



LA CHRONIQUE DE
GÉRALD BRONNER

WEINSTEIN ET LA VISCOSITÉ SOCIALE

Avec les réseaux sociaux d'Internet, l'information circule plus facilement. Cette réduction de la « viscosité » favorise la survenue d'effets papillon sociaux.



Par analogie avec la résistance à l'écoulement d'un fluide visqueux, on peut assimiler à une viscosité sociale la difficulté avec laquelle l'information circule au sein de la société.

Le philosophe Pascal, avant même Henri Poincaré, fut sans doute l'un des premiers à imaginer l'existence de phénomènes relevant de l'hyper-sensibilité aux conditions initiales, c'est-à-dire l'imprévisibilité d'un système déterministe soumis à des modifications même infimes. Dans ses célèbres *Pensées*, il soulignait : « Le moindre mouvement importe à toute la nature, la mer entière change pour une pierre. » Cette idée lui permettait aussi de mettre en exergue la vanité des hommes, dont le monde pouvait être massivement perturbé par un détail. Une vanité que rappelle l'une de ses remarques les plus célèbres : « Le nez de Cléopâtre, s'il été été plus court, toute la face de la terre aurait changé. »

Cela décrit d'une certaine façon ce qui sera popularisé plus tard sous le terme d'effet papillon par le météorologue américain Edward Lorenz, dont une conférence donnée en 1972 s'intitulait : « Le battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer une tornade au Texas ? »

De ce point de vue, l'une des affaires les plus marquantes de la rentrée, le

« scandale Weinstein », du nom de ce producteur de cinéma américain tout-puissant accusé d'agression sexuelle par plus de 90 femmes, n'est pas sans intérêt.

On découvre que, sur la foi de plusieurs témoignages, les appétits du producteur et sa façon de les manifester étaient, dans le milieu, un secret de polichinelle. Pour mille et une raisons, ces témoignages et ces plaintes se sont peu diffusés avant que

Sur le réseau Facebook, il n'y a que 3,57 degrés de séparation entre deux individus pris au hasard

l'affaire n'éclate au grand jour. Pour ainsi dire, la viscosité du milieu social, c'est-à-dire sa résistance à l'écoulement de l'information, était élevée à ce stade.

En octobre, le dévoilement de l'affaire par plusieurs articles de presse a produit une augmentation vertigineuse de la

fluidité de l'information sur ce scandale, qui a fait le tour du monde.

L'un des points intéressants est l'effet de domino produit. Sur les réseaux sociaux, les mots-dièse #MeToo ou #balancetonporc ont entraîné une cascade de polémiques collatérales, par exemple celle concernant l'islamologue suisse Tariq Ramadan, accusé par plusieurs personnes de viol, polémique qui a inspiré une caricature de *Charlie Hebdo* ayant elle-même entraîné une violente polémique avec *Mediapart*...

Le thème de l'hyper-sensibilité aux conditions initiales et de l'effet papillon est, une fois de plus, assez bien illustré par un phénomène social. On peut ajouter que la viscosité du milieu social paraît décroître par le truchement des réseaux sociaux. L'une des mesures tangibles de cette fluidification est révélée par la célèbre estimation des degrés de séparation réalisée par Stanley Milgram à la fin des années 1960.

Ce psychologue américain avait réalisé une expérience consistant à demander à 296 personnes de faire parvenir une lettre à un habitant d'une autre ville, qu'ils ne connaissaient pas. Il s'agissait de choisir des destinataires susceptibles de connaître cette personne, ou de connaître un autre intermédiaire. Les résultats de cette astucieuse expérimentation ont montré qu'en moyenne, une chaîne de 5 ou 6 personnes était nécessaire pour réaliser la tâche. De là est venue l'idée qu'entre nous et un autre individu que nous ne connaissons pas, il y a au plus 6 degrés de séparation.

Or Facebook a calculé en 2016 que sur son réseau social d'internautes, il n'y a en moyenne que 3,57 degrés de séparation entre deux individus pris au hasard. Autrement dit, en densifiant les ressources des réseaux sociaux, Internet facilite la mise en contact des personnes que l'espace géographique sépare. Même s'il est difficile de le mesurer, on peut raisonnablement conjecturer que cette fluidité a accru l'empire des effets papillon sur le monde social et que les tornades ne sont pas près de cesser de déferler. ■

GÉRALD BRONNER est professeur de sociologie à l'université Paris-Diderot.

Dans l'**inter**êt de la science

mathieu
vidard

la tête au carré
14:05-15:00



**france
inter**venez
franceinter.fr

L'ESSENTIEL

> L'imagerie cérébrale ne suffit pas toujours pour établir si un patient atteint de graves troubles cérébraux est conscient de son environnement.

> Ces dernières années, le développement d'une sorte de « conscienciomètre » a ouvert la possibilité de déterminer de façon

fiable si une personne est consciente, qu'elle soit juste profondément endormie, sous anesthésie ou dans le coma.

> De tels outils pourraient aider les médecins et les familles de dizaines de milliers de patients incapables de communiquer à décider des soins à leur prodiguer.

L'AUTEUR



CHRISTOF KOCH
chercheur et président de l'institut Allen de science du cerveau, à Seattle, aux États-Unis

Mesurer la conscience est enfin possible

COMMENT SAVOIR SI UNE PERSONNE EST CONSCIENTE OU NON QUAND ELLE NE PEUT PAS COMMUNIQUER AVEC AUTRUI ? UNE MÉTHODE CONSISTANT À ANALYSER L'ACTIVITÉ ÉLECTRIQUE DU CERVEAU JUSTE APRÈS UNE STIMULATION MAGNÉTIQUE A FAIT SES PREUVES.

