

# LE NEUROFEEDBACK

## Apprivoiser son cerveau par sa pensée

Nous ne sentons pas notre cerveau fonctionner.  
Mais un dispositif nommé neurofeedback permet  
de voir en temps réel son activité électrique.  
De sorte que nous pouvons la contrôler...

Juliane Corlier-Bagdasaryan et Michel Le Van Quyen

Quel est le lien entre le corps – la matière, dont le cerveau – et l'esprit? Voilà un sujet qui fascine les êtres humains depuis les origines de la philosophie en Occident et probablement plus tôt encore en Orient avec les spiritualités indiennes. D'un côté, il y a le cerveau en tant qu'objet physique et organe vivant du corps. De l'autre, il y a l'esprit, c'est-à-dire mon expérience vécue, mes pensées, mes émotions. Cerveau et esprit sont-ils distincts? Descartes pensait qu'il s'agissait de deux « substances » étrangères l'une à l'autre. Mais nous savons aujourd'hui que le « neuro » et le « psy » sont connectés, voire inséparables. Nous allons même voir que nous sommes capables de modifier notre cerveau par la pensée...

Toutefois, un fossé existe bien entre ces deux notions. La raison en est simple : nous ne sentons pas notre cerveau fonctionner. Nous ne ressentons pas ses activités internes, contrairement à celles de nos autres organes comme le cœur. Si on vous demande dans quel état est votre cortex frontal, vous êtes bien incapable de le dire! Ce n'est que grâce à la science et à ses instruments de mesure que nous savons que le cerveau est le siège de la pensée et quelles activités il produit.

### « Sentir » son cerveau

En particulier, depuis quelques dizaines d'années, nous pouvons même voir le cerveau en action. Ce n'est plus une « boîte noire », mais un organe dont nous observons le fonctionnement en temps réel avec les dernières techniques d'imagerie cérébrale. L'une d'elles est l'électroencéphalographie (EEG). On porte un casque muni d'électrodes qui enregistrent de faibles champs électriques en différents endroits de la tête. Ces champs reflètent l'activité de millions de neurones situés en dessous d'un point du crâne; ils sont enregistrés par un ordinateur avec une grande précision temporelle, toutes les millisecondes. Souvent, l'activité cérébrale apparaît comme une ondulation dont l'amplitude

augmente puis diminue, et elle prend la forme d'un rythme ayant une fréquence donnée.

Mais nous ne ressentons pas cette activité électrique qui sous-tend notre pensée. En d'autres termes, nous disposons toujours de deux types de connaissances sur notre cerveau : ce que nous en savons de l'extérieur (grâce aux instruments scientifiques) et ce que nous en savons de l'intérieur (notre conscience subjective). Existe-t-il des

## « L'homme doit harmoniser l'esprit et le corps. »

Hippocrate

passerelles entre la rive neurobiologique et la rive spirituelle? Un dispositif est susceptible de résoudre cette vieille question philosophique : c'est le neurofeedback.

Il s'agit d'un « retour sur le neuro ». Explications. Vers la fin des années 1950, le psychologue Joe Kamiya à l'université de Chicago se demanda si nous pourrions apprendre à produire certaines activités cérébrales sur commande. *A priori*, c'est impossible... Mais Kamiya eut une idée : associer l'EEG à un autre dispositif informatique, nous indiquant à chaque instant la présence ou l'absence d'une activité cérébrale particulière. Par exemple, nous entendrions un son donné quand le rythme recherché serait enregistré par EEG.

Kamiya testa d'abord son dispositif chez plusieurs volontaires avec les ondes alpha, qui oscillent à une fréquence de 8 à 12 hertz et qui sont produites par le cerveau lorsqu'on se détend. Kamiya fit entendre aux participants des sons graves quand l'intensité de ces ondes était faible, des sons aigus quand elle était forte. Puis il leur demanda d'augmenter ou d'inhiber leurs ondes alpha, les sujets vérifiant en temps réel comment ils les modifiaient grâce à un retour sonore en continu. Après quelques séances d'entraînement, tous réussirent à contrôler par la pensée cette activité. Kamiya

## En Bref

- Le neurofeedback est une technique associée à l'imagerie qui permet de voir en temps réel l'activité neuronale de différentes régions cérébrales.
- Grâce à ce retour de l'information cérébrale, des sujets apprennent à contrôler l'excitabilité d'aires particulières dans leur cerveau.
- D'où de nombreuses applications médicales pour le traitement de l'épilepsie, de la douleur, de l'hyperactivité ou la gestion des émotions.

