



HAL
open science

Émersions sensorielles

Jérémy Frey

► **To cite this version:**

Jérémy Frey. Émersions sensorielles. CORPS : Revue Interdisciplinaire, 2016, Le Corps du Rock et Arts immersifs, 13. hal-01288542

HAL Id: hal-01288542

<https://inria.hal.science/hal-01288542>

Submitted on 15 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Émersions sensorielles

Jérémy Frey

CORPS – Les Arts Immersifs

Nous avons pris l'habitude d'interagir avec les outils numériques via un clavier, une souris, ou bien encore une surface tactile. Notre corps peut pourtant s'exprimer sur une gamme autrement plus large. Dernièrement de nouveaux types d'interfaces ont vu le jour, qui utilisent l'activité cérébrale. Si cette technologie ne permet pas de miracles – comme nous le comprendrons après en avoir parcouru les arcanes – elle offre une autre façon de communiquer, avec la machine ou entre nous.

Ambiance

Une cacophonie. Des milliers de voix qui vous parviennent, chacune avec son propre langage. Et à l'intérieur de ce flot sonore continu vous cherchez désespérément à saisir l'ordre qui vous est destiné.

Vous voici à la place de la machine quand une « interface cerveau-ordinateur » est impliquée. Ce terme désigne tout dispositif permettant de faire communiquer des informations entre le système nerveux et le système informatique. On trouve souvent dans la littérature scientifique l'emploi de l'acronyme anglais « BCI », pour « brain-computer interface ». Avant de nous pencher sur les utilisations qui peuvent être faites des BCI, notamment dans le milieu artistique et créatif, nous allons d'abord en comprendre le fonctionnement, en définir les limites et la portée.

Ici « ordinateur » s'entend au sens large. Il ne s'agit pas seulement de la (plus ou moins) grosse machine posée sur votre bureau. Les BCI permettent d'interagir avec tout le matériel informatique, depuis la tablette tactile jusqu'aux prothèses motorisées en passant par la voiture connectée. Grâce aux communications en réseau, les BCI s'affranchissent de la notion de distance. Il est envisageable de piloter un robot situé à l'autre bout de la planète grâce à un BCI. Au sens strict, les BCI utilisent uniquement l'activité cérébrale ; c'est-à-dire l'activité produite par le système nerveux central. Ce qui se trouve dans la boîte crânienne et rien d'autre. Comment faire alors pour mesurer les signaux émis par les neurones ?

Phonographes

Il existe plusieurs techniques, dites « d'imagerie cérébrale », pour sonder le fonctionnement du cerveau. Si ce dernier recèle encore bien des secrets, on connaît de mieux en mieux le fonctionnement des neurones, ces cellules qui détiennent le premier rôle dans notre théâtre intérieur. Comme toutes les autres cellules de notre corps, l'oxygène sert d'intermédiaire dans leur approvisionnement en énergie. Une de leurs particularités tient dans le fait qu'ils échangent des messages entre eux par le biais de stimulations électriques. Oxygène et électricité : voici les deux traces qui vont permettre à la machine de remonter jusqu'à l'origine de l'information et de se faire une idée de son sens.

Il est plus facile de mesurer une activité électrique en positionnant les instruments au plus près de la source du signal. Dans notre cas : placer des électrodes au contact du cerveau ou bien encore *dans* le cerveau. Cela est d'ores et déjà utilisé chez l'Homme dans un cadre clinique bien précis. Les techniques d'analyse de l'activité cérébrales qui nécessitent une intervention chirurgicale sont dites « invasives ». Elles permettent d'avoir un enregistrement précis d'une population restreinte de neurones.

Les zones du cerveau qui permettent de commander aux muscles ont été finement cartographiées. C'est pourquoi le système moteur est souvent utilisé par les BCI. De par notre constitution ou notre expérience, tous nos membres n'y ont pas la même représentation. Notre dextérité manuelle est liée au fait que plus de neurones codent pour les muscles de nos mains. Il est possible de savoir au centimètre près où se situe ce groupe de neurones et même, après des exercices sur la table d'opération, de distinguer les doigts entre eux.