Je suis mort à maintes reprises. Chaque soir lorsque, rompu de fatigue, je m'assoupis, ma conscience s'éteint. Je ne ressens plus rien jusqu'à ce que je me réveille à l'intérieur de mon corps endormi – dans un rêve déconnecté du monde extérieur. Ou jusqu'au matin suivant quand, de retour dans le monde réel, ma conscience émerge à nouveau.

La vie quotidienne est pleine d'expériences similaires. Enfant, j'ai subi une appendicectomie sous anesthésie : ma conscience a été interrompue, puis restaurée après l'opération. Dans un vague souvenir remontant à l'adolescence, je me revois sur le siège arrière d'une Renault qui descend une avenue bordée d'arbres, en Afrique du Nord. Soudain, le décor change. Je suis toujours dans cette même rue, mais j'observe la scène depuis le sol. La voiture avait heurté un arbre, ce qui m'a éjecté sur le pavé, et je m'étais évanoui.

Nombre d'entre vous ont connu des pertes de conscience similaires. Nous sommes tous habitués au cycle circadien d'éveil, de sommeil

et de rêve. Mais pour certains patients atteints d'un traumatisme crânien, l'expérience est tout autre : la conscience s'enfuit pendant des jours, des semaines, voire des années.

En pratique, un médecin peut avoir des difficultés à déterminer si quelqu'un est profondément endormi, sous anesthésie ou souffrant d'une grave lésion au cerveau. Une personne allongée les yeux ouverts ressent-elle quelque chose, quelle qu'en soit la nature, ou sa conscience a-t-elle pris le large ?

Idéalement, il faudrait un outil de mesure de la conscience pour répondre à ces questions. À première vue, l'idée d'un équivalent, pour la conscience, du tensiomètre peut sembler absurde. Mais le développement de plusieurs techniques ces dernières années a ouvert de réelles perspectives d'obtenir des détecteurs répondant aux critères recherchés : des appareils utilisables en médecine et en recherche pour déterminer si une personne ressent quelque chose. Un tel outil aiderait aussi les médecins et les familles concernées à décider de la prise en charge de dizaines de milliers de patients incapables de communiquer.



> Envisager le développement d'un outil de mesure de la conscience requiert de s'intéresser aux dynamiques internes de notre vie mentale. Cette activité fluctue en quelques fractions de seconde, ce qui impose de mesurer les signaux cérébraux sur une échelle de temps similaire. L'outil physiologique le plus important pour évaluer la conscience à partir de l'exploration du cerveau a été, et continue d'être, l'électroencéphalographie, ou EEG.

C'est un psychiatre allemand qui, dans l'entre-deux-guerres, a développé cette technique. Hans Berger a consacré sa vie à rechercher le lien entre l'expérience subjective et l'activité du cerveau. En 1924, il enregistra pour la première fois les ondes cérébrales d'un patient – des travaux qu'il publia en 1929. L'EEG est ensuite peu à peu devenue l'outil fondamental de tout un domaine médical, la neurophysiologie clinique.

Bien sûr, l'EEG n'est pas le seul moyen d'enregistrer l'activité cérébrale. Les outils les plus répandus mesurent les dynamiques du flux sanguin à l'intérieur du cerveau à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou détectent, par magnétoencéphalographie, le champ magnétique induit par l'activité électrique des neurones. Mais ces instruments, de même que des techniques plus récentes comme la spectroscopie dans l'infrarouge proche, ne sont pas encore exploitables en routine à l'hôpital à cause de diverses difficultés méthodologiques et pratiques.

ENREGISTRER LES ONDES CÉRÉBRALES

L'EEG mesure les minuscules fluctuations de potentiel électrique (de 10 à 100 microvolts) qu'engendre l'activité électrique à travers le néocortex, la surface externe du cerveau responsable de la perception, de l'action, de la mémoire et de la pensée. Les principaux contributeurs de l'activité électrique collective qui, pense-t-on, produit les signaux enregistrés sont les neurones pyramidaux du cortex, nommés ainsi à cause de leur forme tétraédrique. On déduit indirectement la contribution de structures plus profondes, telles que le thalamus, à travers leur action sur les cellules corticales.

La technique, non invasive, fonctionne au moyen d'électrodes placées sur le cuir chevelu. Avec l'apparition des systèmes d'EEG à haute densité (comportant jusqu'à 256 électrodes), les cartes montrant la distribution de l'activité électrique dans le cerveau sont devenues courantes. Certes, placer les électrodes enduites d'un gel humide et conducteur sur la peau nettoyée du crâne est contraignant, chronophage et propice aux erreurs si les électrodes bougent, ce qui limite l'utilisation de cette technique. Mais grâce aux nouvelles électrodes, sèches et plus sensibles, l'EEG s'est répandue au-delà

des hôpitaux. Elle permet par exemple à des athlètes de surveiller leur activité cérébrale pendant plusieurs heures et ainsi de s'entraîner à se concentrer, ou à des personnes insomniaques de mieux connaître leur sommeil naturel afin de le prolonger.

Depuis la fin des années 1940, un électroencéphalogramme «actif» était la preuve la plus sûre qu'un sujet est conscient. Cet état se caractérise par des oscillations de faible amplitude, rapides, fluctuantes et désynchronisées. En général, plus la fréquence d'oscillation du signal diminue, plus la probabilité est faible que le sujet soit conscient. Mais cette règle souffre de suffisamment d'exceptions pour qu'on ne l'utilise pas comme base de détection de la conscience. Par conséquent, des scientifiques et des médecins se sont mis en quête de techniques de mesure plus fiables. Ils ont ainsi mis au point un nouvel outil fondé sur une propriété fondamentale de toute expérience consciente.

