

Les degrés de la conscience

Plusieurs états indiquent une perte de conscience : le sommeil, l'évanouissement, l'anesthésie, le coma. L'étude de l'état végétatif, un éveil sans conscience, souligne combien les limites de la conscience sont incertaines, mais aussi combien il est urgent de les explorer.

Steven Laureys

L'état végétatif, un syndrome qui peut suivre le coma, est un éveil sans conscience. Cela peut être une étape vers la récupération, mais c'est parfois un état qui dure des années. Le coma correspond à une absence d'éveil et donc de conscience. L'état de conscience minimale est un éveil avec des ébauches de conscience. Le sommeil normal est un état sans conscience, qui peut durer plusieurs heures, mais où la conscience peut-être rappelée rapidement, la vigilance revenant après stimulation. L'évanouissement (ou syncope) est une perte de conscience de courte durée, souvent due à une baisse trop forte de la pression artérielle. L'anesthésie est une perte de conscience provoquée, où l'éveil et, par conséquent, la conscience sont annihilés tant que les substances anesthésiantes sont actives. Ainsi, les « absences de conscience » chez l'homme sont protéiformes. Leur essence même varie. Les frontières entre ces différents états sont floues et, plus encore, le passage de l'état conscient à l'état non conscient dans ces différents scénarios.

La conscience est un concept à multiples facettes qui présente deux composantes principales : la perception consciente de l'environnement et de soi-même (le contenu de la conscience) et l'éveil (la vigilance). Il faut être éveillé pour être conscient. La conscience représente un continuum d'états. Quel est le substrat neuronal de la conscience ? C'est l'une des principales questions ouvertes du monde des neurosciences et plusieurs pistes sont suivies pour l'étudier. Le neuropsychologue Bernard Baars, de San Diego, en Californie, a été le premier à comparer l'activation cérébrale selon que les circonstances permettent ou non l'accès à la

perception consciente. Il a proposé que, pour être consciente, une expérience nécessite une diffusion globale de l'information dans le cerveau (de vastes réseaux de neurones y participent), une cohérence interne (ce qui la différencie du rêve) et des perceptions d'une certaine durée. Quand B. Baars évoque une telle conscience, il l'associe à l'éveil, mais rares sont les groupes qui ont étudié des situations où l'éveil et la perception consciente sont dissociés.

État végétatif ou conscience minimale

C'est précisément ce que nous faisons sur des patients en état végétatif : les patients se « réveillent de leur coma », mais ne présentent pas d'interactions « volontaires » avec leur environnement, c'est-à-dire qu'ils ne communiquent pas et ont uniquement des mouvements réflexes. Nous essayons de déceler par imagerie cérébrale si certaines zones restent malgré tout fonctionnelles chez ces personnes, afin d'évaluer leur conscience. Nous verrons que certaines zones restent activables, mais que cette activité ne suffit pas à prédire la perception consciente et que, de surcroît, les zones activables sont déconnectées des aires du cortex qui semblent nécessaires à la conscience. Nous examinerons aussi l'intérêt que présente l'imagerie cérébrale quand il s'agit de distinguer une personne en état végétatif ou en état de conscience minimale. Voyons d'abord ce qui distingue ces deux altérations de la conscience.

Les patients qui basculent dans le coma après une lésion cérébrale grave et qui survivent grâce à des soins intensifs

toujours plus efficaces s'éveillent et reviennent à la conscience en quelques jours, voire en quelques semaines. Mais certains entrent en état végétatif. Cet état peut être une étape sur le chemin qui conduira à la guérison, mais peut aussi évoluer vers un état irréversible. Un état végétatif permanent – terme qu'il convient d'utiliser avec prudence – indique que le patient ne récupérera jamais. On admet aujourd'hui qu'un patient ne récupérera pas s'il n'est pas sorti de son état végétatif au bout de six mois après une lésion non traumatique (par exemple un arrêt cardiaque) et au bout de 12 mois après une lésion traumatique.