**Juliane Corlier-Bagdasaryan** et **Michel Le Van Quyen** sont chercheurs à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM, INSERM U1127, CNRS UMR 7225), à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière de Paris.

conclut que nous pouvons bien apprivoiser nos propres activités cérébrales grâce à un retour en temps réel (un feedback) de l'information que nous en avons. Ce furent les débuts du neurofeedback. Fait étonnant : Kamiya remarqua aussi que les participants se sentaient mieux après les séances. Maîtriser les ondes alpha améliorerait donc le bien-être...

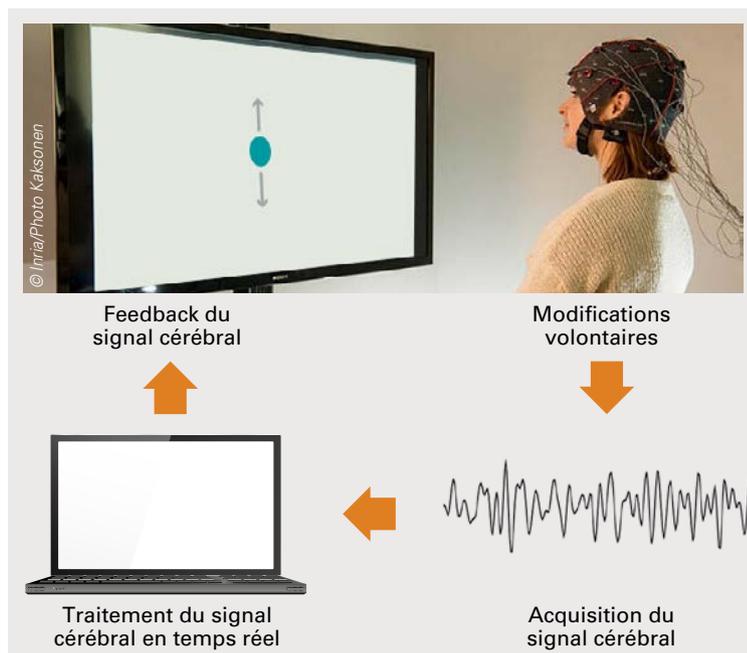
## Modifier ses propres ondes cérébrales

Puis en 1968, Barry Sterman, chercheur à l'université de Los Angeles, utilisa le dispositif de neurofeedback chez des animaux. Il découvrit qu'il pouvait entraîner des chats à augmenter l'amplitude d'une onde particulière : le rythme sensorimoteur (de 12 à 15 hertz). Cette activité apparaît quand les animaux sont éveillés mais complètement immobiles.

Sterman fit alors une découverte inattendue. Dans les années 1970, la NASA s'intéressait à la toxicité de l'hydrazine, un combustible de fusée connu pour induire des crises d'épilepsie. La NASA voulait savoir s'il rendait malades les ouvriers produisant ce composé, voire les

astronautes. Elle demanda à Sterman d'étudier le problème. Ce dernier injecta donc de l'hydrazine à ses chats, et constata que ceux ayant participé à l'expérience de neurofeedback ne faisaient pas systématiquement une crise d'épilepsie, contrairement aux autres chats non entraînés. Sterman venait ainsi de découvrir la première application médicale du neurofeedback : l'épilepsie. Et il comprit que moduler le rythme sensorimoteur permettait de réduire les crises.