Avant de s'y arrêter, il est important d'en savoir plus sur les patients dont les médecins ont besoin de détecter la conscience et sur les raisons de ce besoin. Les médecins distinguent deux classes de patients (nous ne parlons ici



Les médecins ont besoin de détecter la conscience de deux classes de patients

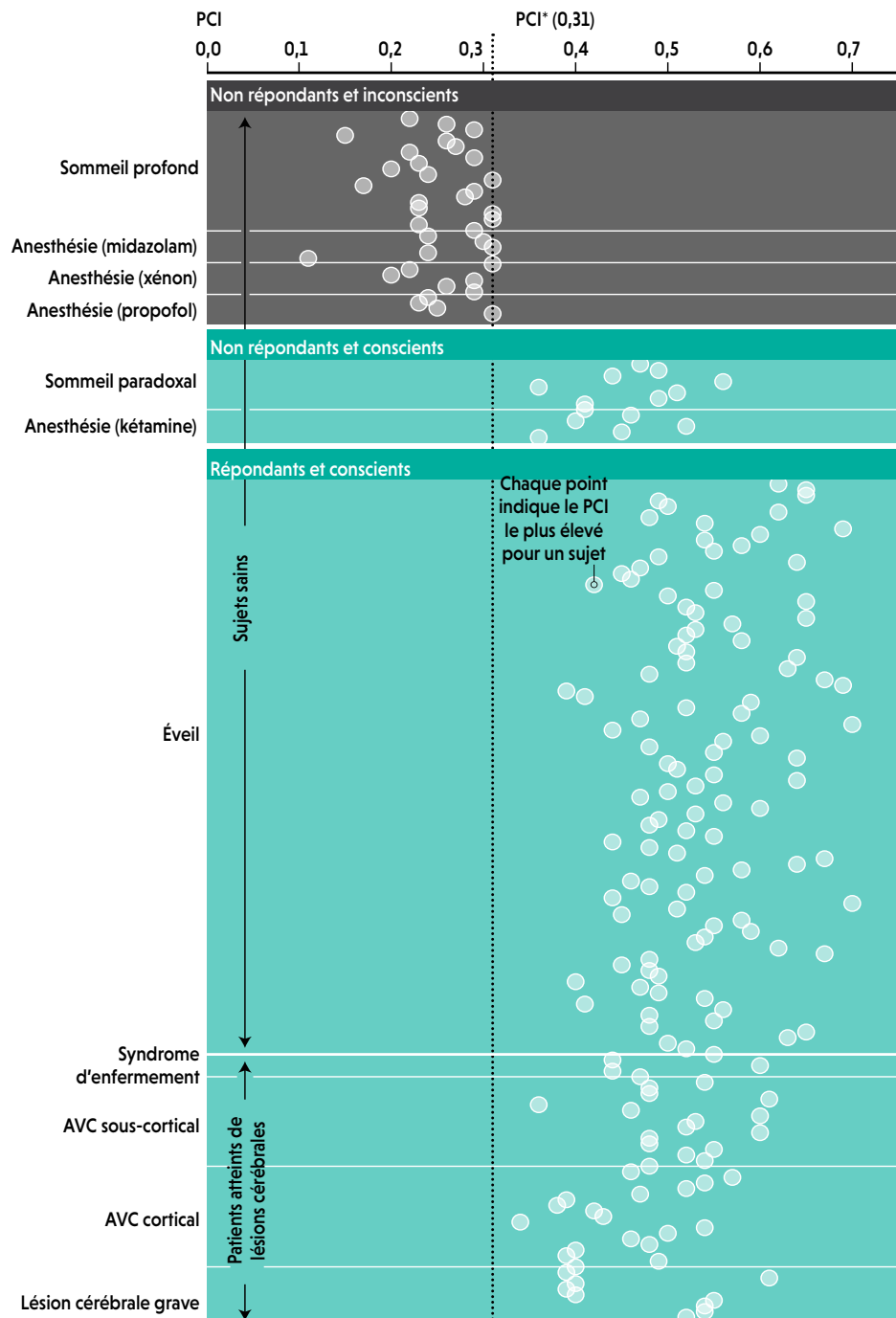


que d'adultes; les patients en pédiatrie représentent un tout autre défi qui ne sera pas développé ici). La première classe est constituée d'adultes souffrant de sérieux troubles de la conscience dus à un traumatisme crânien, à des infections du cerveau (encéphalite infectieuse) ou des membranes qui le protègent (ménigite), à un accident vasculaire cérébral ou à des intoxications à la drogue ou à l'alcool. Après leur accident cérébral, les patients se stabilisent, mais demeurent infirmes et alités, incapables de parler ou d'exprimer leurs pensées et leurs intentions. Avec des soins adaptés pour éviter escarres et infections, ces patients vivent parfois pendant des années dans cet état.

Au sein de cette classe, les médecins distinguent plusieurs catégories. Les patients dans >

LA TECHNIQUE DU ZAP AND ZIP

Silvia Casarotto, de l'université de Milan, et ses collègues ont recruté 102 sujets sains et 48 atteints de lésions cérébrales, réveillés et répondants, pour les soumettre à leur test de détection de la conscience. À l'aide d'impulsions magnétiques, ils ont stimulé les cerveaux des participants (le zap) dans des états conscients et inconscients, puis mesuré leur réponse par électroencéphalographie. Ce résultat était ensuite analysé grâce à un algorithme de compression (le « zip »). Une valeur, nommée indice de complexité perturbacionnelle (PCI), a été calculée pour chaque mesure et les participants ont été interrogés sur leur état de conscience. Résultat : les sujets conscients avaient un PCI supérieur à 0,31 (PCI*), et les sujets inconscients un score inférieur. Réalisé avec ce même seuil sur des patients dans le coma, ce test a révélé que certains étaient conscients (résultats non représentés).



