

Les études sur la conscience se sont multipliées ces 30 dernières années. Qu'est-ce qui a déclenché cet engouement ?

L'étude de la conscience a connu des hauts et des bas. À la fin du XIX^e siècle, nombre de savants s'interrogeaient sur notre capacité à percevoir et penser le monde, et différentes tentatives de la scientifier cohabitaient, mais chacune avait des écueils. L'école de psychologie expérimentale dite de l'introspection soutenait que pour savoir comment fonctionne la conscience, il suffisait de sonder soi-même son esprit. Mais l'introspection est souvent erronée et des zones de la subjectivité sont insondables; l'école s'est effondrée. D'autres gens se sont juste intéressés aux comportements. Cette école, le behaviorisme, était à l'inverse trop déconnectée du subjectif. La psychanalyse a aussi émergé, sorte de mouvement purement subjectif ne s'intéressant qu'à ce que les gens racontent sur eux-mêmes. Tous ces écueils ont relégué la conscience dans un placard: puisqu'elle était subjective, elle ne pouvait être un objet de la science.

Les choses ont changé dans les années 1970, quand, lors d'expériences psychologiques, on a commencé non seulement à recueillir le rapport subjectif du sujet, mais à le confronter à l'observation du comportement et de l'activité cérébrale. On s'est ainsi aperçu, par exemple, que des patients ayant une lésion dans le cortex visuel de l'hémisphère gauche, même s'ils disaient ne pas voir un visage qui leur était présenté dans leur champ mort, répondaient correctement à la question: «Le visage est-il effrayant ou non?» lorsqu'on les forçait à donner une réponse (on parle de vision aveugle). La conscience est alors devenue une variable expérimentale que l'on pouvait croiser avec des données comportementales ou d'imagerie.

Plusieurs théories de la conscience ont alors émergé. Quelles sont-elles ?

Parmi les principales théories, il y a celle de Giulio Tononi, de l'université du Wisconsin, à Madison, souvent vue comme une très belle mathématisation, mais aussi parfois comme un peu spéculative, les conditions de calculabilité du paramètre qu'elle produit étant souvent impossibles à déterminer dans un vrai cerveau. Cette théorie formalise la conscience en termes de traitement de l'information, notamment en considérant deux paramètres, l'intégration et la différenciation: un cerveau conscient doit être capable d'intégrer de grandes quantités d'informations, c'est-à-dire de mettre en relation des opérations de domaines différents, et en même temps de différencier des états, par exemple de distinguer un visage entre mille. Cette théorie est intéressante, mais je trouve qu'elle n'est pas assez imprégnée d'une psychologie de la conscience et assez décorrélée du fonctionnement du cerveau.

Bien sûr, l'équipe de Giulio Tononi essaye de la reconnecter au cerveau. Le travail de Marcello

Massimini, commencé dans son laboratoire, illustre cette entreprise avec succès (voir l'article page 26). Et les résultats obtenus rejoignent ce que notre laboratoire et d'autres ont publié avec des méthodes différentes. Une idée clé est qu'il n'y a pas une région du cerveau dédiée à la conscience. En revanche, plusieurs études ont montré qu'il est possible d'activer chaque région du cortex de manière inconsciente, par exemple avec des images subliminales: un mot active telle région, un nombre telle autre, etc. La signature de la conscience semble être l'existence d'un mode de communication entre les régions.

La théorie que nous avons développée avec Stanislas Dehaene, directeur du Laboratoire de neuro-imagerie cognitive à NeuroSpin au CEA (Saclay), et nos collègues a l'avantage d'être très proche de son objet, à la fois psychologique et cérébral. Dans les années 1990, le psychologue Bernard Baars, à l'Institut des neurosciences de La Jolla, en Californie, avait proposé un modèle purement psychologique de la conscience, nommé l'espace de travail global. Initialement, Stanislas avait commencé à travailler avec Jean-Pierre Changeux à un modèle inspiré de celui de Bernard Baars, mais avec un substrat neuronal, en s'intéressant à l'effort mental. Quand j'ai rejoint Stanislas durant ma thèse, nous avons croisé ces éléments et proposé un modèle neuronal des idées de Bernard Baars.

En quoi consiste cet espace de travail neuronal ?

Ce modèle est fondé sur l'idée qu'il existerait deux architectures cérébrales dans le cerveau. La première serait constituée de systèmes indépendants les uns des autres et donc capables de fonctionner en parallèle. Cela expliquerait que des centaines de processus différents aient lieu dans notre cerveau en permanence, reposant sur des réseaux neuronaux qui fonctionnent en parallèle parce qu'ils ne sont pas massivement interconnectés. Ce premier espace est dit modulaire.