Voilà la question latente, celle qui s'est lovée autour de nous en l'espace de deux paragraphes : actuellement et dans les années à venir, qui serait prêt à subir une opération *seulement* pour commander à un ordinateur ? Quand bien même cette personne pourrait aussi recevoir des informations en retour et devenir à cette occasion un « Maître BCI » ?

Car une « résolution spatiale » assez fine pour distinguer les doigts entre eux est impossible avec des techniques d'imagerie non invasives. Le signal n'est pas assez précis. Ce sont pourtant elles qui sont de loin les plus utilisées dans la recherche et dans le milieu médical. L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) permet bien d'obtenir une bonne résolution spatiale, mais

c'est alors au détriment de la résolution dite « temporelle ». L'IRMf est cet engin imposant que vous avez certainement déjà vu à la télévision, peut-être déjà expérimenté vous-même. Le patient s'allonge à moitié dans un étroit tunnel, la tête encerclée par la machinerie, claustrophobiques s'abstenir ! Comme des variations de débits sanguins sont mesurées, il s'écoule un délais important entre la décharge du neurone et l'enregistrement de l'activité cérébrale. Cette latence est au mieux de l'ordre de la seconde, une éternité pour les BCI. Après l'encombrement, mentionnons aussi le coût fort élevé d'un appareil que l'on trouve peu en-dehors des grands hôpitaux.

L'outil couramment utilisé dans le cadre des BCI est l'électro-encéphalographie (EEG). Tout comme l'IRMf, c'est une technique sans danger et indolore. Des électrodes sont placées au contact du cuir chevelu et permettent d'enregistrer passivement l'activité électrique se propageant depuis le cerveau jusqu'à l'extérieur de la boîte crânienne. Les barrières que doivent franchir les signaux électriques, l'os et la dure-mère notamment, en affaiblissent la tension. Le plus souvent une solution conductrice à base de gel permet d'assurer le bon contact entre les électrodes et la peau et de maximiser la qualité de la mesure. Il n'en reste pas moins que les courants mesurés sont très faibles, de l'ordre du millionième de volt. De plus, en posant les capteurs si loin du système nerveux, il devient difficile de mesurer l'activité des neurones situés en profondeurs – et presque impossible d'enregistrer celle de neurones précis.

L'IRMf et l'EEG sont des outils flexibles. Ils peuvent s'adapter suivant les besoins relatifs aux BCI et mesurer des zones différentes du cerveau sans désagréments supplémentaires. On peut tantôt se concentrer sur les aires qui gèrent le système moteur, tantôt sur les aires qui s'occupent de la vue.

Les modèles de casques EEG qu'affectionnent les laboratoires sont peu esthétiques. Ils ressemblent à des bonnets de bains où pendent une masse de fils électriques. Plus il y a d'électrodes, plus précise est l'analyse, mais plus le casque est fastidieux à installer. Des dizaines de minutes de mise en place si on pousse jusqu'à 64 ou 128 électrodes, même pour un scientifique chevronné. Heureusement des casque EEG destinés à des utilisations hors laboratoire arrivent sur le marché, avec des prix qui chutent au passage de plusieurs dizaines de milliers d'euros à quelques centaines d'euros. Ils sont moins encombrants, plus *design*, fonctionnent sans fils, sans gel, sont plus rapides à mettre en place. Si le confort côté utilisateur est grandement amélioré, les casques EEG destinés au grand public restent encore moins fiables que les

versions utilisées en recherche. Il y a des compromis à faire entre immersion et précision.

L'EEG possède une mauvaise résolution spatiale, mais il se rattrape avec une bonne résolution temporelle. Il est possible pour la machine de percevoir un changement d'activité en quelques millièmes de seconde. Cela permet à l'ordinateur d'être assez réactif pour répondre aux intentions ou aux réactions de l'utilisateur. Cela entraîne aussi une quantité importante de données à traiter, avec des groupes de neurones qui déchargent continuellement et dont les signaux se chevauchent avant d'arriver aux capteurs. Les « voix » qu'il faut essayer de comprendre.

