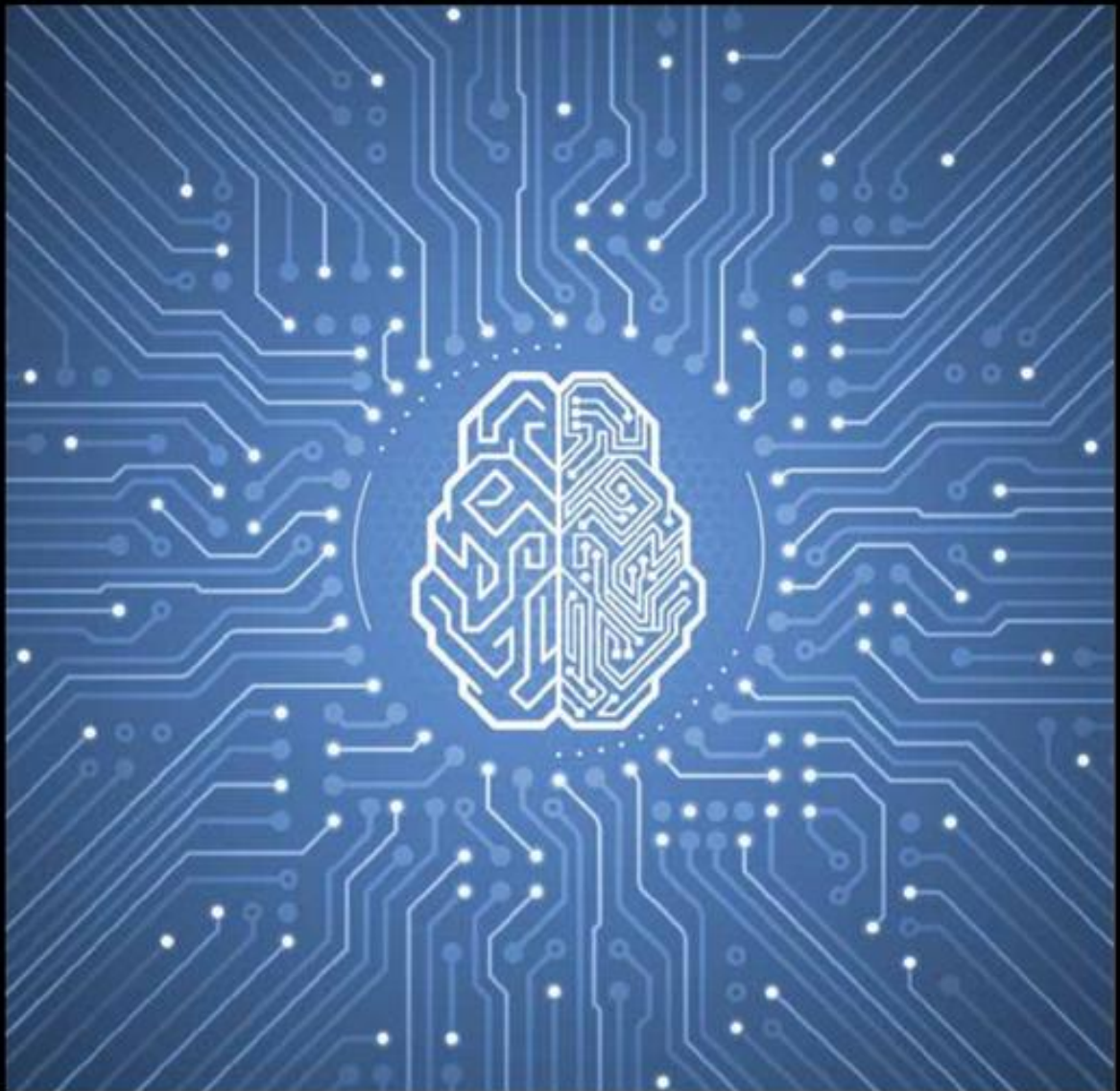


interface cerveau-ordinateur ondes cérébrales casque EEG interface cerveau-ordinateur
contrôle contrôle interface cerveau-ordinateur ondes cérébrales jeux vidéo
casque EEG jeux vidéo contrôle neurofeedback casque EEG neurofeedback
ondes cérébrales neurofeedback jeux vidéo

L'interface cerveau-ordinateur : futur des jeux vidéo ?