La seconde architecture serait un système non modulaire qui briserait la modularité: imaginez un réseau de nombreux neurones très interconnectés. À chaque instant, un tel réseau ne peut loger qu'une représentation. Ce système serait le réseau de la conscience. On a beaucoup appris sur la conscience depuis un siècle, notamment qu'on ne peut avoir conscience de plusieurs choses en même temps. L'espace non modulaire reflète bien cette idée: à un moment, l'espace global saisit une scène. Mais parallèlement, de nombreuses informations sont traitées inconsciemment et indépendamment. Chacun des constituants de ce réseau global est dans les régions plutôt associatives du cortex, celles qui, comme les cortex préfrontal et pariétal, communiquent avec les autres régions corticales. Il faut imaginer ce réseau comme un filtre présent un peu partout, mais avec une densité particulière. Chaque bout de ce réseau peut fonctionner ➤

➤ inconsciemment. La conscience apparaît quand ces différentes régions fonctionnent ensemble, de manière intégrée. Ce n'est pas toujours le cas.

Quelles approches avez-vous utilisées pour tester ce modèle ?

Par exemple, en 2001, nous avons comparé en imagerie par résonance magnétique (IRM) ce qui se passe lorsqu'une personne voit consciemment un mot *versus* quand la perception de ce mot devient subliminale. On a alors observé qu'en perception subliminale, seule la région de la lecture s'active, signe qu'il y a une forme de lecture inconsciente du mot. En revanche, de multiples régions s'activent quand le mot est lu consciemment, dont les régions frontopariétales et celle de la lecture.

Toutefois, l'IRM est une technique lente, qui ne fournit que la somme de l'activité cérébrale pendant une seconde. En 2009, pour savoir si tout s'activait en même temps ou de façon séquentielle, nous avons reproduit l'expérience avec des patients qui avaient des électrodes implantées dans le cerveau pour soigner leur épilepsie. Chaque électrode permet de suivre en direct l'activité dans la région de l'implant. Par chance, une électrode pointait sur la région de la lecture. Résultat : quand la perception du mot est subliminale, cette électrode a une belle réponse précoce et locale, qui disparaît ensuite. Quand le patient voit le mot consciemment, le point intéressant est que la première étape est exactement la même. Elle n'est donc pas consciente puisqu'elle a lieu dans les deux cas. En revanche, elle est suivie d'un deuxième état où l'électrode s'active, de même que d'autres de la région frontopariétale, signe que la communication entre les différentes régions du cerveau, notamment celle de la première électrode, a augmenté. Nous avons obtenu un résultat similaire à l'aide de l'électroencéphalographie (EEG) chez des patients non communicants soumis à un test auditif. Tout cela conforte l'idée que la conscience est liée à la diffusion d'une information d'un espace modulaire à un espace non modulaire.

L'espace modulaire fonctionne-t-il toujours quand on est inconscient ?

Cela dépend. Tout peut avoir été détruit. Mais dans beaucoup de situations, l'espace modulaire continue de fonctionner. On le voit par diverses techniques comme l'EEG, l'IRM, les caméras à positrons. Un des premiers travaux de Steven Laureys, du Coma science group, à Liège, sur des patients en état végétatif a montré que si on leur envoie des chocs électriques sur la main, leur cortex sensitif primaire continue souvent de traiter l'information, mais n'est plus capable de communiquer avec le cortex pariétal postérieur, une région importante de l'espace de travail global et de la conscience de soi. Nous avons obtenu des résultats similaires avec le cortex auditif en

stimulant des personnes dans le coma ou en sommeil profond avec des sons ou des mots : des modules continuaient de travailler de manière très active. Pendant ma thèse, j'avais aussi montré que, de façon inconsciente, on peut traiter le sens d'un mot. Ainsi, la limite n'est pas la complexité psychologique, mais le type de traitement que l'on pourra faire sur ces représentations.

Comment caractériser alors la différence entre un traitement conscient et inconscient ?

À partir du moment où vous êtes conscient d'une information, par exemple d'un mot, vous êtes capable de lui faire subir tout ce que vous êtes capable de faire mentalement : décider de construire une phrase avec, de l'épeler, de compter la valeur numérique de ses lettres, d'en faire une anagramme, de le traduire dans une autre langue, etc. En d'autres termes, quand une information très spécialisée arrive sur la scène de votre espace de travail, vous pouvez la faire circuler dans toutes vos facultés mentales. Dans les états inconscients, en revanche, on peut traiter de manière très efficace beaucoup d'informations, mais on n'aura pas cette souplesse. Cela correspond bien à l'idée que toute l'information peut circuler dans un espace cérébral branché sur toutes vos facultés.