Solfège

Maintenant que nous avons saisi le fonctionnement du matériel, nous allons pouvoir envisager les applications. Nous avons abordé comment le système moteur pouvait être mis à contribution dans les interactions homme-machine. Que nous effectuions un mouvement ou que nous l'imaginions, l'activité cérébrale est similaire. L'ordinateur peut ainsi apprendre à différencier un mouvement de la main gauche d'un mouvement de la main droite sans que ne tressaute un seul muscle d'un seul doigt. Ordonner des actions en restant parfaitement immobile, voilà un des aspects séduisants des BCI.

Nous avons de la chance, la scission entre les parties droite et gauche de notre corps se retrouvent dans les aires cérébrales. Il paraît donc facile sur le papier de différencier main gauche de main droite pour un EEG ; il suffit de voir de quel côté se produit l'activité. Excepté que dans le cerveau les courants électriques ne s'agrègent pas en un long fleuve tranquille. Quel que soit notre état de conscience, le cerveau traite de nombreuses informations en même temps, a fortiori lorsque nous sommes éveillés et en train d'essayer de contrôler un personnage sur un écran. Respiration, régulation de la température, guetter le son d'une explosion parmi les bruits environnants : autant de processus, conscients ou non, qu'enregistre *aussi* un EEG.

Pour faire taire ces échos et comprendre l'intention de l'utilisateur, le BCI va effectuer un traitement mathématique complexe. Une analogie serait d'imaginer une station radio dont on veut découvrir l'emplacement. Il faut se déplacer, mesurer la puissance du signal à plusieurs endroits, et alors par recoupement (triangulation) on peut retrouver l'émetteur. Plus l'antenne de notre poste radio

est de mauvaise qualité et plus l'émetteur devra être puissant si nous voulons capter notre musique favorite. Ce problème se retrouve avec les analyses EEG : il faut que les caractéristiques du signal cérébrale soient précisément définies pour éviter que le BCI n'interprète mal les commandes.

La situation se complique avec le nombre de commandes. Deux « classes » (main gauche vs main droite) cela passe encore, mais à partir de 3 ou 4 les performances des BCI chutent radicalement et ne deviennent guère meilleures que le hasard. Même en réduisant une interface cerveau-ordinateur à son strict minimum, en retenant une seule commande, en l'état actuel de la science aucun système n'atteint une fiabilité de 100 %. Pour deux classes une blouse blanche s'estimera satisfaite d'un score de 80% et sautera au plafond s'il dépasse les 90% – 50% représentant ici des performances identiques à l'aléatoire.

Il est fatiguant de maintenir une attention suffisante pour donner des images mentales claires au système. Penser à un mouvement sans le concrétiser n'est pas trivial. L'apprentissage, tant du côté machine que du côté humain, peut aider à mettre de l'huile dans les rouages et à améliorer les performances, mais il sera toujours nécessaire de se concentrer pour utiliser correctement des BCI « actifs », c'est-à-dire utilisant des signaux cérébraux émis intentionnellement par la personne.

D'autres types de BCI existent. Il est par exemple possible d'étudier des mécanismes réflexes. Nous abordons dès lors le royaume des BCI dits « passifs ». Dans les faits, lorsque l'on perçoit un stimulus qui sort de l'ordinaire cela se traduit par un « pic » dans l'activité cérébrale. Le temps que les sens acheminent le son d'une explosion et que les premiers filtres en détectent l'importance il s'écoule en moyenne 300 millisecondes. Et comme sur les courbes le pic est positif, cette famille de signaux a été baptisée du doux nom de « P300 ».

Cela permet à un BCI de détecter un évènement sous le seuil de la conscience et de réagir en conséquence. Dans le cadre d'une assistance à la conduite automobile, la voiture anticiperait notre coup de volant si venait à surgir un sanglier. Ou bien, dans le domaine des arts, un BCI serait capable de discriminer quels sont les stimuli dignes d'intérêt pour une personne. Par exemple quelle peinture suscite une émotion au milieu de natures plus mortes les unes que les autres.

On retrouve le terme d'« ondes cérébrales » pour désigner l'activité cérébrale. Dans bien des cas le mot « onde » n'est pas usurpé – et de justifier l'incipit

captant malicieusement l'intérêt du lecteur. Il existe en effet des neurones qui déchargent à intervalles réguliers. Dans la région occipitale, celle située en arrière du crâne, une bande de fréquence appelé « alpha » est liée au niveau d'attention. Située entre 8 et 12 hertz, la bande alpha peut être isolée sur un EEG pour en extraire les 8 à 12 oscillations par seconde auxquelles elle correspond. Plus la concentration d'une personne diminue plus l'amplitude de cette onde augmente. C'est une sorte de commutateur qui indique au reste du cerveau « R.À.S. les gars, allez vous reposer ! ».