Dix ans après, Sterman étudia l'effet du neurofeedback chez des patients épileptiques. Il fabriqua un appareil très simple : une petite boîte électronique transportable affichant deux lumières, l'une rouge, l'autre verte. La première personne à tester ce dispositif fut Mary, une jeune femme de 23 ans qui souffrait de crises d'épilepsie résistantes aux médicaments. Quand Mary produisait un rythme sensorimoteur (celui inhibant les ondes provoquant les crises), la lumière verte s'allumait. À l'inverse, quand ce rythme était absent, la lumière rouge apparaissait. Sterman demanda juste à Mary de garder la lumière verte allumée et la rouge éteinte. Elle s'entraîna une heure par jour, deux fois par semaine. Après trois mois, Mary n'avait plus de crises, elle les « contrôlait », même sans feedback (ni casque d'EEG sur la tête). Sterman proposa ensuite le même dispositif à huit autres patients, dont les crises diminuèrent également de façon significative.



**Neurofeedback : retour sur le neuro.** Par IRMF ou EEG, on enregistre l'activité d'une région particulière du cerveau d'un sujet. Celle-ci est analysée en temps réel et traduite en une image sur un écran d'ordinateur. Par exemple, quand l'activité augmente, une balle monte, et inversement. Le participant visualise donc sa propre activité cérébrale et s'entraîne à la contrôler en pensant de différentes façons.

## Comment ça marche ?

Quarante ans après ces travaux pionniers, les applications du neurofeedback sont nombreuses. Deux technologies sont utilisées : le neurofeedback par EEG, le plus répandu et le plus ancien, et le neurofeedback par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), bien plus récent.

Il est relativement simple d'apprendre à maîtriser ses ondes électriques enregistrées par EEG, mais cette technique a une faible résolution spatiale, si bien qu'elle ne permet de contrôler que de « larges » régions du cerveau. Or depuis 10 ans, l'IRMf, qui a une bien meilleure résolution spatiale que l'EEG mais qui avait à l'origine une faible résolution temporelle, est désormais capable de produire des images de l'activité cérébrale presque en temps réel. Dans ce cas, l'appareil enregistre, au millimètre près, les variations de débit sanguin

cérébral qui reflètent l'activité des neurones. L'augmentation de la puissance des ordinateurs et de l'intensité des champs magnétiques en IRM a permis aux scientifiques de mettre en place, dans des intervalles de temps de l'ordre de quelques secondes, un neurofeedback ciblant l'activité de petites régions du cerveau.

Quelle que soit la technologie utilisée, le sujet s'entraîne à contrôler ses activités cérébrales, en les augmentant ou en les diminuant. Pour ce faire, le signal enregistré est converti en une animation sur un écran ou en un son dans des haut-parleurs. Par exemple, sur un ordinateur, une balle monte ou descend quand le signal cérébral augmente ou diminue (*voir la figure page ci-contre*).

Grâce à ce retour d'information en temps réel, au-delà de la simple observation du fonctionnement de son cerveau, le participant développe et perfectionne des stratégies mentales lui permettant d'augmenter ou de diminuer volontairement l'activité de telle ou telle aire cérébrale. Il évoque des souvenirs, des émotions, s'imagine en train de faire certains mouvements... et constate l'effet de ses états mentaux sur l'activité enregistrée. Il trouve ainsi la « pensée » qui l'augmente, celle qui la diminue. En général, après quelques dizaines de séances de 30 minutes, espacées de 2 à 3 jours, le sujet sait apprivoiser son cerveau.

## Atténuer les symptômes de nombreuses maladies

L'intérêt du neurofeedback est évident : une meilleure connaissance du lien entre le mental et le cerveau rend une autorégulation envisageable dans de multiples conditions normales ou pathologiques. Le sujet met en place, intentionnellement, des changements à long terme de son fonctionnement cérébral. De manière analogue à la rééducation orthopédique, on effectue ainsi une rééducation cérébrale.

La première application du neurofeedback est le traitement de l'épilepsie. Environ un tiers des patients ne bénéficie d'aucune thérapie efficace. Dans ce cas, le sujet est « pharmacorésistant » et se retrouve souvent seul face à sa maladie. Le recours à des pratiques complémentaires se révèle alors urgent. Depuis les travaux de Serman, des dizaines d'études scientifiques ont validé l'efficacité du neurofeedback sur l'augmentation d'intensité des

rythmes EEG sensorimoteurs, qui diminuent le nombre de crises épileptiques.

