

Quand le cerveau et la machine communiquent

Neïb Ouakel, Larry Lam, Marc Linsi, Thomas Robert

Etudiants en ingénierie des médias, 1^{ère} année, HEIG-VD

En 1924, le psychiatre allemand Hans Berger enregistre pour la première fois de l'histoire l'activité électrique du cerveau humain. L'électro-encéphalographie (EEG) était née. Presque un siècle plus tard, les appareils de mesures ont techniquement évolué; au point où cerveau et machine sont capables de communiquer directement grâce à une interface neuronale directe (IND, ou BCI pour Brain Computer Interface).

Contrôle de robots par la pensée, communication télépathique, guérison de paraplégiques, ... Les frontières entre science-fiction et réalité se floutent. Quelles sont donc les véritables possibilités actuelles et que nous promet l'avenir ?

I. FONCTIONNEMENT

Le cerveau accueille un vaste réseau de plusieurs milliards de neurones qui communiquent entre eux, entre autre, par l'envoi de signaux électriques. En plaçant un électrode proche d'un neurone, il est donc possible d'en récupérer l'émission électrique. Plus on est proche du signal émis, mieux on peut le capter; et donc l'interpréter.

Selon la fréquence interceptée, on peut en déduire le domaine d'application. Par exemple, les ondes alpha, premières à avoir été identifiées par Hans Berger grâce à leurs grandes amplitudes, se manifestent lorsque la personne enregistrée éveillée ferme les yeux et se relaxe.

Il existe deux approches différentes pour lire les activités du cerveau. La première est la méthode invasive. Elle consiste à placer les électrodes sous le scalp; ou plus extrême encore, directement sous la boîte crânienne. Surtout utilisée en médecine dans le traitement de l'épilepsie, l'opération permet d'analyser les régions suspectes étant à l'origine des crises.

L'avantage d'un dispositif invasif est qu'il est plus proche des neurones, ce qui rend l'interception des signaux fine et précise. L'inconvénient bien sûr est toute l'opération chirurgicale qui en découle. Coûteuse, chronophage, elle peut engendrer des cicatrices qui affaiblissent les signaux, mais également des complications médicales due à l'intrusion d'un corps étranger dans le cerveau.

La deuxième méthode est dite non invasive. Elle consiste à enregistrer les impulsions électriques provenant de l'épiderme. Plus les électrodes sont posées proches de la peau, plus le signal sera précis. Cette méthode reste bien entendu moins efficace que la première, mais elle limite les coûts et opérations médicales fastidieuses.

Pour qu'une communication entre l'homme et la machine s'établisse, une traduction du "langage cérébral" en "langage informatique" est nécessaire. Pour cela, l'utilisateur nécessite un temps d'adaptation pour mieux contrôler le support électronique en sortie. Il est actuellement courant d'avoir recours à l'intelligence artificielle et au *machine learning* en vue d'améliorer la communication.

II. CHAMPS D'APPLICATION

Les BCIs ont d'abord servi à la recherche, notamment en 1969 où des singes étaient utilisés afin de mieux comprendre le fonctionnement du cerveau. Bien que les découvertes ont servis ensuite à des utilisations concrètes en médecine, c'est d'abord dans le domaine de l'art que ce type d'appareil a été exploité. En effet, l'un des premiers exemples d'une interface cerveau-machine fonctionnelle est la pièce *Music for Solo Performer*, composée par Alvin Lucier en 1965. Des instruments de percussion acoustique étaient actionnés par un système électromécanique relié à l'activité cérébrale de l'interprète; il fallait produire des ondes alpha et ainsi "jouer" les différents instruments.

Dans les années 1970, une utilisation militaire est envisagée par l'agence pour les projets de recherche avancée de défense américaine (ou DARPA pour *Defense Advanced Research Projects Agency*). L'utilisation ici serait directe, cerveau à cerveau, pour permettre aux soldats sur le terrain de communiquer sans émettre le moindre son. Un projet qui prend beaucoup de sens quand on apprend que le DARPA y a investi à investir des dizaines de millions de dollars. [8] [Fig.1]

C'est en 1977 qu'une utilisation technique informatique se fait. Le professeur Jacques Vidal, père du terme BCI, mit au point un système qui interprète les signaux pour faire bouger de façon rudimentaire un curseur sur un écran d'ordinateur. Puis en 1988, un nouveau type d'ondes cérébrales (P300) est utilisé pour l'utilisation d'un clavier: la possibilité d'écrire par la pensée se dessine.

