

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 Medichini AP Photo

2008-2012

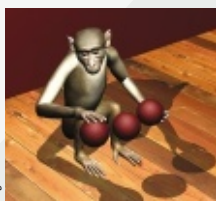
Blade runner

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 Lejew, 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. Lejew 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

des singes. De fait, lors d'une expérience récente, un singe a pour la première fois fait fonctionner une interface cerveau-machine dotée d'un système de transmission sans fil. En juillet 2012, nous avons déposé une demande auprès du gouvernement brésilien pour qu'il nous autorise à utiliser cette technique chez l'homme.

Pour notre futur jeune footballeur, les données issues des systèmes d'enregistrement seront transmises sans fil à une petite unité de traitement informatique contenue dans un sac à dos. Divers logiciels traduiront les signaux moteurs en commandes numériques adressées aux articulations de l'exosquelette, les éléments qui ajustent le positionnement des membres artificiels.

Ainsi, le patient pourra faire un pas, puis un autre, ralentir ou accélérer, se pencher, gravir un escalier, etc. L'exosquelette, qui ressemblera à une combinaison d'astronaute, devra rester souple, mais aussi procurer un bon maintien au sujet. Certains ajustements grossiers seront gérés

directement par les circuits électromécaniques, sans interaction avec le cerveau. En combinant ces « réflexes électroniques » aux signaux cérébraux, nous espérons que le tireur de la Coupe du monde pourra faire bouger son exosquelette par la seule force de sa volonté.

Ce tireur devra non seulement se déplacer, mais aussi sentir le sol sous lui.

LORS D'UNE EXPÉRIENCE RÉCENTE, un singe a pour la première fois fait fonctionner une interface cerveau-machine dotée d'un système de transmission sans fil.

L'exosquelette lui procurera une sensation de toucher et d'équilibre, grâce à des capteurs microscopiques qui mesureront les forces associées aux mouvements et transmettront ces informations au cerveau. Ainsi, le tireur devrait sentir qu'un orteil a touché le ballon.

Nous pensons que dès que le tireur interagira avec l'exosquelette, son cerveau commencera à l'intégrer comme une

extension de sa propre image corporelle. L'entraînement rendra les pas plus fluides, en permettant au tireur d'assimiler les sensations associées au contact avec le sol et à la position des jambes robotiques.

Toutes les phases de ce projet nécessiteront des tests rigoureux sur des animaux de laboratoire, avant que nous puissions commencer nos travaux chez l'homme.

En outre, les procédures doivent être acceptables d'un point de vue scientifique, mais aussi éthique pour les organismes de contrôle au Brésil, aux États-Unis et en Europe. Même si de nombreuses incertitudes demeurent et s'il nous

reste peu de temps, la simple idée de ce projet a galvanisé l'intérêt de la société brésilienne pour la science à un point rarement observé.

Le coup d'envoi de la Coupe du monde de football en 2014 – ou un événement similaire, tels les jeux Olympiques et Paralympiques de Rio de Janeiro en 2016, si nous manquons la première échéance – sera plus qu'un simple tour de force sans



LES { Partagez les savoirs }
RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur
www.jardindesplantes.net,
dans "l'agenda du jardin"

COURS PUBLICS Cycle : "Processus cellulaire"

Barbara Demeneix, professeur, directrice du département Régulations, Développement, Diversité moléculaire, Muséum

Judi 29 novembre — 18h
Les polluants environnementaux : des grenouilles et des hommes

Judi 6 décembre — 18h
L'adaptation et l'épigénétique : Lamarck revisité ?

Judi 13 décembre — 18h
Le vieillissement : un processus biologique ?

Grand Amphithéâtre du Muséum
57 rue Cuvier, Paris 5^e - Métro : Censier Daubenton/Jussieu

CONFÉRENCES Cycle : "Dinosaure, la vie en grand"

Lundi 3 décembre — 18h
La température et la vie à travers les âges
Gilles Boeuf, Président du Muséum, professeur à l'Université Pierre et Marie Curie

UNE EXPO/DES DÉBATS Cycle : "Dinosaure, la vie en grand"

Lundi 10 décembre — 18h
Peut-on comparer le gigantisme des dinosaures et celui des mammifères actuels ?
Ronan Allain, paléontologue, spécialiste des dinosaures, Muséum
Norin Chaï, vétérinaire en chef, Ménagerie du Jardin des Plantes, Muséum
Vivian de Buffrénil, paléontologue, spécialisé en paléohistologie, Muséum

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, Paris 5^e - Métro : Jussieu



2012 Du cerveau au bras robotique

John Donoghue, de l'Université Brown, et ses collègues implantent une interface neuronale à des patients, ce qui leur permet de saisir une boisson au moyen d'un bras robotique.

2014

Le coup d'envoi donné par un cyborg ?

L'équipe de M. Nicolelis élabore un exosquelette, qui permettrait à un adolescent handicapé de donner le coup d'envoi de la prochaine Coupe du monde de football au Brésil.

■ SUR LE WEB

Prototype d'exosquelette :
ScientificAmerican.com/
sep2012/exoskeleton.

Singe contrôlant la marche
d'un robot :
ScientificAmerican.com/
feb2011/mind-control

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Nicolelis, *Beyond Boundaries: The New Neuroscience of Connecting Brains with Machines - and How It Will Change Our Lives*, St. Martin's Griffin, 2012.