> un état végétatif, mieux décrit par le terme moins péjoratif de « syndrome d'éveil non répondant », alternent des phases de sommeil et d'éveil. Pourtant, les tentatives de communication à leur chevet (« Si vous m'entendez, pressez ma main ou clignez des yeux ») échouent. Ces patients avalent, bâillent, ouvrent et bougent leurs yeux ainsi que leur tête, mais pas de manière intentionnelle. Leurs actions sont dépourvues de volonté et seuls persistent les réflexes cérébraux de base, c'est-à-dire l'activité contrôlant les processus fondamentaux tels que la respiration, les transitions éveil-sommeil, le rythme cardiaque, les mouvements des yeux et les réactions de la pupille à la lumière.

Absence de preuve de conscience ne signifie pas preuve de l'absence de conscience

Beaucoup se souviennent de Terri Schiavo, une patiente de Floride qui, après un arrêt cardiaque, a vécu quinze ans en état d'éveil non répondant, jusqu'à ce que la justice américaine autorise son euthanasie en 2005. Les patients de cette catégorie représentent un phénomène moderne et doivent leur survie aux numéros d'urgence, aux hélicoptères et aux soins médicaux avancés d'aujourd'hui. Aux États-Unis, plus de 10 000 patients se trouvent dans cet état en vivant dans des établissements de soins palliatifs, des maisons de santé ou chez eux (en France, ils étaient environ 1 500 en 2002, selon le *Bulletin officiel*. En Belgique en 2010, on comptait par an 150 nouveaux cas pour un million d'habitants, un chiffre stable et similaire pour la France).

Il est tentant de considérer que ces patients n'éprouvent rien puisqu'ils sont incapables d'interagir avec leur environnement, mais l'absence de preuve ne signifie pas preuve de l'absence. Les patients en état d'éveil non répondant sont-ils capables de ressentir la douleur, le stress, l'anxiété, la solitude, la résignation, un flot de pensées... ou absolument rien? Difficile de répondre. Selon plusieurs études, 20% des patients en état d'éveil non répondant sont conscients et mal diagnostiqués. Pour la famille et les amis qui prennent soin du patient pendant >

« LA CONSCIENCE, 50 NUANCES DE GRIS ET PLUSIEURS DIMENSIONS »

Comment vous êtes-vous lancé dans ces travaux ?

Quand j'ai commencé mes recherches, dans les années 1990, la conscience était un sujet tabou. Puis l'effort pour la comprendre est devenu international. Plusieurs hypothèses ont été proposées, dont une qui m'a particulièrement intéressé, de Giulio Tononi, médecin et mathématicien à l'université du Wisconsin à Madison: pour qu'un système soit conscient, il faut que l'information y soit engrangée de façon intégrée – l'information reçue ne peut pas être divisée en composantes discrètes et indépendantes. S'appuyant sur cette idée, Giulio Tononi a construit une théorie mathématique qui, certes, n'explique pas comment la matière devient pensée, mais a le mérite d'inviter la communauté scientifique à la mettre à l'épreuve.

C'est ainsi que Marcello Massimini, à l'université de Milan, a développé une technique qui mesure la connectivité dans le cerveau en couplant stimulation magnétique transcrânienne (le « zap ») et électroencéphalographie (*voir l'article*). Il a montré grâce à elle que la connectivité diminue quand on est endormi. J'ai eu très vite connaissance de cette technique et j'ai invité à Liège pour la tester chez des personnes dans le coma. On s'est alors aperçu que les réponses différaient beaucoup d'un patient à l'autre et qu'il existait un syndrome de déconnexion: le cerveau abîmé n'a plus la capacité d'intégrer l'information. De plus, les électroencéphalogrammes obtenus sont complexes – plus de 60 électrodes mesurent chacune un signal dans le temps. Nous avons donc



STEVEN LAUREYS
directeur du Coma Science Group
à l'université et au CHU de Liège,
coauteur des études menées
avec la technique « zap and zip »

Propos recueillis par MARIE-NEIGE CORDONNIER

cherché à réduire l'information qu'ils contenaient à un chiffre, l'indice PCI.

En quoi consiste cet indice ?

Pour l'élaborer, Adenauer Casali, dans le laboratoire de Marcello Massimini, a proposé d'effectuer une sorte de compression « zip » : à partir de l'électroencéphalogramme, il a construit une matrice traduisant le schéma d'activation spatio-temporelle du cerveau, c'est-à-dire résumant quelles zones s'activent et à quels moments. Le PCI mesure la complexité de cette matrice et donc de la connectivité cérébrale.

Quand une personne est dans le coma ou en éveil non répondant, soit la réponse est stéréotypée ou quasi absente, soit tout s'allume, signe qu'il n'y a pas d'intégration d'information. Ainsi, c'est bien la complexité de la réponse induite par les chocs de stimulation qui est captée lors

de la mesure. L'indice illustre le fait que pour être conscient, il faut que nos milliards de neurones soient bien connectés et que cette connectivité ne soit pas juste structurelle, mais aussi fonctionnelle.

Quel est l'intérêt d'une telle mesure ?

Le PCI vient compléter le diagnostic, car il évalue la capacité de conscience du patient indépendamment de sa capacité à traiter des stimuli extérieurs ou à bouger, puisqu'on stimule directement le cerveau. Que le patient comateux soit sourd, paralysé ou aphasique, le test va fonctionner, alors qu'un doute subsiste lorsque le patient ne répond pas à un test neurologique classique comme lui demander de bouger la main.