En 1996, Niels Birbaumer, de l'université de Tübingen en Allemagne, a proposé une autre approche consistant à contrôler les potentiels corticaux lents de l'EEG, qui correspondent à l'excitabilité globale du cerveau. En réduisant

---

Avec le neurofeedback, le sujet met en place, intentionnellement, des changements à long terme de son fonctionnement cérébral.

---

ces rythmes, environ deux tiers des patients ont réussi à diminuer leur hyperexcitabilité corticale, et ont, par conséquent, eu moins de crises. Et cet effet bénéfique a perduré six mois. Récemment, une méta-analyse regroupant 243 patients a conclu que 82 % des patients présentaient une réduction de plus de 50 % de leurs crises après neurofeedback.

Autre domaine d'application : le traitement de la douleur, pour laquelle il est souvent difficile de trouver des médicaments appropriés, car les réactions varient d'un patient à l'autre. Beaucoup de traitements sont peu efficaces ou mal tolérés. Le neurofeedback est alors une alternative intéressante, comme l'a montré en 2005 Christopher deCharms, de l'université de Stanford en Californie. Il a proposé à des volontaires sains et à des patients souffrant de douleur chronique de réduire leurs sensations douloureuses simplement en modulant l'activité d'une petite zone de leur cerveau, appelée cortex cingulaire antérieur et impliquée dans la perception nociceptive.

Avec l'IRMf en temps réel, les sujets ont suivi l'activité de leur cortex cingulaire antérieur sur un écran d'ordinateur, le signal enregistré étant traduit en une image de feu plus ou moins intense selon son intensité (*voir l'encadré page 38*). Avec des instructions simples comme « ne faites rien », « augmentez » ou « diminuez », les sujets ont appris à moduler cette activité, chacun ayant sa propre stratégie mentale : penser à des proches, à des flocons de neige...

DeCharms appliquait ensuite sur la main des volontaires sains une électrode chaude et leur demandait d'estimer la douleur ressentie

### Sur le Web

Société de traitement de la douleur par neurofeedback : <http://www.omneuron.com>

(les patients souffrant de douleur chronique n'ont évidemment pas subi la stimulation). Après trois séances, tous les participants ont réussi à contrôler leur cortex cingulaire antérieur, et quand ils « diminuaient » son activité, leur douleur était moins intense. DeCharms vient de créer une société de biotechnologie en Californie. On peut s'attendre à voir arriver cette thérapie dans la pratique clinique.

## Améliorer son attention et gérer ses émotions

En outre, le neurofeedback est particulièrement utile au traitement des troubles du déficit de l'attention, avec ou sans hyperactivité. Souvent, les patients sont des enfants ayant des problèmes de concentration ou des enfants très actifs qui passent d'une activité à une autre sans en finir une. Les signes de ce trouble deviennent évidents avec la scolarisation. Les jeunes sont incapables de rester en place ou d'être attentifs plus de quelques secondes. En France, 5 à 12 % des jeunes âgés de 4 à 18 ans seraient concernés. C'est aujourd'hui le premier motif de consultation en psychologie de l'enfant et de l'adolescent. En général, l'enfant consulte un pédiatre qui, souvent, lui prescrit des médicaments comme

