que le mouvement soit de plus en plus précis et efficace.

Années 1980

Les ondes cérébrales sur écoute

Apostolos Georgopoulos, de l'Université Johns Hopkins, découvre que lorsque des macaques rhésus bougent un bras, les modalités d'activation électrique de leurs neurones moteurs dépendent de la direction du mouvement.

Début des années 1990

Des électrodes permanentes

John Chapin, de l'Université SUNY, dans l'État de New York, et Miguel Nicolelis enregistrent l'activité simultanée de plusieurs dizaines de neurones dispersés. Pour ce faire, ils utilisent des électrodes implantées de façon permanente, ouvrant la voie aux interfaces cerveau-machine.



Otto Bock Healthcare

1997

Une prothèse intelligente

Mise en vente d'une prothèse de jambe commandée par un microprocesseur. Elle est dotée de capteurs et ses mouvements s'ajustent en temps réel. Dans sa version actuelle, elle permet des activités telles que faire du vélo.

1999-2000

Première interface cerveau-machine

Les équipes de J. Chapin et M. Nicolelis publient la première description d'une interface cerveau-machine implantée sur des rats ; le signal de rétroaction y est visuel. L'année suivante, l'équipe de M. Nicolelis publie les résultats d'une étude réalisée sur un singe, qui commandait les mouvements d'un bras robotique en utilisant uniquement son activité cérébrale.



Andrew Medicini AP Photo

2008-2012

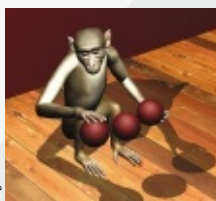
Blade runner

Oscar Pistorius, surnommé Blade runner (le coureur sur lame), remporte plusieurs épreuves lors des jeux Paralympiques de 2008. En 2012, il participe aux jeux Olympiques de Londres – dans la catégorie des valides –, où il atteint notamment la demi-finale sur 400 mètres.

2011

Le singe y pense, l'avatar le fait

L'équipe de M. Nicolelis montre qu'un singe peut faire bouger un avatar informatique par la pensée. Un signal de rétroaction « tactile » est même fourni au cerveau de l'animal.



Miguel Nicolelis

le cerveau. Il faudra aussi accroître le nombre de neurones enregistrés simultanément. Pour cela, de multiples capteurs seront implantés dans le cortex moteur, la région du lobe frontal qui commande les mouvements (cette région transmet des signaux à la moelle épinière, dont les neurones déclenchent et coordonnent le travail des muscles).

Gary Lehew, de mon équipe à l'Université Duke, a conçu un nouveau type de capteur : un cube enregistreur qui, lorsqu'il est implanté dans le cortex, capte des signaux issus de tout son environnement immédiat. Tandis que les dispositifs antérieurs étaient constitués de plaques hérissées de micro-électrodes – dont les pointes captaient les signaux électriques des neurones –, le cube de G. Lehew présente des microélectrodes capables d'enregistrer l'activité sur toute leur longueur et dans toutes les directions.

Plusieurs dizaines de milliers de neurones suivis simultanément

La version actuelle de ce cube contient jusqu'à 1 000 microélectrodes. L'activité de quatre à six neurones au moins pouvant être enregistrée par chaque microélectrode, un cube peut « lire » 4 000 à 6 000 neurones. Si nous réussissons à implanter plusieurs de ces cubes dans le cortex fronto-pariétal, nous pourrions mesurer simultanément l'activité de dizaines de milliers de neurones. Selon nos simulations informatiques, cela devrait suffire pour commander un exosquelette à deux jambes assez précisément pour assurer une locomotion autonome à nos patients.

Un autre défi est le traitement de l'avalanche de données provenant des capteurs, afin d'en extraire les signaux moteurs. Pour pallier cette difficulté, nous développons une nouvelle génération de neuropuces. Implantées dans le cerveau du patient avec les capteurs, elles fourniront les informations nécessaires pour manipuler un exosquelette recouvrant le corps entier.

Les signaux cérébraux détectés devront ensuite être transmis aux membres prothétiques. Tim Hanson, dans notre équipe, a construit un système sans fil équipé de capteurs et de puces. Ce dispositif peut être inséré dans le cerveau et transmettre les signaux cérébraux à un récepteur éloigné. Il est actuellement testé avec succès chez