

Quel avenir pour les interfaces homme/ machine

Pr. François CLARAC
Président du conseil scientifique de l'IRME



François Clarac

Une cellule nerveuse émet un signal qui peut être utilisé par des robots capables de substituer des organes manquants - voire de rétablir la capacité de marcher. Depuis deux-trois ans, on peut lire dans les journaux que l'homme bionique est pour demain, même pour aujourd'hui. Dans toutes les spécialités biologiques, on peut remplacer des organes manquants. Chez un sujet aveugle, on va bientôt utiliser des rétines artificielles pour remplacer des rétines déficientes.

Aux Etats-Unis, deux personnes, après un accident dramatique, ont bénéficié de procédés leur permettant de remplacer leurs bras accidentés. Jesse Sullivan, électricien, a subi une telle décharge électrique qu'il a dû être amputé des deux bras.

En 2005, il a été opéré pour recevoir deux bras artificiels commandés par des robots lui permettant d'effectuer un certain nombre de mouvements. Claudia Mitchell, une marine qui a eu un bras sectionné, a reçu l'implantation d'un bras artificiel commandé par le cerveau.

Le système nerveux a un formidable pouvoir de réorganisation. Le bras artificiel est actionné par une commande originaire du cerveau. Lorsque Claudia Mitchell souhaite prendre un objet, elle envoie un ordre qui va du cerveau aux différentes structures centrales puis dans les nerfs et les muscles de l'épaule. Celle-ci est équipée de dispositifs extrêmement complexes qui agissent sur un bras artificiel. Claudia Mitchell a dû apprendre à « serrer la main » du robot en pensant au mouvement de la main, dans sa tête. Ces commandes exceptionnelles sont possibles.

Les deux exemples que je vous ai présentés ne sont toutefois pas parfaits car l'adaptation entre la pensée du malade et la réalisation du mouvement est souvent très difficile. De plus, l'handicap psychique est important; les prothèses ne sont pas toujours bien supportées.

L'imagerie médicale permet d'observer les parties actives d'un cerveau lorsqu'un mouvement est effectué par le patient. Grâce à elle, on a fait une découverte fondamentale qui est très prometteuse pour l'avenir: Chez un paraplégique comme chez un être « normal », le cerveau conserve la même activité. Penser une action et la réaliser c'est la même chose. On peut donc utiliser le cerveau pour commander une prothèse portée par un paraplégique.

Par ailleurs il convient de mentionner l'existence de prothèses sensorielles. Les travaux de Bach-y-Rita réalisés en 1970 sont exceptionnels - mais ils n'ont jamais été véritablement reconnus. Il aimait à répéter que « *nous ne voyons pas avec nos yeux, mais avec notre cerveau* ». Un sujet aveugle est équipé d'une caméra qui lui permet de « voir » grâce à des capteurs tactiles placés sur la langue. Cette « vision » nécessite un certain temps d'apprentissage. Mais cela marche!

Les travaux des scientifiques depuis une vingtaine d'année, montrent qu'il est possible aujourd'hui de transmettre le codage du cerveau à une prothèse qui effectue le travail. Même si on en reste au niveau expérimental, tous ces progrès sont très prometteurs.

Frédéric CHAVANE, Docteur en neurosciences, CNRS, Marseille

Je vais vous présenter un résumé des expériences d'interactions entre le cerveau et la machine. Quand quelque chose est détruit entre le système nerveux et le monde extérieur, on peut créer des ponts sensoriels ou moteurs pour ramener l'information du second vers le premier ou pour utiliser l'information encodée dans le premier pour la renvoyer vers le second. Il convient pour cela de mesurer ces données du monde extérieur, et de les injecter dans le système nerveux central, ou bien le contraire. Ce travail est complexe, car il fait appel à un ensemble de spécialités. Pour injecter l'information dans le monde extérieur, on peut souvent faire appel à la robotique ; pour mesurer des paramètres physiques du monde extérieur, il faut recourir à la psycho-physique ; pour injecter des informations dans le système nerveux central, on utilise des stimulations électriques centrales ou périphériques ; par des enregistrements électro-physiologiques, on peut mesurer des informations dans le cerveau.



Frédéric Chavane

Comment injecter et mesurer les messages du tissu nerveux ? Pour répondre à cette question, je prendrai l'exemple d'une personne qui doit attraper une balle lancée. L'information visuelle qui arrive dans la rétine, est projetée dans le cortex visuel primaire. Ces données sont ensuite envoyées au cortex moteur et les coordonnées visuelles sont transformées en coordonnées motrices afin de déplacer le bras dans la bonne direction. Le message central est ensuite transmis à la moelle épinière pour déplacer le bras.

Il est possible d'intervenir à différents étages le long de ce circuit sensori-moteur. Chez une personne ayant des troubles de la vision, il est possible d'implanter des rétines artificielles ; on peut aussi injecter des informations au niveau du cortex visuel primaire ; on peut extraire des données du cortex moteur à l'aide de grilles d'électrodes et les transmettre à un robot ; on peut enfin intervenir au niveau de la moelle pour récupérer des informations issues des nerfs qui ne sont pas encore lésés et les transmettre à un robot.