Pour Steven Laureys, il existerait non pas un, mais deux réseaux neuronaux globaux anti-corrélés, l'un se rapportant à la conscience de soi, l'autre à la conscience perceptive. Qu'en pensez-vous ?

Au sein de l'espace de travail global, tous les neurones ne font pas la même chose en même temps. Imaginez une salle avec 100 personnes. Si chacune parle avec 2-3 personnes, elles forment de petits groupes apparentés à nos modules. Toutes ces discussions parallèles font une sorte de brouhaha qui correspond au bruit de fond du cerveau. Mais si brutalement vous passez dans un mode de conversation unifiée, où une personne s'adresse à tout le monde à la fois, l'information, qui au début se trouvait dans un module, se propage. Les modules travaillent de façon cohérente tout en gardant chacun sa personnalité, sa capacité de traiter l'information, de l'échanger.

GLOSSAIRE

ÉTAT VÉGÉTATIF

La personne est éveillée et ses fonctions végétatives – respiration, température, circulation sanguine, digestion... – sont préservées (d'où le nom), mais elle n'est pas consciente.

ÉTAT DE CONSCIENCE MINIMALE

La personne présente des comportements bien plus riches que dans l'état végétatif. Par exemple, elle répond à certaines commandes ou suit des yeux un miroir. Pour autant, on ne peut communiquer avec elle.

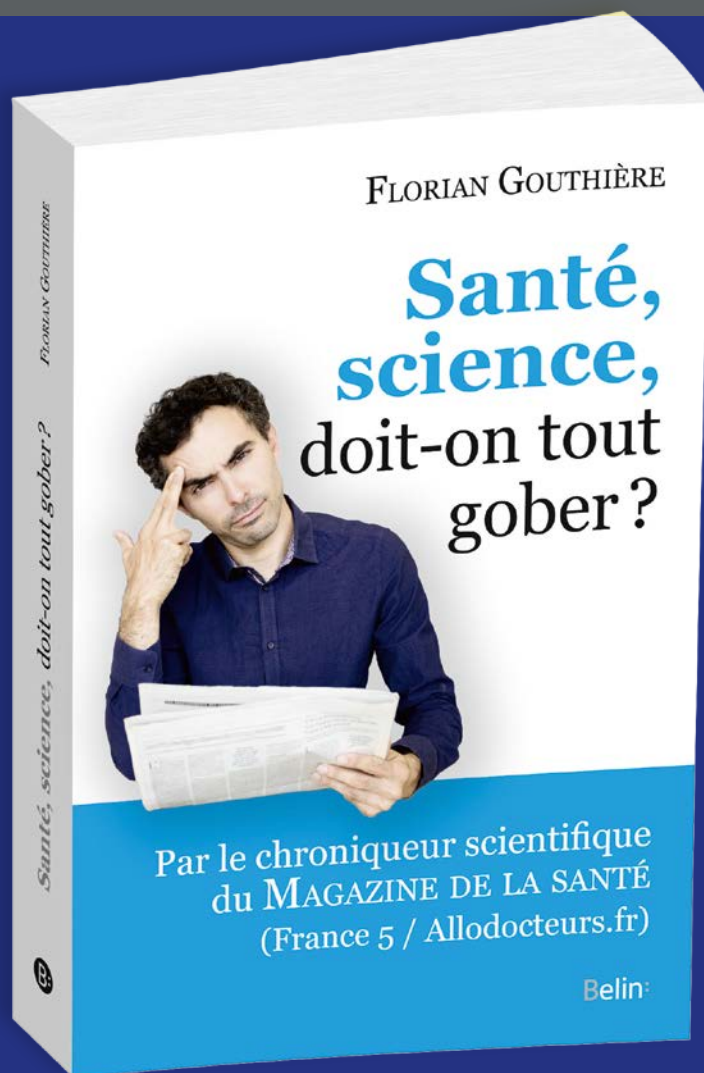
SYNDROME D'ENFERMEMENT

La personne est consciente, mais totalement paralysée, en dehors des yeux qui lui permettent de communiquer et d'exprimer ainsi son vécu conscient.

En vision subliminale d'un mot, seule la région de la lecture s'active

Santé, science, doit-on tout gober ?

FLORIAN GOUTHIERE



Comment distinguer le faux de l'info ?

belin-editeur.com



Belin:
ÉDITEUR

> La conscience apparaît alors, mais chaque module garde sa spécificité. Les idées de Steven Laureys s'intègrent tout à fait dans cette logique: certaines parties de l'espace de travail auront plus à voir avec la prise de conscience du monde extérieur, d'autres avec la conscience de soi.