De plus, le PCI se révèle en accord avec les autres tests techniques actuellement disponibles : dans notre groupe, Olivier Bodart a récemment montré qu'il est corrélé avec l'activité métabolique du cerveau, mesurée en tomographie par émission de positrons. Il semble aussi qu'il soit corrélé avec le degré de connectivité structurelle mesuré avec l'imagerie par résonance magnétique. En associant ces techniques ainsi que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle – une autre approche du fonctionnement du cerveau –, on espère affiner le diagnostic et le pronostic. Si ces examens suggèrent que le patient a une forme de conscience, cela signifie qu'il peut percevoir la douleur et on lui administrera des antidouleurs. Son pronostic étant meilleur, on intensifiera aussi la rééducation.

Par ailleurs, ces tests peuvent guider les interventions thérapeutiques : nous travaillons notamment sur la stimulation cérébrale non invasive, une stimulation

électrique à courant continu qui améliore l'état de conscience de certains patients. Avec la mesure du PCI, nous essayons de comprendre pourquoi certaines personnes répondent à ce traitement et d'autres non.

Quelles sont les limites de ce test ?

La technique est chère. La machine coûte à elle seule un demi million d'euros et son utilisation, compliquée, nécessite des experts. Tant l'acquisition du signal que l'analyse sont longues et délicates. On n'est pas près de l'utiliser en routine en hôpital. Ensuite, on ne peut pas réduire la conscience à un seul chiffre. L'erreur historique a été de croire que la conscience est tout ou rien. C'est plutôt 50 nuances de gris et plusieurs dimensions : la conscience du monde extérieur, du monde intérieur, l'attention, l'éveil, les émotions, la mémoire... La limiter à un chiffre est utile, mais insuffisant. Il faut aussi capter ses dimensions et subtilités.

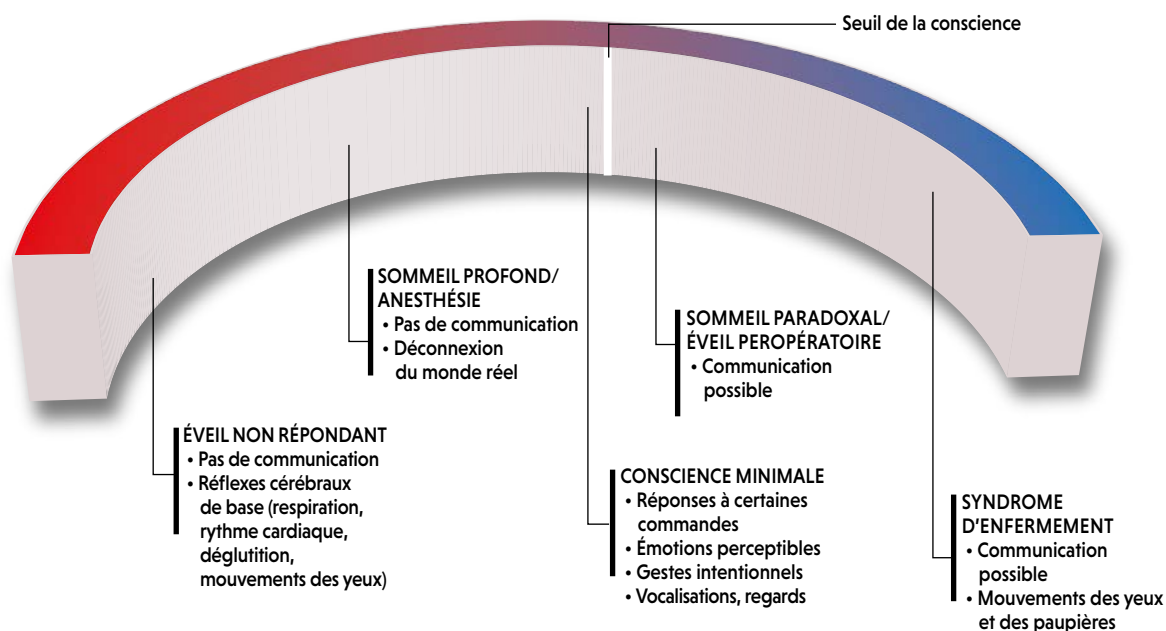
Quelles sont les perspectives ?

Chaque semaine, des patients de toute l'Europe sont envoyés dans notre service pour passer ces tests. On travaille ainsi à identifier quel test est nécessaire pour quel type de patient afin de rationaliser leur prise en charge, aussi bien pour leur rééducation que pour les décisions très difficiles d'arrêt de traitement ou de fin de vie. On s'aperçoit malheureusement que beaucoup de ces patients sont négligés. Dans certaines régions, notamment en France, on ne trouve pas de centre de rééducation. Une priorité est de leur assurer un parcours de rééducation, des centres pour les accueillir, puis des maisons de repos et de soin, l'accompagnement au domicile. Il ne suffit pas de mesurer un PCI.

On travaille aussi avec des chercheurs du *Human Brain Project*, ce projet européen visant à modéliser la conscience, qui vont tester notre technique chez l'animal et même sur des ordinateurs. Nous menons enfin des études avec des experts en méditation bouddhique, dont Matthieu Ricard, le seul qui ait réussi à modifier volontairement son PCI, afin non seulement de mieux comprendre les effets de la méditation sur le cerveau, mais aussi de tester nos théories sur la conscience. ■



Pour déterminer le niveau de conscience, l'équipe de Steven Laureys applique au sujet une stimulation magnétique transcrânienne et mesure par électroencéphalographie sa réponse cérébrale, dont elle quantifie la complexité.



> des années, savoir si leur proche est présent mentalement change considérablement la donne.