La même année les premières utilisations dans la robotique entrent en scène: un appareil avançant sur un rail pouvait être stoppé et mis en marche par la pensée. Puis en 2008, NeuroSky, une compagnie centrée sur le développement de BCI, s'associe avec Square Enix, une des plus grosse entreprise de production de jeux vidéos. Ils annoncent alors travailler ensemble sur Judecca, un jeu vidéo jouable par la pensée. Les portes s'ouvrent sur le monde du jeu vidé.

III. OFFRES

Les services et la qualité des BCI dépendent surtout de la complexité technique et du prix. Les casques les moins chers ont un nombre d'électrodes limité, en nombre et puissance, et proposent donc des services qui ont besoin de peu d'informations directes de la part du cerveau.

Il est tentant de se dire qu'une telle technologie n'est accessible que par des laboratoires de recherches, utilisés par des experts en la matière. Et pourtant, au début des années 2000, The OpenEEG Project est créé par une équipe d'ingénieurs et de neuro-techniciens, donnant la possibilité à n'importe qui de créer chez soit un prototype fonctionnel pour un prix moyen de 300\$. Une quinzaine d'années plus tard, les premiers schémas d'EEG pour imprimante 3D sont disponibles pour environ 100\$. Bien entendu, ces projets libres de droits permettent de récolter des données limitées en précision.

NeuroSky, Muse, Emotiv et d'autres proposent des périphériques d'entrée de gamme allant de 100 à 1'000 euros. Emotiv dispose d'une offre variée qui permet de simplement capter quelques signaux à but de recherche jusqu'à des casques à 14 capteurs qui permettent d'affiner les résultats obtenus. Emotiv propose également divers logiciels accessibles par abonnement. Muse et Neuralink se consacrent au contrôle de la santé, du cycle de sommeil et à la méditation.

Des appareils variant de 1'000 à 25'000 dollars offrent des possibilités plus étendues. Les chercheurs peuvent alors pousser l'analyse plus loin en captant des ondes de façon plus précise. Ces ondes, créées en fonction de l'activité cérébrale reflètent les activités humaines principales. Par conséquent, ces casques permettent de capter des signaux relatifs aux mouvements du corps. Les utilisations sont variées et multiples: contrôle continu du sommeil chez des patients (Advanced Brain Monitoring), recherche médicale (euroelectrics, AntNeuro, Wearable Sensing), médico-sportive (G.tec), etc.

Des offres au-delà de 25'000 dollars existent, les casques atteignant un niveau extrême de technologie capables de séparer les électrodes en groupes distincts. Cela permet alors d'analyser séparément les données avec grande une précision.

IV. PERSPECTIVE D'AVENIR

Avec une telle technologie, les possibilités futures semblent infinies si on ne se fie qu'à notre imagination. Mais plutôt que de spéculer sur l'avenir, voyons ce que nous réservent les BCIs au travers des acteurs principaux. Prenons comme cas d'étude l'entreprise Neuralink, l'un des - si ce n'est l'acteur principal dans le domaine. Entreprise créée en 2016, elle se spécialise dans la neurotechnologie et plus précisément le développement de BCI.

Ce sont les objectifs médicaux qui sont principalement considérés: les premières personnes à pouvoir tester les

appareils Neuralink seront des patients souffrant de quadriplégie due à des lésions de la moelle épinière. L'entreprise pourrait aider les personnes souffrant de troubles neurologiques qui ont pour origine l'incapacité du cerveau à se connecter aux nerfs du corps. En bref, les personnes paralysées pourraient à nouveau bouger; mais également les muets pourraient se mettre à parler, les aveugles à voir, les sourds à entendre...

Son fondateur, Elon Musk (Tesla, SpaceX), croit en l'avancée massive de l'intelligence artificielle (IA). Sa vision est pessimiste à ce propos et c'est l'une des raisons de la création de Neuralink: rendre le cerveau humain plus compétitif face au futur de l'IA. Là est le second objectif de l'entreprise: l'humain amélioré.