Si tous les neurones faisaient la même chose en même temps – la théorie de Giulio Tononi le décrit bien –, on aurait une grande intégration, mais aucune différenciation, car l'information serait très peu complexe. Cela s'appelle une crise d'épilepsie. On peut donc perdre conscience de deux façons: soit par manque de communication dans le réseau – c'est ce que l'on voit malheureusement chez des patients dont les fibres de connexion sont détruites –, soit à cause d'un excès de communication. La conscience exige donc d'être dans une fenêtre de communication.

Cherchez-vous à concevoir un « conscienciomètre », comme Marcello Massimini et ses collègues ?

Oui, bien sûr. En 2014, avec Jacobo Sitt, Jean-Remi King et d'autres, nous avons mis au point un algorithme qui prédit si un sujet est dans un état végétatif ou de conscience minimale. Nous avons entraîné notre algorithme avec deux populations: disons 50 patients en état végétatif et 50 en conscience minimale. On enregistre l'EEG de chaque patient soumis à un stimulus auditif ou non, puis on classe ces EEG à l'aide de 92 « marqueurs », des motifs qui conditionnent le classement. Dans l'hyperespace de ces marqueurs, l'algorithme calcule un hyperplan qui sépare les deux populations. Puis, quand on lui présente un nouveau patient, il est alors capable de dire de quel côté est ce dernier. Nous sommes en train de comparer nos résultats avec ceux de Marcello Massimini.

Comment être sûr que la population de référence est bien caractérisée ?

On part d'un examen clinique devenu le standard, notamment une échelle, la CRS-R (*Coma recovery scale-revised*), qui classe les patients selon leur comportement. On complète avec l'EEG, l'IRM fonctionnelle, la tomographie à émission de positrons. Et quand toutes ces mesures convergent, on sait que le sujet étudié est bien caractérisé. Si ce n'est pas le cas, le patient n'entre pas dans la population de référence, et c'est justement pour mieux diagnostiquer ces cas difficiles que l'algorithme pourrait être utile. En fait, le concept même de conscience minimale est à revoir. Dans nos échelles cliniques, dès lors que par un mouvement de tête ou des yeux, par exemple, on obtient une communication fonctionnelle avec un malade, il n'est plus en conscience minimale: il est conscient. Ce qu'on appelle conscience minimale est un état seulement décrit par des comportements ne permettant pas de

La conscience exige ni trop ni trop peu de communication cérébrale

communiquer. On a aucune idée de ce que vit le patient: on n'y a pas accès. Or la plupart des gens imaginent des patients conscients, mais paralysés, ce qui n'a rien à voir.

Que proposez-vous ?

L'échelle CRS-R différencie un état purement végétatif d'un autre état: il suffit d'un seul comportement – des mouvements reproductifs à la commande, par exemple – pour dire qu'il s'agit d'un état de conscience minimale. En analysant les comportements pris en compte, je me suis aperçu que, quand un patient est classé végétatif, ses comportements sont liés à une activité sous-corticale. Mais dès qu'on est classé en conscience minimale, le comportement requiert une activité corticale. Je propose donc de parler d'état médié par le cortex. L'information est importante, car plus le cortex participe au comportement, plus la probabilité que le patient soit conscient est grande. Je propose aussi une nouvelle classification qui ferait intervenir non seulement l'examen comportemental, mais certains marqueurs approchant de près la frontière de la conscience, comme l'indice PCI de Marcello Massimini.

Quelles sont les perspectives pour les patients ?

Si les réseaux corticaux sont détruits, on aura beau les stimuler, leur état ne s'améliorera pas. En revanche, s'ils sont partiellement préservés, plusieurs techniques sont envisageables. Actuellement, la pharmacologie doit progresser. La technique la plus invasive est la stimulation cérébrale profonde. En 2007, l'équipe de Nicholas Schiff, au Weill Cornell Medical College, à New York, a amélioré l'état d'un patient en stimulant son thalamus. Elle devrait reprendre ses travaux bientôt. Une technique intermédiaire est la stimulation du nerf vague, encourageante elle aussi. La moins invasive est la stimulation électrique transcrânienne, que notre équipe et d'autres, dont celle de Steven Laureys, sont en train de tester: vous placez des électrodes et vous dépolarisez le cortex pour l'activer. Nous avons deux essais encourageants en cours.

Propos recueillis par Marie-Neige Cordonnier

BIBLIOGRAPHIE

L. Naccache, **Minimally conscious state or cortically mediated state ?**, *Brain*, awx324, 2017. <https://doi.org/10.1093/brain/awx324>

J. D. Sitt et al., **Large scale screening of neural signatures of consciousness in patients in a vegetative or minimally conscious state**, *Brain*, vol. 137, pp. 2258-2270, 2014.

S. Dehaene, **Le Code de la conscience**, Odile Jacob, 2014.

L. Naccache, **Le Nouvel Inconscient**, Odile Jacob, 2006.