

> ingrédient cérébral supplémentaire? Un cerveau conscient n'est pas simplement un cerveau éveillé; c'est également un cerveau qui est le siège d'une conversation neuronale très particulière opérant entre des régions distantes du cortex.

Cette structure de notre cerveau est, rappelons-le, constituée d'une mosaïque d'aires dévolues à des fonctions aussi différentes que la vision, le toucher, l'intégration d'informations sur notre environnement social, la perception des visages, l'audition, la planification de l'avenir, etc.

Lorsque nous sommes conscients, différentes aires du cortex, parfois distantes de plusieurs centimètres (une distance considérable à l'échelle des cellules de notre corps), conversent les unes avec les autres d'une façon bien particulière. Elles le font tout d'abord de façon cohérente, c'est-à-dire que l'activité des neurones est, dans ces différentes aires, en partie synchronisée; la communication est par ailleurs complexe, au sens où si l'on cherche à compresser les informations qu'elle véhicule à l'aide d'un logiciel de compression numérique, on conserve malgré tout une information qui reste riche et diverse; enfin, il s'agit d'une information différenciée, dont les caractéristiques diffèrent

Dans le cerveau conscient, des aires distantes ont de riches échanges d'information

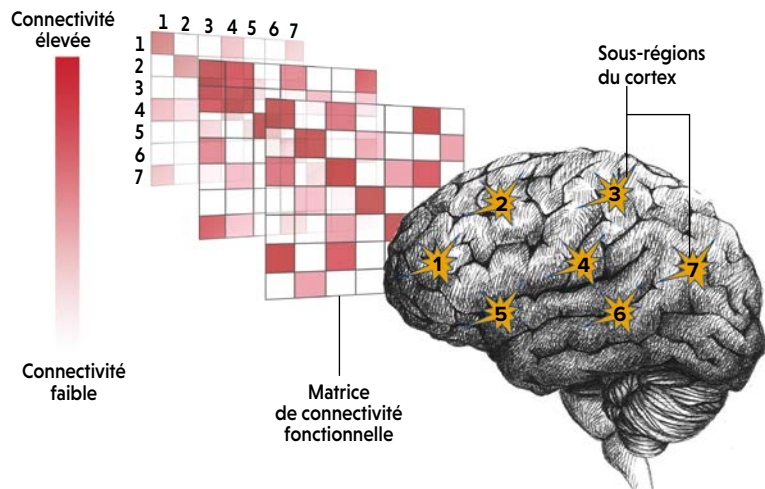
selon les aires corticales engagées dans cette conversation.

Dans certaines situations pathologiques, cette conversation devient excessive, appauvrie et indifférenciée; c'est typiquement ce qui survient lors d'une crise d'épilepsie accompagnée d'une perte de conscience. Autrement dit, pour être conscient, le cerveau doit se trouver dans un mode de communication suffisant, mais non excessif.

Récapitulons: pour être conscient, un cerveau doit être d'une part éveillé, et d'autre part le siège d'une activité spécifique, à la fois cohérente, complexe et différenciée selon les critères qui précèdent. Or il est aujourd'hui possible de détecter dans l'activité cérébrale la combinaison de ces deux conditions nécessaires et suffisantes à l'état conscient. À l'aide de l'IRM fonctionnelle ou de l'électroencéphalographie, nous parvenons à savoir si un cerveau est conscient, s'il est endormi et inconscient, ou encore s'il est éveillé mais inconscient.