Les électrodes, plus fines encore qu'un cheveu, seront implantées directement dans le cerveau des patients, reliées à une puce qui enverra l'information finale à un boîtier placé derrière l'oreille. Ce dernier transmettra les données à une application mobile qui permettra à l'utilisateur de contrôler téléphone, souris, clavier, ordinateur... [Fig. 2][Fig. 3]

V. ÉTHIQUE

À l'heure où la vie privée est au coeur des préoccupations, l'arrivée d'une technologie aussi intrusive soulève beaucoup de questions morales. Un appareil relié à notre cerveau en permanence est potentiellement capable d'envoyer des données privées, confidentielles et intimes. Si vous êtes dérangés par l'idée que Facebook vous propose des publicités ciblées en écoutant vos conversations à travers le micro de votre téléphone portable, imaginez l'apparition d'annonces avant même que vous n'ayez prononcé le moindre mot. Avant de pouvoir mettre à disposition une telle technologie, des règles morales et des lois d'éthique devront donc être décidées et imposées.

RÉFÉRENCES

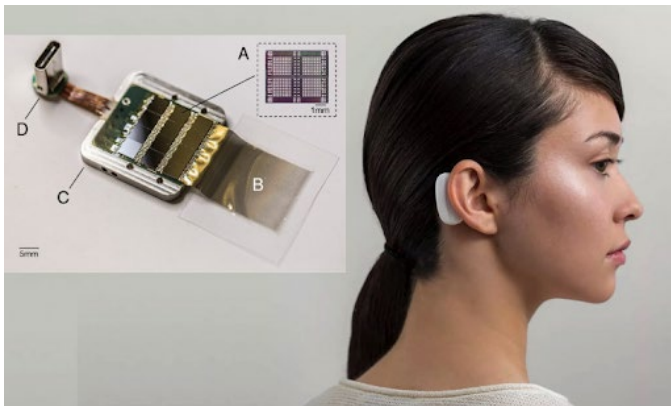
- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Brain%E2%80%93computer_interface
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography>
- [3] <https://www.engadget.com/2008-10-09-brains-on-with-neurosky-and-squareenixs-judecca-mind-control-ga.html>
- [4] <https://interestingengineering.com/downloading-the-human-brain-to-a-computer-elon-musks-neuralink>
- [5] <https://www.sciencealert.com/brain-to-brain-mind-connection-lets-three-people-share-thoughts>
- [6] <https://siecledigital.fr/2019/07/17/neuralink-cerveaux/>
- [7] <https://in-training.org/future-brain-computer-interface-technology-15655>
- [8] <https://www.technologyreview.com/s/614495/us-military-super-soldiers-control-drones-brain-computer-interfaces/>
- [9] <https://interestingengineering.com/downloading-the-human-brain-to-a-computer-elon-musks-neuralink>
- [10] <https://heig.ch/1bOy9>
- [11] <https://heig.ch/D3dr2>

- [12] <https://heig.ch/kJoa5>
- [13] <https://www.zdnet.com/article/type-with-your-mind-weve-achieved-a-first-in-brain-computer-research-says-facebook/>
- [14] <https://www.zdnet.com/article/facebooks-mind-reading-tech-startup-deal-could-completely-change-how-we-control-computers/>
- [15] <https://www.zdnet.com/article/elon-musks-mind-reading-technology-could-be-about-to-take-a-big-leap-forward/>
- [16] <https://heig.ch/Zo19o>
- [17] <https://in-training.org/future-brain-computer-interface-technology-15655>

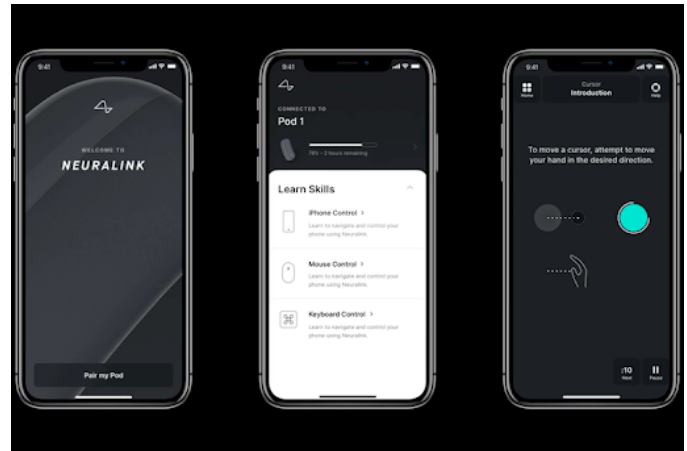
ILLUSTRATIONS



[Fig. 1] Utilisation armée américaine.



[Fig. 2] Exemple de l'implant de Neuralink



[Fig. 3] Concept interface utilisateur de l'application Neuralink