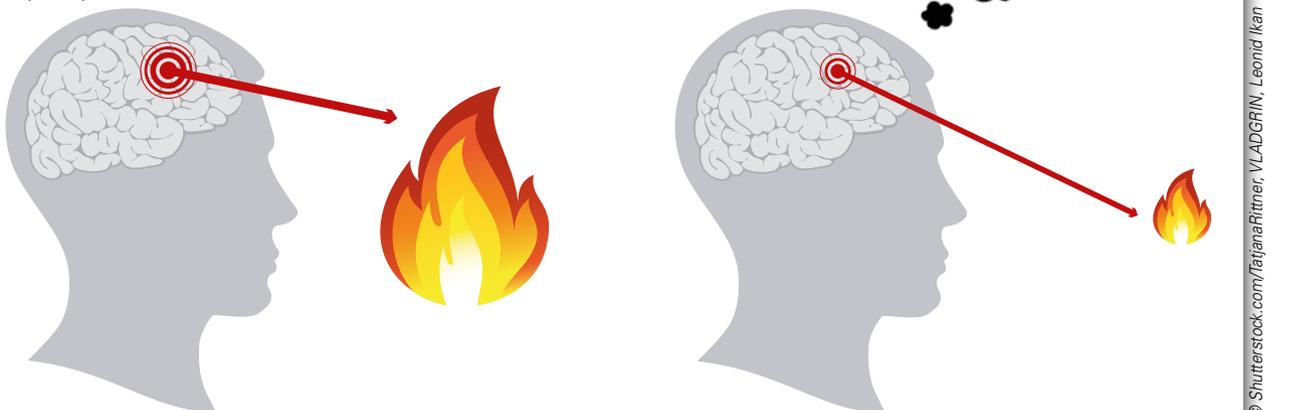
la ritaline ou le concerta. Pourtant, le neurofeedback offre une alternative non médicamenteuse et sans effets secondaires.

Le premier essai remonte à 1976 avec Joel Lubar, chercheur en psychologie à l'université du Tennessee. Il proposa le neurofeedback par EEG à un enfant âgé de 11 ans présentant des symptômes d'hyperactivité. Pendant sept mois, l'enfant s'entraîna chaque jour à augmenter l'activité électrique de ses rythmes sensorimoteurs, qui diminue l'hyperexcitabilité cérébrale. Il devint alors plus calme et arriva à se concentrer au cours d'activités scolaires ou sociales. En 2009, une méta-analyse concernant 1 194 patients a confirmé que le neurofeedback est cliniquement efficace : il réduit de façon significative l'hyperactivité ou l'impulsivité et améliore l'attention.

Une dernière application du neurofeedback : la régulation des émotions. Parmi une multitude de travaux, ceux de Birbaumer sont les plus innovants. À partir de l'IRMf en temps réel, il a demandé à des participants de moduler l'activité de leur insula, une petite région localisée profondément dans le lobe temporal du cerveau et qui joue un rôle central dans la reconnaissance de leurs propres émotions et de celles d'autrui. Les sujets ont pensé à des événements désagréables ou agréables qu'ils avaient vécus, par exemple le souvenir d'une

### Il pense à des flocons de neige, et a moins mal !

Le sujet observe par neurofeedback l'activité de son cortex cingulaire antérieur, qui augmente d'autant plus qu'il souffre. L'excitabilité de cette région cérébrale est « traduite » sur un écran d'ordinateur en un feu. Le patient s'entraîne à en diminuer l'intensité en pensant à des situations agréables. Après plusieurs séances, il arrive à « contrôler » le feu et souffre moins.



maladie ou d'une journée de vacances à la plage. Les chercheurs ont alors constaté que les personnes ayant suivi seulement 5 séances d'entraînement de 30 minutes ressentaient plus d'émotions négatives en voyant des images pénibles, qu'il s'agisse de visages agressifs ou de photographies d'accidents ou d'attentats. L'insula, après avoir été « activée » par le neurofeedback, était plus « alarmée » face à des stimulations négatives.

Quel intérêt me direz-vous ? Certaines personnes ne contrôlent pas forcément bien leurs émotions. Celles sujettes à des phobies sociales présentent une hyperactivité de l'insula et sont ainsi très émotives en public. D'autres, au contraire, ne savent pas reconnaître les émotions d'autrui, ce qui aboutit à un manque d'empathie et souvent à des comportements agressifs. C'est le cas des psychopathes qui souffrent parfois d'un dysfonctionnement de certaines régions cérébrales liées à la peur. En particulier, ils n'arrivent pas à activer leur insula à la vue de la détresse d'autrui, de sorte qu'ils sont insensibles à la souffrance d'autrui.