Les informations fréquentielles sont légion au sein du système nerveux. La région occipitale est aussi étroitement liée à la vision, et une analyse spectrale des signaux EEG à cet endroit permet de dévoiler un intéressant phénomène. Si l'on montre à une personne une image qui clignote à une fréquence donnée, disons 30 fois par seconde, alors nous allons retrouver au sein de son EEG une onde qui oscille *aussi* 30 fois par seconde. Cela permet de savoir sur quels objets se porte l'attention de quelqu'un, sans qu'il ait à produire d'effort particulier pour cela. En filant la métaphore de l'émission radio, cela revient à régler son poste pour trouver la bonne station. Ce type de mécanisme existe pour d'autres sens, l'ouïe comme le toucher.

Avec cette manifestation à mi-chemin entre BCI actif et passif, nous achevons notre tour d'horizon des techniques d'analyse des signaux cérébraux. De même qu'un artiste a besoin de saisir les différences entre la gouache et le fusain, il faut connaître ses outils avant de se mettre à l'œuvre. Loin de « lire dans les pensées » comme on le lit encore trop souvent, les interfaces cerveau-ordinateur restent un outil grossier pour discerner quelques activités cérébrales bien particulières. Cela suffit pourtant à ouvrir de nouvelles voies de communication et d'interaction entre concepteur, spectateur et objet.

En scène

Dès l'initiation de son acte créatif, l'artiste peut employer les technologies liées aux BCI. Afin de proposer une œuvre dans laquelle le spectateur puisse s'immerger, il faut déjà qu'elle possède un sens pour son créateur, au moins qu'elle suscite en lui une réponse. Le « neurodesign » explore les relations entre l'objet que l'on perçoit et le cerveau, crée un dialogue entre création et esprit. C'est un moyen technologique d'extérioriser notre incarnation du monde.

L'architecte Pierre Cutellic s'est associé au scientifique Fabien Lotte pour

défricher ce nouveau domaine (Cutellic & Lotte, 2013). Ils utilisent des simulations informatiques pour générer des formes de plus en plus complexes. À chaque itération de cette approche procédurale, l'activité cérébrale associée aux différentes propositions est mesurée. Lorsqu'un événement de type P300 est détecté le système en déduit que *cette* forme particulière possède la plus forte résonance chez l'artiste. Elle est alors sélectionnée comme prototype pour de nouvelles altérations aléatoires.

Sans poser de jugement de valeur, la machine accompagne le créateur en s'aidant de son ressenti. Elle enrichit par ses suggestions le processus de travail. Les recherches actuelles portent sur des formes abstraites. On peut imaginer des applications plus poussées, par exemple utiliser ce concept en amont de la concrétisation physique d'une œuvre – architecturale au autre. Le BCI permettrait alors d'effectuer une sorte de banc d'essais pour des modèles virtuels. Une manière analogue aux ingénieurs de l'automobile, qui soumettent à des simulations informatiques les ébauches de leurs produits pour en éprouver la résistance.

Avec les P300, on peut sauter la barrière du nébuleux et entrer dans le champ de l'objectivable. Rapporté à la sphère de l'Abstrait, ceci aurait pour intéressante conséquence de bousculer les dédaigneux ne voyant rien de concret, « donc » de bon, dans ce courant. Expliciter nos réactions face à l'abstrait rend potentiellement adhérente n'importe quelle beauté autrefois libre (Kant, 1790). Non plus en opposant le rapport de l'œuvre au monde extérieur ou à la connaissance, mais en prenant par le bout de la lorgnette nos sens, qui ancrent notre monde intérieur à quelque chose de plus profond, parfois d'inné. De savoir si les BCI prouvent que partout il y a signification...