Anton Nijholt



Abstract

Brain-computer interfacing: the future of video games?

Communication activity in the brain goes with changes in electrical activity (voltage differences) and oxygen flow. These changes can be measured and located: that make it possible to translate them to appropriate commands to devices, robots or avatars, or to control a cursor on a laptop screen. Dedicated mainly to the medical domain in the past, brain-computer interfacing (BCI) applications are nowadays introduced for the general population in artistic, entertainment, and domestic domains. Some projects such as OpenViBE² focused on the application of BCIs in video games.

Keywords: brain-computer interfacing, brain waves, video games, EEG headsets, neurofeedback

Et si l'on utilisait les échanges électriques existant entre les neurones, ou plus précisément leurs signaux électriques enregistrables et mesurables, afin de contrôler un ordinateur ? Plus besoin de bouger les bras, les mains ou les jambes, l'interface cerveau-machine ou cerveau-ordinateur prend le relais ! Les applications se développent ainsi, s'ouvrant aux domaines artistiques et du divertissement, notamment des jeux vidéo, après avoir initialement été utilisées dans le champ médical.

Manipulation d'ondes cérébrales et interface cerveau-ordinateur

En 1929, le neurologue allemand Hans Berger évoqua, suite aux expériences qu'il menait, une écriture de l'activité électrique cérébrale. Notre cerveau émet des signaux qu'il est possible de mesurer, l'électroencéphalogramme désignant leur transcription sous forme d'un tracé. À partir de cela, des recherches furent conduites, qui permirent peu à peu de décrire différentes fréquences d'ondes cérébrales et leur lien avec l'activité humaine et, plus tardivement, avec les régions et fonctions du cerveau. Au début des années 1960, Joe Kamiya rapporta une expérimentation qu'il avait réalisée, au cours de laquelle il avait demandé aux participants de manipuler leur activité cérébrale, par exemple en se relaxant ou en se concentrant sur une alerte spécifique¹. Être ainsi capable de contrôler les ondes cérébrales stimula l'imagination de certains : nous pouvons ainsi citer l'exemple des compositeurs John Cage et David Rosenboom². Ce dernier joua avec John Lennon et Yoko Ono lors d'un show télévisé en 1972 au cours duquel l'auto-manipulation de leur propre activité cérébrale fit partie de leur performance musicale.

Si les artistes ont très tôt exploité cette technologie afin de produire des musiques commandées au niveau cérébral, il ne fut reconnu, que plus tardivement, que la production consciente de variations de l'activité cérébrale pouvait être utilisée à des fins de commande d'équipements informatiques. En 1973, le chercheur belge en sciences informatiques Jacques Vidal écrivit un article dans lequel il intégrait le concept d'interface cerveau-ordinateur (ICO) (*Brain-computer interfacing*, BCI)³. Il posait notamment cette question : « Pourrions-nous utiliser les signaux cérébraux électriques observables comme des transporteurs d'information en communication humaine-ordinateur afin de contrôler des appareils externes telles que des prothèses médicales ou des astronefs ? » Il évoquait également des stimulations sensorielles rendant possibles à la fois la mesure des préférences des utilisateurs et l'utilisation des réponses ou réactions obtenues. Plusieurs années plus tard, apparurent des recherches où les utilisateurs de ces applications ICO avaient un rôle plus actif en termes de commande. Il ne s'agissait plus simplement de mesurer l'activité cérébrale électrique provoquée par des stimuli externes, mais de la manipuler. Au-delà de jouer sur la relaxation ou la concentration, l'idée était de provoquer la réalisation ou l'imagination d'un cer-