La situation est moins ambiguë pour les patients en état de conscience minimale. Incapables de parler, ils sont néanmoins en mesure de répondre à certaines commandes, mais souvent de manière imperceptible, imprévisible et entrecoupée de longs silences; de pleurer ou de sourire légèrement dans les situations émotionnelles appropriées; de vocaliser ou d'esquisser un geste de temps à autre ou de suivre des objets du regard. Pour ces patients, l'hypothèse est qu'ils ressentent quelque chose de façon minimaliste, au moins à certains moments.

La seconde classe de patients dont les médecins ont besoin d'évaluer la conscience est totalement différente. Il s'agit d'individus comme vous et moi, dont le cerveau fonctionne normalement et qui subissent une intervention chirurgicale, que ce soit pour retirer une tumeur, réparer un genou ou soigner une autre partie du corps. Pendant quelques heures, l'anesthésie élimine la douleur et autres expériences conscientes, évite le mouvement et stabilise le système nerveux autonome, qui contrôle la respiration et d'autres fonctions.

Les patients sombrent en espérant ne pas se réveiller pendant la chirurgie et ne pas avoir à affronter, plus tard, des souvenirs traumatisants de l'opération qui pourraient les hanter toute leur vie. Malheureusement, cet objectif n'est pas toujours atteint. On estime que le réveil de la conscience sous anesthésie, ou «éveil peropératoire», survient dans environ 1 cas sur 1000, en particulier quand, durant une procédure, un anesthésiste paralyse le patient pour faciliter son intubation ou prévenir le mouvement des muscles. Aux États-Unis, des millions de personnes subissent chaque année

On sait aujourd'hui que la conscience n'est pas binaire. Il existe un large éventail d'états de conscience, entre la perte totale de conscience et l'état éveillé du sujet sain. Quelques états ont été décrits (*ci-dessus*), mais même au sein de chacun, des variations existent...

une anesthésie générale (elles sont plusieurs millions en France aussi); on compte donc des milliers d'éveils peropératoires.

Actuellement, les électroencéphalogrammes effectués durant une opération surveillent la profondeur de l'anesthésie. Mais parmi la vaste gamme d'agents anesthésiques, aucun n'agit de la même façon sur l'ensemble des patients – des nouveau-nés aux personnes âgées. Il faudrait un outil capable de détecter la conscience chez chaque individu et dans un large spectre d'états: normaux et pathologiques, aigus (anesthésie) et chroniques.

LA NATURE DE L'EXPÉRIENCE CONSCIENTE

Pour détecter la conscience, il est nécessaire de prendre en compte deux caractéristiques essentielles de toute expérience subjective, qu'elle soit banale ou hors du commun. D'abord, par définition, chaque expérience est unique. Elle est propre au lieu et au moment où elle survient. Chacune contient énormément d'informations. Prenez par exemple la richesse visuelle d'une randonnée dans les Rocheuses ou d'une autre dans la chaîne des Cascades, aux États-Unis. Combinez ensuite ces images avec d'autres entrées sensorielles, comme les sons et les odeurs, les émotions et les souvenirs associés à l'une ou l'autre randonnée. Chaque randonnée est ainsi distincte à sa manière. Ensuite, chaque expérience forme un tout indissociable. On ne peut séparer ce que l'on a ressenti en voyant la fumée noire s'élever au-dessus des tours jumelles

le 11 septembre 2001 en une demi-expérience de la tour Nord et une autre de la tour Sud.

Actuellement, la théorie de la conscience la plus prometteuse qui réunisse ces deux caractéristiques est la théorie de l'information intégrée. Imaginée par Giulio Tononi, psychiatre et neuroscientifique à l'université du Wisconsin à Madison, cette théorie, formalisable mathématiquement, souligne les caractères différenciés et intégrés de toute expérience subjective et postule que le mécanisme soutenant l'expérience consciente dans le néocortex du cerveau humain doit incorporer ces deux attributs. En d'autres termes, elle postule qu'à chaque propriété associée à une expérience correspond une propriété du système cérébral de la conscience, qui en est la cause. Ainsi, à chaque expérience (représentée par l'ensemble des propriétés qui lui sont associées) correspond une structure physique complexe irréductible responsable de cette expérience. Giulio Tononi a traduit ces idées en un calcul formel qui fournit une mesure de l'irréductibilité de cette structure complexe. Et puisqu'il y a correspondance avec l'expérience vécue, cette mesure reflète la qualité de celle-ci, c'est-à-dire la qualité de l'information engrangée.

Pour tester cette théorie, Giulio Tononi, le neurologue et neuroscientifique Marcello Massimini, aujourd'hui à l'université de Milan, en Italie, et leurs collègues ont conçu dans les années 2000 une méthode fondée sur l'EEG.

Le cerveau en sommeil profond se comporte comme une cloche mal accordée

Celle-ci fournit une approximation très grossière du calcul formel de la théorie de l'information intégrée. L'équipe a vérifié sa pertinence en l'utilisant, avec succès, pour déterminer si six volontaires en bonne santé étaient conscients et se reposaient les yeux fermés, ou s'ils étaient profondément endormis et donc inconscients.

Le cerveau d'une personne profondément endormie se comporte comme une cloche mal accordée: alors que l'amplitude initiale du signal enregistré sur l'électroencéphalogramme

est plus grande que durant l'éveil, sa durée est beaucoup plus courte et ce signal ne se propage pas à travers le cortex jusqu'aux régions connectées. Bien que les neurones restent actifs lors du sommeil profond, comme en témoigne la forte réponse dans une région localisée du cerveau, l'intégration a été rompue. Il ne persiste qu'une infime part de l'activité électrique observée dans le cerveau éveillé.