UN ÉTAT DE FORTE CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE

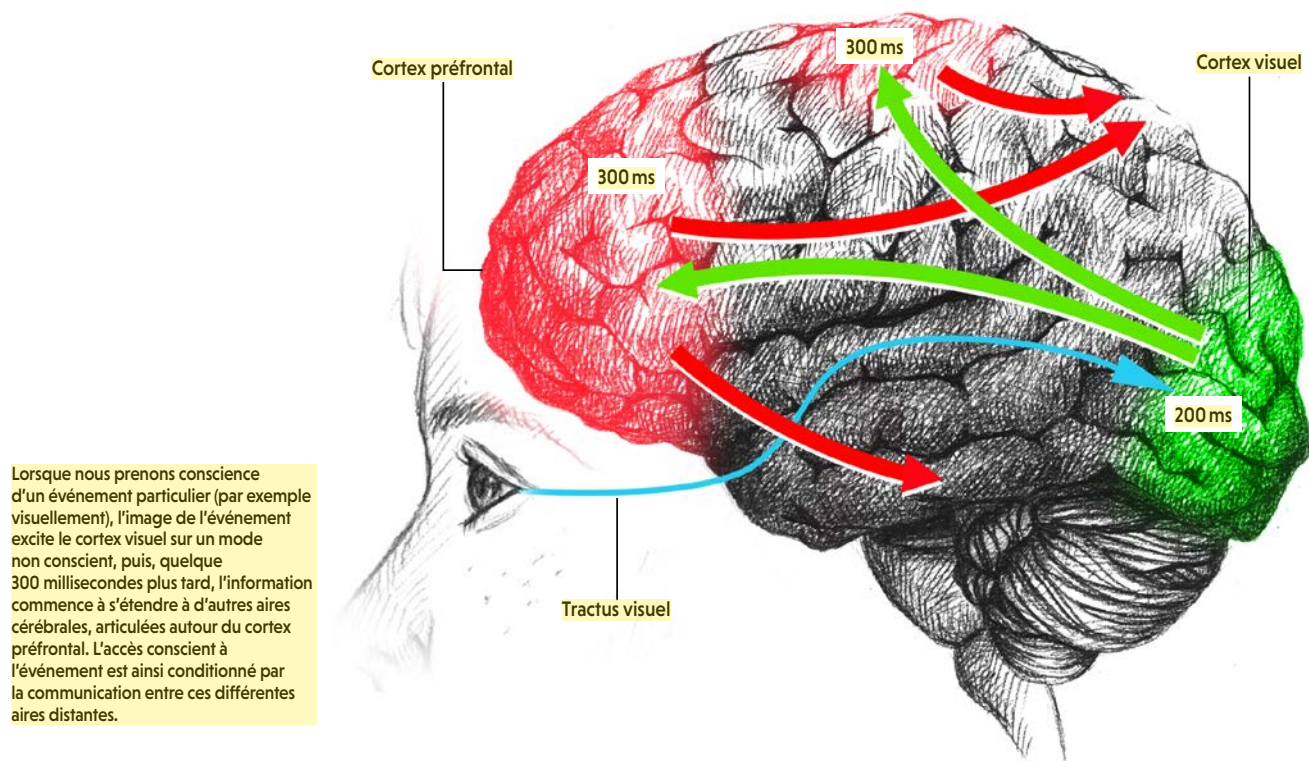
Les états conscients se repèrent par la richesse des communications à longue distance entre différentes sous-régions cérébrales (ici, on en a représenté sept, à seule fin d'illustration). À chaque instant, chaque sous-région du cortex est fonctionnellement connectée à certaines autres sous-régions (elles s'activent de manière analogue au même moment), ce que l'on représente dans un tableau appelé matrice : plus deux régions sont connectées, plus la case située à leur intersection dans le tableau tend vers le rouge. Un cerveau conscient se repère à des transitions rapides entre un très grand nombre de telles matrices, reflétant une connectivité fonctionnelle riche et changeante.



DES SIGNATURES CÉRÉBRALES IDENTIFIABLES

À titre d'exemple, une série de travaux réalisés dans les années 2000 conjointement dans mon laboratoire et celui de Stanislas Dehaene, au centre de neuro-imagerie de l'Inserm et du CEA, au sud de Paris, nous ont permis de caractériser ces signatures cérébrales de l'état conscient. Nous les utilisons auprès de malades plongés dans des états où il leur est impossible de communiquer (par exemple, des patients en syndrome *locked-in*, conscients mais paralysés, ou des sujets éveillés dont on ignore s'ils sont conscients ou non).

Pour identifier de telles signatures cérébrales de la conscience, l'une des pistes de recherche les plus prometteuses consiste à s'intéresser à la dynamique des configurations d'activité cérébrale. Voyons, encore une fois, le cortex sous la forme d'un ensemble de



sous-régions disposées à sa surface, telle une mosaïque. Notre hypothèse est que la signature de cet état conscient réside dans la nature précise des interactions qu'ont ces différentes sous-régions, ce qu'on appelle leur connectivité fonctionnelle.