On connaît suffisamment bien le cerveau pour injecter/mesurer des informations en implantant des électrodes au bon endroit. Pour récupérer celles issues du cortex moteur ou sensori-moteur, on peut profiter de son organisation cartographique bien connue : les neurones sensibles pour différentes parties du corps sont regroupés de manière ordonnée au sein de la région sensori-motrice.

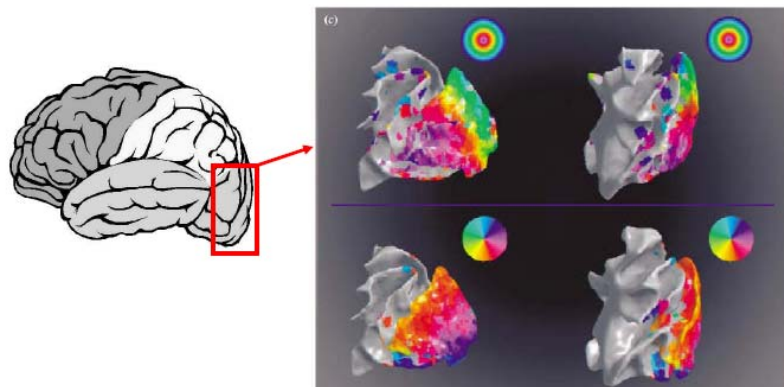
Que faut-il injecter et mesurer ? Doit-on connaître le code neuronal pour faire interagir le système nerveux central avec un robot ? Lorsque les neurones « parlent » d'un même objet, ils utilisent à la fois un code de fréquence et un code temporel. Les bases logiques de ces différents codes sont actuellement suffisamment identifiées pour être utilisées.

Les travaux sur les interactions entre l'Homme et la machine font généralement intervenir des singes car ces animaux, proches de l'homme, sont facilement entraînés. Lorsqu'on

implante les électrodes au niveau du cortex moteur, du cortex sensorimoteur ou du cortex pré-moteur, on extrait les informations de milliers de neurones choisis en fonction de leur localisation cérébrale. Il est ensuite nécessaire de créer un algorithme qui utilise à la fois le code de fréquence et le code temporel, afin de préparer, par exemple, le bras à une information cohérente. Pour que les interactions cerveau-machine soient opérationnelles, il faut d'abord que l'état initial soit proche d'un état fonctionnel - cela est réalisable grâce à nos connaissances sur les codes neuronaux. Il faut ensuite opérer un apprentissage qui va permettre au cerveau de trouver graduellement la bonne solution.

Par exemple, un animal doit déplacer, à l'aide d'un manipulateur, un pointeur en direction d'une cible ; il obtient un jus de fruits lorsqu'il réussit. Pour effectuer ce mouvement avec un bras artificiel, les premiers mouvements incohérents mais pas totalement désordonnés devront être affinés par une phase d'apprentissage. Ensuite, le singe pourra manœuvrer ce bras artificiel pour bouger le manipulateur par la pensée.

Les rares applications faites chez l'Homme ont été menées chez des patients atteints du "*locked-in syndrome*". Un dispositif électronique composé de 96 électrodes est implanté dans le cortex moteur du patient. Elles récupèrent des informations qui redonnent au patient la capacité de communiquer, de se déplacer, etc.



Extrait du diaporama F. Clarac/ F. Chavane

Organisation rétinotopique du cortex visuel, figure transformée à partir de Logothetis N., Philos Trans R Soc Lond 2002

Cependant, il existe d'autres méthodes moins invasives et plus pragmatiques. L'une d'elles, qui me paraît probante, utilise l'électro-encéphalographie. Des électrodes de surface permettent, à travers le scalp, de mesurer l'activité nerveuse. Pour certaines propriétés, l'activité électro-encéphalographique peut s'avérer intéressante à repérer. La P300 est un signal que l'on peut enregistrer dans le cerveau à chaque fois que quelque chose de nouveau, d'incohérent ou de désiré survient. Par exemple, lorsqu'un patient observe des matrices de lettres et en désire une en particulier, la P300 est émise à chaque fois que la lettre choisie apparaît dans la bonne ligne ou sur la bonne colonne. Cette technique lui permet d'écrire. Cette technologie pragmatique et non invasive ne fait pas appel au code neuronal mais utilise des propriétés connues d'expression du système nerveux. Cette technologie simple peut également permettre de déplacer une chaise roulante. Il n'est donc pas nécessaire d'attendre dix ans pour pouvoir utiliser ces méthodologies d'interaction cerveau-machine. L'analyse de l'ensemble des données existantes suscite un réel espoir à court terme, notamment grâce à l'électro-encéphalographie, et à plus long terme, grâce à la récupération d'informations dans le système nerveux central et à leur transmission vers un robot.