Distinguer la réponse du cerveau éveillé ou en sommeil profond peut sembler évident, mais la méthode a été étendue à des tâches autrement plus difficiles où il s'agit de différencier toute une variété d'états cérébraux. Ainsi, dans les années qui ont suivi la mise au point de la méthode, Giulio Tononi, Marcello Massimini et dix-sept autres médecins et neuroscientifiques, dont Steven Laureys, du Coma Science Group, à Liège, ont testé la procédure chez nombre d'autres sujets et publié leurs résultats en 2016 (voir l'encadré pages 30 et 31).

STIMULER, ENREGISTRER, COMPRESSER

La méthode, nommée stimulation magnétique transcrânienne, consiste à stimuler le cerveau (*zap the brain* en anglais) en envoyant une impulsion magnétique via une bobine de fil électrique confinée et maintenue contre le cuir chevelu. Cette technique induit un bref courant électrique dans les neurones corticaux sous-jacents. Ces neurones entraînent à leur tour d'autres neurones dans une cascade qui se répercute dans le cerveau jusqu'à ce que le courant électrique disparaisse, en une fraction de seconde. Imaginez le cerveau comme une grande cloche dont le battant serait la stimulation magnétique transcrânienne. Une fois frappée, une cloche bien accordée fera retentir sa note pendant un temps considérable, comme le fait le cerveau éveillé.

L'activité électrique du cerveau est enregistrée au moyen d'un casque d'EEG à haute densité porté par le patient. L'expérience est reproduite environ deux cents fois pour une même région corticale stimulée et répétée sur différentes régions. Dans un cerveau éveillé, dont la connectivité est intacte, le suivi des différentes régions cérébrales en réponse à la stimulation révèle, dans la majeure partie du cortex, une activité ni totalement prévisible ni complètement aléatoire, emblématique de ce que l'on qualifie de complexe. Les chercheurs estiment sa complexité, c'est-à-dire le degré de variation de la réponse à travers le cortex et le temps, en utilisant une mesure mathématique saisissant cette diversité. Empruntée à l'informatique, la technique s'appuie sur l'algorithme de compression «zip» qui réduit la taille de stockage des images et des films. D'où le nom de *zap and zip* donné dans le milieu à l'ensemble de la procédure.

> Dans la dernière étape, on associe une valeur à la réponse cérébrale de chaque personne ainsi estimée: l'indice de complexité perturbative (*perturbational complexity index* ou PCI). Si le cerveau ne réagit pas à la stimulation magnétique – par exemple quand l'activité corticale est supprimée ou très faible –, le PCI est proche de 0. Si, en revanche, la complexité de la réponse cérébrale est maximale, le PCI vaut 1. Plus le PCI est élevé et plus la réponse du cerveau à l'impulsion magnétique est variée.

NEUF PATIENTS NON RÉPONDANTS, MAIS CONSCIENTS

Le principe de l'étude de 2016, qui impliquait des patients de cliniques spécialisées en Belgique et en Italie, est simple. Dans un premier temps, la procédure *zap and zip* a été appliquée à une population contrôle afin d'en déduire une valeur seuil – notée PCI* – au-dessus de laquelle le sujet est supposé conscient. Dans tous les cas où il est possible d'établir avec certitude que le sujet est conscient, le PCI de cette personne doit être supérieur au PCI* et dans tous les cas où le sujet est inconscient, son PCI doit être inférieur à ce seuil. Cette procédure établit le PCI* comme un seuil critique – la valeur minimale associée à une activité cérébrale complexe – au-delà duquel la conscience est décelée. Dans un second temps, ce seuil a été utilisé pour déduire si des patients dont le diagnostic de conscience ne peut être posé avec les méthodes conventionnelles étaient conscients.

La population de référence utilisée pour calibrer la procédure comprend deux groupes. L'un est constitué de 102 volontaires en bonne santé suivis dans différents états conscients et inconscients. Pour les états conscients, les sujets étaient éveillés ou en train de rêver durant le sommeil paradoxal (les chercheurs vérifiaient que le sujet était conscient en le réveillant à un moment aléatoire de cette période du sommeil: les électroencéphalogrammes n'étaient inclus dans les résultats finaux que si le sujet rapportait avoir rêvé juste avant son réveil). Les électroencéphalogrammes ont aussi été pratiqués sur des sujets sains anesthésiés avec de la kétamine, un agent pharmacologique qui déconnecte l'esprit du monde extérieur sans éteindre la conscience (à faible dose, la kétamine est utilisée comme drogue hallucinogène, connue sous le nom de vitamine K).

Pour les états inconscients, l'électroencéphalogramme a été mesuré pendant le sommeil lent profond (lorsque les participants ne rapportaient aucun rêve juste avant leur réveil par l'équipe) et sous une anesthésie semblable à celles pratiquées en chirurgie, produite à l'aide de trois agents différents (le midazolam, le xénon et le propofol). L'étude a aussi inclus

48 patients atteints de lésions cérébrales, mais répondants, qui ont été évalués pendant l'éveil: ils constituent les sujets témoins.

Les chercheurs ont découvert que la présence de la conscience pouvait être déduite avec exactitude chez chacun des sujets pour un PCI* de 0,31. En d'autres termes, pour chacune des 540 conditions testées, si la réponse électrique était inférieure à ce seuil, le sujet était inconscient. Sinon, il était conscient. Les 150 sujets – les volontaires en bonne santé comme les patients atteints de lésions cérébrales – ont été correctement classés. Cette réussite est remarquable étant donné la diversité de la cohorte en termes de genre, d'âge, de régions cérébrales stimulées et de conditions médicales et comportementales.