tain mouvement (par exemple, imaginer déplacer sa main de la gauche vers la droite) ou d'une émotion spécifique. L'aspect visualisation interne-imagination d'un mouvement était particulièrement exploité chez des personnes handicapées physiques, notamment, afin de leur permettre de contrôler une prothèse ou de se déplacer en fauteuil roulant. Cela explique que les premières grandes applications d'interface cerveau-ordinateur furent principalement dédiées au domaine médical. Mais dans les dernières années, elles ont été introduites dans de nouveaux secteurs, à destination d'un plus large public. Certes, ce ne sont pas encore des applications phares, et il est encore rare qu'elles sortent des laboratoires de recherche. Mais nous les retrouvons dans les champs artistiques⁴, de divertissement⁵ – notamment les jeux vidéo – et d'applications domestiques. L'interface cerveau-ordinateur est devenue une forme complémentaire de communication avec les équipements informatiques intelligents, laquelle se réalise bien souvent avec d'autres types de communication tels que l'utilisation de clavier, d'écran tactile ou de commande vocale. Il convient de noter cependant qu'il n'est pas toujours évident d'imaginer par exemple un mouvement : un entraînement peut s'avérer nécessaire pour



Figure 1 - Un casque portable (Epoq/Emotiv Systems)



Figure 2 - Joueur de World of Warcraft utilisant à la fois un clavier et l'ICO



Figure 3 - Deux étudiants utilisant l'ICO pour jouer à un jeu collaboratif



Figure 4 - Jeu de navigation spatiale avec ICO

que cette visualisation interne soit efficace, et que les signaux électriques la traduisent effectivement. Certaines personnes peuvent également s'avérer « analphabètes » en la matière : même en exerçant beaucoup leur cerveau, elles ne parviennent pas à transmettre ou donner des commandes à l'interface cerveau-ordinateur. Les recherches sur ce déficit sont encore à un stade très émergent : une des voies est l'exploration du lien entre ICO et capacité de contrôle de l'attention, une autre est la variation des fréquences des signaux cérébraux... mais au stade actuel, ce ne sont que de simples hypothèses !

Au service de la commande d'application

La mesure de l'activité cérébrale implique le traitement de signaux réalisés par des ordinateurs, d'où la notion d'interface cerveau-ordinateur. Il est désormais possible de se reposer sur des équipements d'électroencéphalogramme (EEG) portables, soit des casques fonctionnant grâce à des électrodes - beaucoup moins contraignants que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Ceux-ci sont placés sur le crâne à des positions stratégiques et permettent de transmettre des informations en temps réel sur ces ondes. Leur résolution spatiale n'est pas parfaite, les données étant floutées par le fait que les électrodes doivent passer à travers le crâne et les différentes strates du cerveau. Néanmoins, ils permettent de détecter et d'interpréter les activations et de transmettre aux utilisateurs des rétro-informations ou retours (principe du *neurofeedback*). Dans les applications commerciales, douze à seize électrodes sont utilisées (*versus* trente-deux à cent vingt-huit dans le cadre des recherches). Mais un nombre limité d'électrodes s'avère suffisant à une application particulière, notamment, dans les jeux vidéo. Qui plus est, ces casques permettent une grande mobilité : il n'y a pas de câble (voir figure 1) et l'activité cérébrale est transmise sans fil à l'ordinateur, traitée, puis utilisée dans l'application.

Les variations d'ondes électriques se produisant dans notre cerveau s'expliquent par les changements perceptuels dans notre environnement, par nos prises de décision, nos actions, mais aussi par les propres potentielles manipulations que

nous opérons. Actuellement, il existe des équipements commerciaux les mesurant ainsi que des algorithmes informatiques gérant le traitement des signaux cérébraux et capables de filtrer ceux nous intéressant en éliminant les perturbateurs... une technique se révélant utile, notamment dans le contexte des jeux.

Mais en quoi consistent justement ces applications ICO liées aux jeux vidéo ? Dans des environnements ludiques, et grâce au casque EEG, il peut vous être par exemple « demandé » de vous relaxer (la charge cérébrale mesurée étant élevée), afin que votre voiture de course virtuelle aille plus vite que celle de votre adversaire. Le simple fait d'imaginer les mouvements de votre main peut également permettre de piloter un curseur vers la droite ou la gauche. Il devient aussi possible d'activer une commande spécifique rien qu'en se focalisant sur une action à accomplir. Tout cela peut se faire grâce à l'analyse en temps réel de l'activité cérébrale et la traduction en commande pour l'ordinateur.