Pour ces individus, Birbaumer vient d'envisager une nouvelle thérapie : leur apprendre à restaurer l'activité de leur insula par neurofeedback. Les premiers résultats semblent aller dans le bon sens : après plusieurs séances, ces personnes arrivent beaucoup mieux à reconnaître la sensation de peur chez eux-mêmes et chez autrui.

## La France à la traîne...

Évidemment, si les applications du neurofeedback semblent très prometteuses, il faut insister sur le fait qu'elles n'en sont qu'à leurs balbutiements, et le manque de recul scientifique doit nous conduire à garder un regard critique. Beaucoup d'études doivent encore être réalisées. En outre, n'oublions pas que le neurofeedback n'a pas l'ambition de guérir les patients. Il agit plutôt sur leurs symptômes et améliore leurs conditions de vie, avec une particularité : les patients participent à leur propre prise en charge, observent leur trouble neurologique au lieu de seulement le redouter, et se familiarisent avec lui pour mieux le maîtriser. Cette thérapie permet ainsi aux sujets de reprendre leur vie en

Le patient observe son trouble neurologique pour mieux le maîtriser.

main, longtemps soumise aux effets secondaires des médicaments.

Dans différents pays, aux États-Unis et en Allemagne notamment, le neurofeedback s'est développé dans une large communauté scientifique et médicale. Mais pas en France, où ses applications sont presque ignorées. Une raison à cela : la technique est discréditée à cause de la diffusion incontrôlée, à partir des années 1980, d'un dispositif – le système *Neuroptimal* – censé développer les facultés cérébrales. La plupart des thérapeutes français disant pratiquer le neurofeedback utilisent en fait ce système... Ils font écouter

de la musique au sujet et, avec deux électrodes posées sur son crâne pour soi-disant enregistrer son activité cérébrale, un algorithme qui demeure inconnu détecte des événements mystérieux et provoque une interruption de la musique. Le sujet n'a rien d'autre à faire que de se détendre car, d'après ses promoteurs, le cerveau se remodèle tout seul...

Bien sûr, aucune étude scientifique n'a validé ce dispositif, pourtant distribué aux patients ou à leur famille, *via* Internet par exemple, en dehors des circuits médicaux classiques. À cause de ces dérives, il nous semble nécessaire de créer en France une communauté de thérapeutes proposant le (vrai) neurofeedback, sur le modèle des sociétés savantes américaines. Nous devons ainsi veiller à pratiquer une expertise rigoureuse et indépendante pour ses applications médicales.

D'autant que le neurofeedback n'est ni une solution « miracle » ni une solution facile. À l'instar des autres pratiques psychocorporelles, l'entraînement au neurofeedback est long, progressif, et implique la participation du sujet au cours des séances et entre les séances. Depuis peu, il existe des appareils de neurofeedback portables et bon marché, faciles à utiliser chez soi, de sorte que le sujet peut combiner cette méthode à d'autres techniques comme la méditation. Et là, les possibilités deviennent immenses. Car dès que l'individu sait identifier les « sensations cérébrales » liées à la régulation de ses variables physiologiques, il peut les contrôler sans l'aide du dispositif. Loin d'être un simple gadget, le neurofeedback permettra donc d'assister les entraînements plus traditionnels de l'esprit. « Harmoniser l'esprit et le corps » devrait devenir possible... ■

## Bibliographie

**M. Le Van Quyen,** *Les Pouvoirs de l'esprit*, Flammarion, 2015.

**U. Strehl et al.,** Sustained reduction of seizures in patients with intractable epilepsy after self-regulation training of slow cortical potentials-10 years after, in *Frontiers in human neuroscience*, doi : 10.3389/fnhum.2014.00604, 2014.

**A. Caria et al.,** Volitional control of anterior insula activity modulates the response to aversive stimuli. A real-time functional magnetic resonance imaging study, in *Biol. Psychiatry*, vol. 68, pp. 425-432, 2010.

**M. Arns et al.,** Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis, in *Clinical EEG Neuroscience*, vol. 40, pp. 180-189, 2009.