L'équipe a ensuite appliqué le *zap and zip* avec cette valeur seuil à un autre groupe de participants atteints de graves troubles de la conscience: des patients en état de conscience minimale ou d'éveil non répondant. Chez les premiers, la méthode a correctement attribué une conscience à 36 des 38 patients, et mal diagnostiqué les deux autres comme inconscients. Parmi les 43 patients non répondants, 34 ont affiché une réponse cérébrale dont la complexité était inférieure à celle de la population de référence à l'état conscient – un résultat attendu. La complexité de leurs électroencéphalogrammes était comparable à celle du groupe de référence quand aucune conscience n'était détectée.

Les résultats obtenus avec les 9 autres patients non répondants étaient bien plus troublants. La réponse de ces patients aux impulsions magnétiques était un signal électrique complexe qui les situait au-dessus du seuil. En d'autres termes, la complexité de leur réponse cérébrale était aussi élevée que celle des sujets conscients de la population de référence. Ces patients pourraient donc ressentir quelque chose, bien qu'ils soient incapables de communiquer avec le monde extérieur et leurs proches.

Comme toute expérience couronnée de succès, celle-ci ouvre la voie à de nouvelles interrogations. Comment améliorer la méthode du *zap and zip* pour qu'elle soit totalement fiable chez les patients en état de conscience minimale? Quel résultat donnerait-elle sur d'autres groupes de patients, comme des individus en catatonie (le dernier stade de la démence), les nouveau-nés ou les jeunes enfants? Des analyses psychologiques ou comportementales pourraient-elles corroborer la conscience détectée chez les patients non répondants? Cette méthode serait-elle une piste vers un outil pronostic, capable d'indiquer si certains patients non répondants sont sur la voie de la guérison? Toutes ces questions nécessitent d'être saisies à bras-le-corps. Souhaitons que cette étape majeure vers la compréhension des liens entre corps et esprit... stimule nombre de corps et d'esprits. ■

BIBLIOGRAPHIE

Silvia Casarotto et al., **Stratification of unresponsive patients by an independently validated index of brain complexity**, *Annals of Neurology*, vol. 80(5), pp. 718-729, 2016.

A. G. Casali et al., **A theoretically based index of consciousness independent of sensory processing and behavior**, *Science Translational Medicine*, vol. 5(198), 198ra105, 2013.

O. Gosseries et S. Laureys, **La conscience, comment la déceler ?**, *Pour la Science*, n° 422, pp. 106-112, 2012.

M. Massimini et al., **Breakdown of cortical effective connectivity during sleep**, *Science*, vol. 309, pp. 2228-2232, 2005.

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE**



FORMULE
INTÉGRALE
-41%



99€

FORMULE
PASSION
-27%



79€

FORMULE
DÉCOUVERTE
-25%



59€

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ OUI, JE M'ABONNE À **POUR LA SCIENCE** POUR 1 AN,
JE CHOISIS MA FORMULE CI-DESSOUS :

☐ FORMULE **INTÉGRALE**
12 n° de *Pour la Science* + 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives en ligne depuis 1996

11A99E

99€
Au lieu de 168,45€*

☐ FORMULE **PASSION**
12 n° de *Pour la Science*
+ 4 Hors-Séries

P1A79E

79€
Au lieu de 108,45€*

☐ FORMULE **DÉCOUVERTE**
12 n° de *Pour la Science*

D1A59E

59€
Au lieu de 78,45€*

J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Téléphone : _____

• Mon e-mail : (à remplir en majuscule)

@

J'accepte de recevoir les informations de *Pour la Science* ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

• Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

N° : _____

Date d'expiration : _____ Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB) : _____

Signature obligatoire

* Par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 30/06/2018 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à *Pour la Science*. Photos non contractuelles.

**LIONEL
NACCACHE**

est coresponsable de l'équipe
PICNIC Lab, à l'Institut du
cerveau et de la moelle
épinière, à Paris



Le concept même de conscience minimale est à revoir



GRÂCE À DE NOUVELLES APPROCHES COMBINANT
NEURO-IMAGERIE ET MATHÉMATIQUES, ON ÉVALUE
DE MIEUX EN MIEUX L'ÉTAT DE CONSCIENCE D'UNE PERSONNE
– SUFFISAMMENT POUR RÉVISER LA CLASSIFICATION
DES ÉTATS DE LA CONSCIENCE.

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.



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

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.



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 paralyés, 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.

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE** EN TOUTE LIBERTÉ



FORMULE
INTÉGRALE
-42%



8,20€*

FORMULE
PASSION
-28%



6,50€*

FORMULE
DÉCOUVERTE
-25%



4,90€*

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ OUI, JE M'ABONNE À **POUR LA SCIENCE** EN PRÉLÈVEMENT AUTOMATIQUE, JE CHOISIS MA FORMULE ET JE COMPLÈTE L'AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT CI-DESSOUS.

☐ FORMULE **INTÉGRALE**
12 n° de Pour la Science + 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives en ligne depuis 1996

8,20€
Par mois
-42%
IPV8E20

☐ FORMULE **PASSION**
12 n° de Pour la Science
+ 4 Hors-Séries

6,50€
Par mois
-28%
PPV6E50

☐ FORMULE **DÉCOUVERTE**
12 n° de Pour la Science

4,90€
Par mois
-25%
DPV4E90

MES COORDONNÉES

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____

Code postal : _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____ @ _____

J'accepte de recevoir les informations de **Pour la Science** ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA

PAG18483STD

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) : _____

IBAN : _____

(Numéro d'identification internationale du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier : Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse - 75014 Paris
N° ICS FR92ZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

Merci de joindre impérativement un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

* Par mois et par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 30/06/2018 en France métropolitaine. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre. Photos non contractuelles.