Le projet OpenViBE2

Un des grands projets existant en matière d'interface cerveau-ordinateur est celui, français, d'OpenViBE2, mené entre 2009 et 2013 et financé notamment par l'Agence nationale de la recherche. Le consortium de partenaires impliqués est parvenu, lors de la première phase de recherche menée entre 2005 et 2009 à créer un logiciel, au nom éponyme d'OpenViBE, qui constitue une véritable « interface » conçue pour traduire ce qui se déroule dans le cerveau en commande informatique. En réalisant un tel support, de nouvelles perspectives s'ouvrent, notamment en matière de jeux vidéo.

Rassemblant aussi bien des laboratoires de recherche (notamment l'Inserm, l'Inria et le CEA), des industriels du jeu vidéo comme Ubisoft et des spécialistes des usages et du transfert, des prototypes innovants ont ainsi été mis au point, appliquant ainsi les technologies cerveau-machine dans un contexte bien particulier. La commande mentale ouvre en effet de nouvelles voies en matière de jeux vidéo, au-delà des commandes gestuelles existantes. En utilisant l'état mental analysé et les réponses cérébrales des joueurs, on peut rendre possible des interactions avec un jeu comme d'adapter

les contenus de ce dernier. Autrement dit, les ICO apparaissent ici comme des dispositifs complémentaires aux autres moyens de jouer (par exemple, le joystick, la souris) : le joueur peut mobiliser ainsi son activité cérébrale au service de son jeu (voir figure 2) tout en utilisant sa souris.

Quels sont les nouveaux concepts ayant émergé ? Un d'entre eux est l'interface cerveau-ordinateur « multi-joueurs », appliquée dans le cadre de jeux de collaboration ou de compétition : non seulement les activités cérébrales des joueurs jouent un rôle, mais plus précisément elles sont analysées en même temps⁶. Lorsque les joueurs sont en compétition, elles sont comparées ; en collaboration (voir figure 3), leur activité se combine, l'idée étant que leur synchronisation est nécessaire. Cela peut être utilisé, par exemple, dans un jeu de football (Brain Arena) ou bien encore pour naviguer un vaisseau spatial dans un simulateur⁷ (voir figure 4). A été également testée la modification de l'environnement virtuel en fonction de l'état mental des joueurs : par exemple, lorsque ces derniers se retrouvent en difficulté, ce qui se manifeste par une charge mentale élevée, des aides peuvent se trouver proposées. Au niveau des prototypes développés, on peut citer Cocoto Brain dans lequel les joueurs doivent user de leurs capacités cérébrales pour se concentrer sur des cibles, seule manière de les neutraliser ; Brain Invaders, dont le but est de détruire un vaisseau caché parmi d'autres : le cerveau doit réagir à un stimulus particulier pour y parvenir⁸ ; ou encore, BCI Training Center, jeu d'entraînement cérébral visant, par exemple, à trouver des mots dans une grille et adapté, en temps réel (grâce au casque EEG), au niveau de concentration du joueur. Les *serious game* n'échappent pas à l'ICO : en combinaison avec des lunettes d'immersion, une application a ainsi été pensée pour les enfants ayant des troubles de l'attention et devant les aider à développer leur capacité de concentration.

Ces projets de recherche sont ambitieux : si des casques EEG sont d'ores et déjà disponibles et d'un prix bien plus réduit que ceux utilisés en laboratoire, il demeure encore nécessaire d'améliorer à la fois leur coût financier, leurs performances et ergonomie afin qu'ils puissent faire partie du quotidien des joueurs... De même

importe-t-il de penser ou de repenser des jeux vidéo permettant d'utiliser au mieux la commande cérébrale.