Concrètement, si deux sous-régions ont tendance à s'activer simultanément, de façon concertée, on considère alors qu'elles sont fonctionnellement connectées. Décrire l'état conscient du cerveau à un instant donné revient alors à mesurer cette connexion fonctionnelle entre toutes les paires possibles de sous-régions cérébrales. Pour ce faire, on construit un tableau constitué d'autant de lignes et de colonnes qu'il y a de sous-régions prises en considération, et l'on reporte dans chaque case de ce tableau – ou matrice – un nombre d'autant plus élevé que la connexion entre les deux aires figurant dans la colonne et la ligne correspondante est intense (*voir l'encadré page ci-contre*).

DES TRANSITIONS D'UNE CONFIGURATION CÉRÉBRALE À UNE AUTRE

À chaque instant, l'état de connexion fonctionnelle du cerveau peut être représenté au moyen d'une telle matrice. Si l'on enregistre l'activité cérébrale à l'aide de l'IRM fonctionnelle pendant une vingtaine de minutes, il est possible d'estimer le nombre de matrices différentes qui semble décrire au mieux la dynamique cérébrale durant cette période.

Une série de travaux récents ont mis en évidence deux résultats originaux. Tout d'abord, le nombre de ces matrices semble plus élevé lorsque le sujet est conscient, par comparaison avec des états d'inconscience tels que le coma, l'état dit végétatif, l'anesthésie générale ou le sommeil profond. Deuxièmement, certaines de ces matrices semblent plus spécifiquement associées à l'état conscient. Lorsque nous sommes conscients, notre cerveau présente une combinaison complexe d'activations et d'inhibitions entre des régions corticales distantes, ce que l'on n'observe pas dans la plupart des états inconscients. Cette façon d'analyser le fonctionnement du cerveau permet véritablement d'isoler des signatures neuronales de l'état conscient, par opposition aux états non conscients.

Nos états conscients sont donc faits de transitions variées d'une configuration cérébrale à une autre (ou, plus précisément, d'une configuration de connexions fonctionnelles à une autre). Cela vaut indépendamment du contenu de notre conscience. Cet état de transition forme en quelque sorte la toile de fond de notre conscience. Sur cette toile de fond surgissent, à différents instants de notre vie, des prises de conscience particulières.

Imaginez-vous au volant de votre voiture traversant un paysage de collines verdoyantes. Votre attention, flottante, gère la conduite en mode semi-automatique, tandis que les notes d'un concerto de Tchaïkovski parviennent >

> distraitement à votre oreille. Soudain, un panneau lumineux annonce un accident à un kilomètre et fait signe de ralentir. Sur la toile de fond de votre conscience surgit brusquement un événement ponctuel qui suscite cette fois une prise de conscience. Comment décrire ce qui se passe alors dans votre tête ?

Afin de répondre à cette question générale, mes collègues et moi avons mené des expériences pour enregistrer l'activité cérébrale lorsque nous percevons un stimulus visuel ou auditif. Grâce à ces études, nous avons mis au jour un scénario en deux étapes.

Tout d'abord, toute perception commence par une étape non consciente (voir la figure page précédente). Au moment où le signal lumineux annonçant l'accident frappe votre rétine, les aires visuelles de votre cerveau commencent à s'activer avant même que vous en perceviez l'image consciemment, pendant environ 300 millièmes de seconde. Puis, au-delà de cette durée, la représentation inconsciente du signal commence à s'amplifier et à diffuser dans d'autres régions du cerveau.