Prenons le temps de souffler. Pourquoi dans l'interlude ne pas s'émerveiller de notre cerveau en action ? Il est en effet possible de retranscrire à l'écran l'activité cérébrale mesurée par EEG (ou par d'autres techniques d'imagerie). En superposant ces informations à un modèle tridimensionnel du cerveau on obtient un retour visuel en « fausses couleurs », de la même manière que l'on rend visible dans les atlas de l'espace toutes les données glanées par les télescopes. Telle partie du cerveau va « s'allumer » en temps réel selon l'activité ou l'état mental enregistré. Cette image en direct de nos processus mentaux influencera peut-être à son tour le BCI. Et quand on remplace les écrans par une marionnette et des interfaces « tangibles », c'est un mini avatar qui prend vie (Frey, Gervais, Fleck, Lotte, & Hachet, 2014). Une nouvelle façon de s'incarner et

de créer une boucle interactive.

Dans un autre registre, l'équipe Hybrid de l'institut d'informatique et de mathématiques Inria étudie les synergies entre BCI et réalité virtuelle (un monde, imaginaire ou non, reproduit sur ordinateur). L'un de leurs projets utilise l'imagerie motrice pour permettre à un utilisateur de se déplacer dans un musée virtuel (Lotte et al., 2010). En plus des commandes de type « imaginer un mouvement de la main droite / gauche », pour tourner dans la direction idoine, un troisième état est utilisé, « imaginer un mouvement des pieds », afin de pouvoir avancer. On peut espérer que les efforts liés à l'évocation des commandes s'estompent avec le temps et la pratique. On obtiendrait alors un environnement des plus immersifs, où la volonté du mouvement suffirait pour qu'il se produise.

Les limites apparentes qu'imposent ce type de BCI (seulement gauche / droite / tout droit) peuvent fort à propos servir d'intermédiaire entre la contemplation passive d'une œuvre figée et l'appropriation excessive d'un objet sans frontière. En posant des bornes, en proposant un cadre de jeu dont il garde le contrôle, il est possible pour l'artiste de guider les pas du spectateur/acteur dans sa découverte, de tisser *grâce* aux impératifs du système les liens qui permettront une co-création de l'expérience subjective. Une œuvre d'art est parfois trop intimidante pour qu'on s'y plonge sans filets.

Maintenant que l'artiste alléché souhaite utiliser l'informatique pour proposer un canevas dans lequel s'épanouiront avec son sujet ses sujets, il s'interroge. Cela doit être bien compliqué de composer avec ces BCI, de programmer tous les traitements adéquats, n'est-il pas ? Oui et non. Pour le scientifique qui cherche à améliorer l'existant, à découvrir de nouveaux signaux, c'est souvent un casse-tête. Mais pour ceux qui veulent mettre en place des BCI éprouvés, il existe des outils pensés pour le néophyte. Ils ne sont pas encore suffisamment intuitifs pour qu'un débutant fermé aux ordinateurs puisse se dépatouiller, mais quelqu'un avec des notions en programmation pourra se lancer. OpenVibe, un logiciel impulsé par des français dans le giron d'Inria, s'utilise en assemblant des « boîtes » à l'écran. Telle boîte récupère le signal brut provenant de l'EEG, un fil la relie à telle autre qui permet d'en effectuer l'analyse, une dernière envoie une commande : quelques clics suffisent pour commencer à s'amuser avec du matériel compatible. Il sera bien évidemment nécessaire de s'entourer de développeurs pour réaliser des scènes complexes en 3D et toutes les interactions qui vont avec, mais quel grand peintre n'a jamais eu besoin d'assistants de temps à autre ?

Coda

Si les BCI n'ont plus de secrets pour nous, plusieurs pistes sont à envisager pour étendre leur spectre. Tout d'abord, nous l'avons vu, les techniques de mesure non invasives telles que l'EEG manquent cruellement d'efficacité lorsque l'on cherche à exécuter trop de commandes différentes. Un palliatif est d'utiliser des signaux physiologiques autres que la seule activité cérébrale. Mesurer le rythme cardiaque ou bien les expressions du visage ajoute un canal d'information de l'humain vers l'ordinateur, pour par exemple aider à discerner une émotion particulière chez l'utilisateur. De nombreux indices sont ensuite à considérer : niveau de concentration, difficulté de la tâche, etc. Autant de moyens de construire une œuvre adaptative, organique. Libéré d'une interface devenue intuitive, transparente, l'utilisateur sera à même de se focaliser sur le contenu plutôt que sur le moyen d'interagir. Il deviendra alors plus sensible au monde dans lequel il est immergé ; pour le créateur il sera plus facile d'instiller une idée ou un sentiment en guidant son attention.