En conclusion

Il y a une dizaine d'années encore, les applications interface cerveau-ordinateur n'obtenaient d'intérêt que de la part de chercheurs et de praticiens du domaine médical. Cela a bien changé. Dans les feuilles de route émises par la Commission européenne, des prévisions réalistes ont été faites relativement à l'utilisation de l'ICO dans les décennies à venir au sein de la population générale. Certaines industries proposent des casques d'application d'ICO à un prix peu coûteux et des boîtes à outils permettant de développer ces applications. Les artistes, médias et concepteurs de jeux vidéo utilisent ce genre de produits. Des créateurs ont recours à des imprimantes 3D pour fabriquer leur propre casque... Nous retrouvons un peu le même phénomène que lorsque, dans le début des années 1980, on voyait se développer des ordinateurs dans des garages. D'importantes entreprises de média montrent de l'intérêt pour ces applications : Facebook engage des ingénieurs spécialisés dans l'ICO, IBM envisage des ordinateurs capables de lire dans les pensées, etc. Le chef d'entreprise et ingénieur Elon Musk, connu pour ses initiatives en matière de voyage dans l'espace et le développement de voitures autonomes, a récemment monté une entreprise dédiée à l'investigation des interfaces cerveau-ordinateur⁹... Même si, aujourd'hui, les développements réalisés en matière d'interface cerveau-ordinateur ne répondent pas aux attentes actuelles, nous pouvons affirmer que les tentatives de trouver des applications qui y souscrivent et seront destinées à la population générale se révéleront fructueuses.

1. Kamiya, J., (1968) Conscious control of brain waves. *Psychology Today*, 1(1): 56-60.
2. Rosenboom, D., (Ed.) (1975) *Biofeedback and the arts: results of early experiments*. Vancouver: Aesthetic Research Centre of Canada.
3. Vidal, J.J., (1973) Toward direct brain-computer communication. *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, 2: 157-180.
4. Wadson, A., Nijholt, A., Nam, C.S., (2015) Artistic brain-computer interfaces: Current state-of-art of control mechanisms. *Brain-Computer Interfaces*, 2(2-3): 70-75.
5. Nijholt, A., Flass-Oude Bos, D., & Reuderink, B.,

(2009) Turning shortcomings into challenges: brain-computer interfaces for games. *Entertainment Computing*, 1(2): 313-335.

6. Nijholt, A., (2015) Competing and collaborating brains: multi-brain computer interfacing. In Hassanine, A.E., & Azar, A.T., (Eds) *Brain-Computer Interfaces: Current trends and Applications*. Cham: Springer International Publishing Switzerland, p. 313-335.
7. Poli, R., et al., (2013) *Towards cooperative brain-computer interfaces for space navigation. Proceedings of the 2013 international conference on Intelligent user interfaces (IUI '13)*. New York: ACM, p. 149-159.
8. Andreev, A., Bazachant, A., Lotte, F., Congedo, M., (2016) Entertainment applications with OpenVIBE: Brain Invaders and User-the-Force. In Clerc, M., Bougrain, L., Lotte, F., (Eds) *Brain-Computer Interfaces 2: Technology and Applications/Les interfaces cerveau-ordinateur 2*. London: ISTE-Wiley.
9. Regalado, A., (2017) The Entrepreneur with the \$100 Million Plan to Link Brains to Computers. *MIT Technology Review*. www.technologyreview.com/s/603771/the-entrepreneur-with-the-100-million-plan-to-link-brains-to-computers/

Anton Nijholt est professeur associé en sciences de l'informatique au sein de l'Université de Twente (Pays-Bas) et chercheur international à l'Institut d'imagerie d'Iskandar (Malaisie). Spécialiste des interfaces hommes-ordinateurs, cerveaux-ordinateurs, des environnements intelligents et de l'informatique de divertissement, il a participé à un certain nombre de projets européens et allemands sur l'interface cerveau-ordinateur.

Bibliographie

- Tan, D.S., & Nijholt, A., (2010) Brain-computer interfaces and human-computer interaction. In Tan, D.S., & Nijholt, A., (Eds.) *Brain-computer interfaces. Applying our minds to human-computer interaction*. London: Springer, p. 3-19.
- Brunner, C., Birbaumer, N., Nijholt, A., et al., (2015) BNCI Horizon 2020: Towards a Roadmap for the BCI Community. *Brain-Computer Interfaces*, 2(1): 1-10.
- Nijholt, A., (Ed.) (2015) *More playful user interfaces, interfaces that invite social and physical interaction*. Berlin: Springer.
- Nijholt, A., (2016) The future of brain-computer interfacing. *5th international conference on informatics, electronics & vision (ICIEV) Dhaka, Bangladesh. IEEE Computer Society*. 156-161.