L'ESPACE DE TRAVAIL GLOBAL, SUPPORT DE LA CONSCIENCE

Ces différentes aires qui diffusent l'information font partie de ce que l'on appelle l'espace de travail global conscient : selon la théorie proposée par le psychologue cognitiviste américain Bernard Baars, puis reprise et enrichie d'une version neuronale par Stanislas Dehaene, Jean-Pierre Changeux et moi-même, l'espace de travail global se compose d'un réseau d'aires organisées autour de la partie la plus antérieure de l'encéphale, le cortex préfrontal. Une fois prise en charge à ce niveau, la représentation devient consciente et l'on voit véritablement le signal. Puis l'activité neuronale peut alors atteindre des niveaux de représentation très complexes – notamment le sens des mots apparaissant sur le panneau d'alerte. En 2000, avec Stanislas Dehaene et Laurent Cohen, nous avons ainsi identifié une aire cérébrale qui reconnaît la forme visuelle des mots écrits, puis permet à l'espace global de travail d'en fournir un traitement conscient.

Grâce aux techniques telles que l'électroencéphalographie ou la magnéto-encéphalographie, il est possible de saisir la dynamique temporelle fine de la prise de conscience, à l'échelle de la milliseconde. Trois événements caractéristiques se produisent, qui permettent de repérer à coup sûr ce moment de prise de conscience.

L'un est une amplification soudaine et soutenue de la représentation initiale dans le réseau cérébral perceptif impliqué (par exemple les régions visuelles ou auditives).

Dans le même temps, intervient une modification très spécifique d'un paramètre appelé

puissance spectrale des neurones, qui décrit la contribution relative des principales ondes cérébrales (alpha, bêta, gamma, delta) au signal électrique d'ensemble du cerveau.

Enfin, on note une augmentation concomitante de la connectivité fonctionnelle entre la région perceptive impliquée et les régions qui composent l'espace de travail global (en particulier les cortex pariétaux et préfrontaux).

Ce scénario semble très général, et il faudra tester sa validité dans la prise de conscience de tous ces autres contenus plus difficiles à contrôler pour un expérimentateur : un souvenir, une émotion, une intention...

Ainsi, nous commençons à savoir décrire assez finement la dynamique complexe de l'activité cérébrale qui caractérise nos états conscients. Que le cerveau comporte des signatures physiologiques de la conscience, c'est un fait. Mais qu'il soit suffisant à produire l'intégralité de l'expérience consciente, voilà qui est beaucoup moins certain.

Mon équipe de recherche a récemment montré que lorsque nous prenons conscience d'un stimulus, non seulement notre cerveau présente les signatures décrites plus haut, mais nos pupilles se dilatent, notre cœur accélère. À l'École normale supérieure, l'équipe de Catherine Tallon-Baudry a récemment découvert que la façon dont notre cerveau sent et analyse les battements du cœur pourrait jouer un rôle dans notre conscience de soi. Alors, à quel point ces marqueurs somatiques (liés au corps) de notre vie mentale sont-ils nécessaires à notre vie consciente ?

ÉLUCIDER LES RELATIONS ENTRE LE CERVEAU, LE CORPS ET L'ENVIRONNEMENT

De la même manière, la conscience, et notamment la richesse de ses contenus, requiert très probablement des interactions sociales très précoces, ainsi qu'une histoire individuelle, mais également intersubjective et culturelle. À la suite de l'anthropologue français François Flahault, il est absurde de penser le cerveau et la conscience comme isolés du monde environnant, et comme clivés des interactions avec ce monde qui leur permettent de se constituer. François Flahault voit là une sorte de nouveau dualisme fondé non pas sur une distinction radicale entre l'esprit et le corps, mais sur une distinction tout aussi radicale entre la conscience et le monde dans lequel le sujet se construit.

L'élucidation des relations entre le cerveau, le corps et l'environnement, notamment l'environnement humain et culturel, constitue l'une des grandes questions des sciences de la conscience. À n'en pas douter, cela devrait faire l'objet de travaux originaux et transdisciplinaires au cours des années à venir. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Demertzi et al., **Human consciousness is supported by dynamic complex patterns of brain signal coordination**, *Science Advances*, vol. 5, article eaat7603, 2019.

S. Dehaene et al., **What is consciousness, and could machines have it ?**, *Science*, vol. 358, pp. 486-492, 2017 (voir aussi *Science*, vol. 359, pp. 400-402, 2018 pour des réactions et réponses).

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

L. Naccache, **Le Nouvel inconscient. Freud, Christophe Colomb des neurosciences**, Odile Jacob, 2006.