Il reste à esquisser un dernier développement. Jusqu'à présent les relations entre cerveau et ordinateur ont été à sens unique, avec l'Homme qui envoie un signal à la machine. Cependant, alors que des prothèses robotiques commencent déjà à redonner de la mobilité à des personnes dont la moelle épinière a été lésée, des travaux sont en cours pour que ces prothèses leur fassent en même temps retrouver le sens du toucher. Pour cela des techniques invasives sont utilisées, avec des électrodes qui ne font plus seulement que *mesurer* l'activité cérébrale, mais qui permettent aussi d'en *générer*, en stimulant électriquement des neurones bien précis. Très peu de laboratoires possèdent les compétences requises pour mener à bien ce type de recherche, où il est question d'implanter des électrodes dans le cerveau. Toutefois une autre technologie destinée à la stimulation prend de l'ampleur, la « stimulation magnétique transcranienne ». Cette dernière ne nécessite aucune opération. Elle utilise des champs magnétiques puissants afin de modifier l'activité cérébrale. Encore une fois l'acronyme consacré vient de l'anglais, avec un « TMS » pour « transcranial magnetic stimulation ».

Tout comme pour l'EEG, la TMS est indolore (on ne répétera jamais assez ce genre de détail) et prend la forme d'un appareil qui est placé au contact du cuir chevelu. Son utilisation est étroitement contrôlée, majoritairement en médecine à des fins thérapeutiques ou diagnostiques. Des travaux étudient comment la TMS

modifie la plasticité cérébrale : en stimulant les aires motrices il est possible de faciliter l'apprentissage de certains gestes (Reis et al., 2008). Si nous sommes encore loin de provoquer l'illusion de véritablement toucher quelque chose, la technique laisse entrevoir comment les BCI peuvent à moindre frais apporter une nouvelle forme de retour perceptif.

Les interfaces cerveau-ordinateur souvent interpellent, aussi est-il important de souligner qu'il n'est nullement question, ni même possible, « d'injecter » pensées et souvenirs. Un piano peut susciter de nombreuses choses, évoquer des images, mais il ne va pas se mettre à parler de la pluie et du beau temps ou du dernier match de foot à la pause café. Avec les BCI c'est pareil, pas de discours subliminale ou de manipulation machiavélique.

Ce que proposent les BCI, c'est un nouveau moyen d'échanger entre l'homme et la machine. Pour interagir de façon plus immersive d'abord, pour appréhender autrement le contenu ensuite. Avec des ordinateurs qui se nichent dans de nombreux endroits, n'est-il pas souhaitable de faciliter nos relations mutuelles ? L'entente est parfois tumultueuse avec ces unités logiques, aussi est-ce peut-être l'occasion d'ajouter un grain d'harmonie. Et qui sait, quand nous aurons fait l'instrument à notre main, si nous ne découvrirons pas de nouvelles mélodies chez les uns et les autres.

Discographie

Cutellic, P., & Lotte, F. (2013). Integrating Neural Activity in Evolutionary Computation for Design. In *eCAADe '13* (Vol. 2013).

Frey, J., Gervais, R., Fleck, S., Lotte, F., & Hachet, M. (2014). Teegi: Tangible EEG Interface. In *UIST '14*.

Kant, E. (1790). *Critique de la faculté de juger*.

Lotte, F., Van Langenhove, A., Lamarche, F., Ernest, T., Renard, Y., Arnaldi, B., & Lécuyer, A. (2010). Exploring Large Virtual Environments by Thoughts using a Brain-Computer Interface based on Motor Imagery and High-Level Commands. *Presence-Teleop. Virt.*, 19(1), 54–70.

Reis, J., Robertson, E., Krakauer, J. W., Rothwell, J., Marshall, L., Gerloff, C., ... Cohen, L. G. (2008). Consensus: "Can tDCS and TMS enhance motor learning and memory formation?" *Brain stimulation*, 1(4), 363–369.