M. Velliste *et al.*, *Cortical control of a prosthetic arm for self feeding*, *Nature*, vol. 453, pp. 1098-1101, 2008.

M. Nicolelis et J. Chapin, *Des robots commandés par la pensée*, *Pour la Science*, n°304, 2003.

lendemain. Une expérience réalisée avec des singes donne une idée des applications potentielles de cette technique. En 2007, notre équipe a entraîné des singes rhésus à marcher sur un tapis roulant, tandis que l'activité électrique de plus de 200 neurones corticaux était enregistrée. Les données étaient envoyées à G. Cheng, qui travaillait alors au Laboratoire IRC (*Intelligent robotics and communication*, ou Communication et robotique intelligentes) de l'Institut ATR, à Kyoto, au Japon ; nous utilisons un protocole Internet que G. Cheng avait développé et qui permettait des échanges extrêmement rapides. Les données étaient destinées aux contrôleurs électroniques de CB1, un robot humanoïde.

Des algorithmes polyvalents

Ces contrôleurs utilisaient des algorithmes élaborés précédemment pour traduire des pensées en commandes de bras robotiques. Dans la première partie de l'expérience, nous avons montré que ces algorithmes fonctionnaient également pour la locomotion bipède : ils transformaient les données neuronales recueillies en commandes qui actionnaient deux jambes mécaniques.

Lors de la seconde partie de cette expérience, Idoya, un singe femelle, marchait sur le tapis roulant de notre laboratoire, et l'interface cerveau-machine transmettait le flux d'activité électrique de son cerveau à Kyoto. Là, CB1 commençait à marcher dès qu'il détectait ces

commandes motrices. Au début, il avait besoin d'être maintenu à la taille, mais dans les expériences ultérieures, il se déplaçait de façon autonome, en réponse aux commandes engendrées par le singe à l'autre bout du monde.

Quand le tapis roulant s'arrêtait et qu'Idoya cessait de marcher, elle pouvait encore commander les mouvements de CB1 à Kyoto : pour ce faire, elle observait en direct sur une vidéo les jambes du robot qui se déplaçait et elle imaginait chaque pas qu'il devait faire. Idoya continuait donc à produire les schémas cérébraux requis pour faire marcher CB1, même si son propre corps n'était plus engagé dans cette tâche motrice. Cette expérience transcontinentale a révélé qu'un humain ou un singe peut transmettre des commandes cérébrales hors de son corps biologique, jusqu'à un dispositif artificiel éloigné.

Grâce aux interfaces cerveau-machine, nous pourrions ainsi manipuler des robots envoyés dans des environnements inaccessibles à l'homme : nos pensées manœuvreraient par exemple un outil microchirurgical à l'intérieur du corps, ou dirigeraient un ouvrier humanoïde réparant une fuite dans une centrale nucléaire.

Ces interfaces pourraient également commander des outils exerçant des forces bien plus importantes, ou bien plus faibles, que celles applicables par le corps humain. En reliant le cerveau d'un singe à un robot humanoïde, nous nous sommes déjà affranchis des contraintes temporelles : le voyage mental d'Idoya autour du globe a pris 20 millisecondes – moins de temps qu'il n'en faut pour déplacer sa propre jambe.

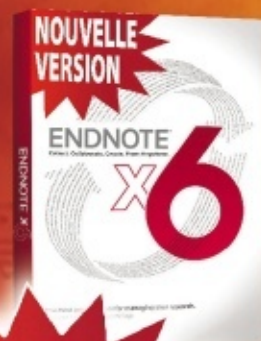
En plus d'être une source d'inspiration pour le futur, nos travaux sur des singes nous donnent confiance sur la faisabilité de notre projet. Au moment où nous écrivons ces lignes, nous attendons la réponse de la Fédération internationale de football association (FIFA) à notre proposition de faire participer un jeune paraplégique au lancement de la prochaine Coupe du monde. Le gouvernement brésilien a soutenu le projet. Les difficultés administratives et les incertitudes scientifiques sont encore nombreuses. Cependant, je ne peux m'empêcher d'imaginer ce que ressentiront les trois milliards de spectateurs en contemplant cette brève, mais historique, promenade sur le gazon d'un terrain de football... ■

UN COMPLÉMENT INTELLIGENT
POUR VOTRE ÉQUIPE DE RECHERCHE

ENDNOTE®

Collect. Collaborate. Create. From anywhere.

X6



À PARTIR DE
216 € HT
ÉDUCATION



Disponible
pour Windows & Macintosh.

ENDNOTE X6® EST LE MEILLEUR GESTIONNAIRE
POUR VOUS ACCOMPAGNER DANS VOTRE
TRAVAIL AU QUOTIDIEN.

Endnote simplifie la gestion de votre bibliographie en vous donnant accès aux meilleurs sources d'informations disponibles. Il facilite la collaboration entre collègues et vous permet en quelques clics de rendre des documents textes d'une qualité exceptionnelle.

Avec la nouvelle version Endnote X6, vous pouvez dorénavant accéder à votre bibliothèque partout dans le monde et avoir accès à tous vos pdfs grâce à la synchronisation automatique de vos bibliothèques Endnote et Endnote Web. De nombreuses autres fonctionnalités ont été ajoutées à Endnote X6 pour vous permettre d'atteindre l'excellence.

Laissez vous tenter par **ENDNOTE X6**.

Vos documents de recherche seront tout simplement exceptionnels. Et vous aussi.

www.ritme.com/fr/product/endnote

RITME - Distributeur Officiel • 34, bd Haussmann • 75009 Paris • France

Tél. : +33 (0)1 42 46 00 42 • Fax : +33 (0)1 42 46 00 33

info@ritme.com • www.ritme.com

Sauf indication contraire : logiciel et documentation en anglais, et livraison par téléchargement ou par CD-Rom.

© Copyright 2012 RITME. EndNote est une marque déposée de Thomson Reuters.

Toutes les marques déposées sont la propriété de leurs sociétés respectives.

RITME

NOTRE MÉTIER : FACILITER LE VÔTRE

Distributeur officiel en France