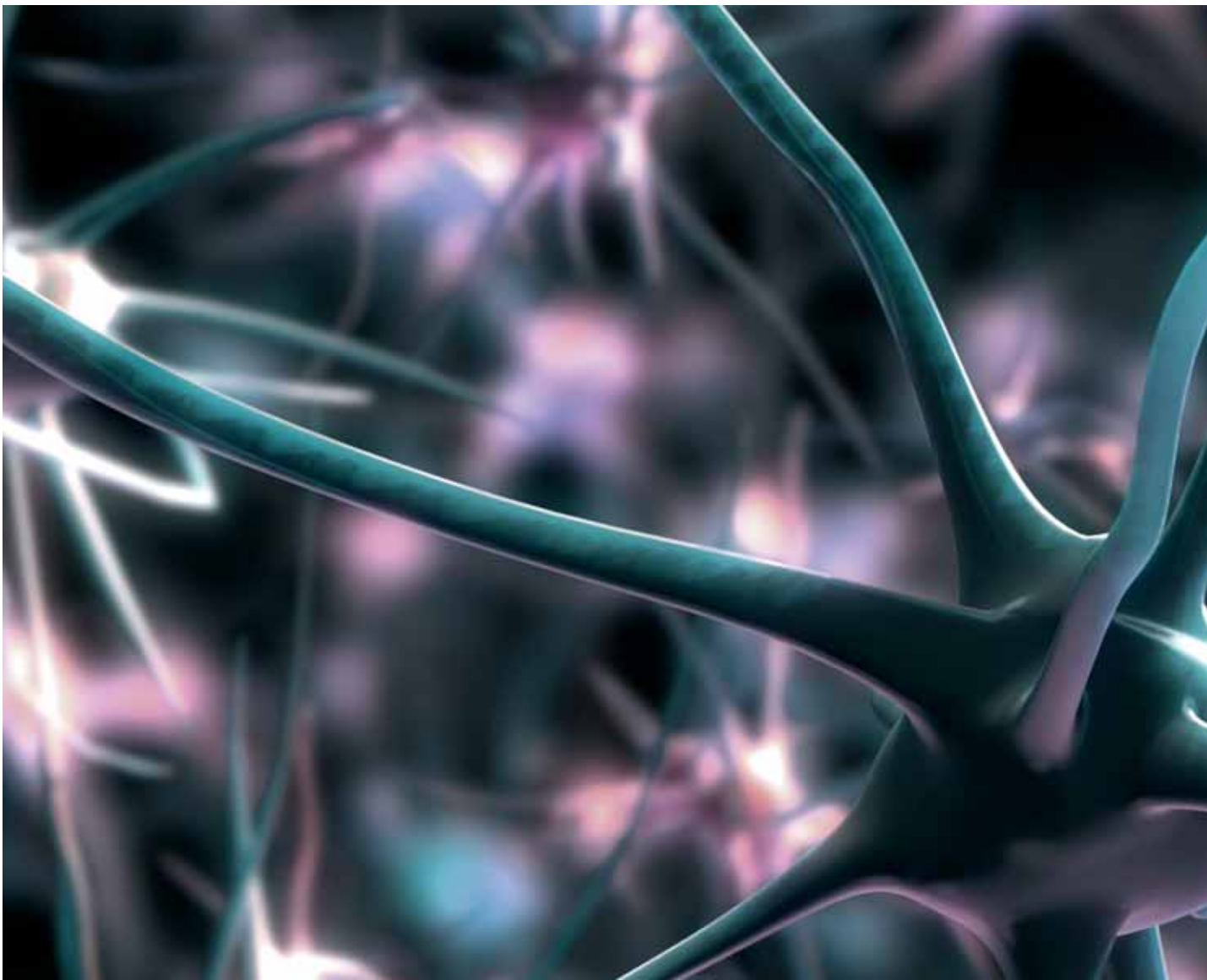
Les personnes en état végétatif paraissent éveillées, mais ne présentent aucun des signes comportementaux de la perception consciente. Elles ont les yeux grand ouverts, sont susceptibles de faire des grimaces, de pleurer ou de sourire (mais jamais en réponse à des stimulus externes spécifiques) ou encore de bouger les yeux, la tête et leurs membres de façon automatique. Avec des soins médicaux appropriés (une alimentation artificielle), ces patients peuvent survivre pendant plusieurs années. Les membres de leur famille admettent difficilement que leurs mouvements réflexes ne reflètent pas un état conscient.

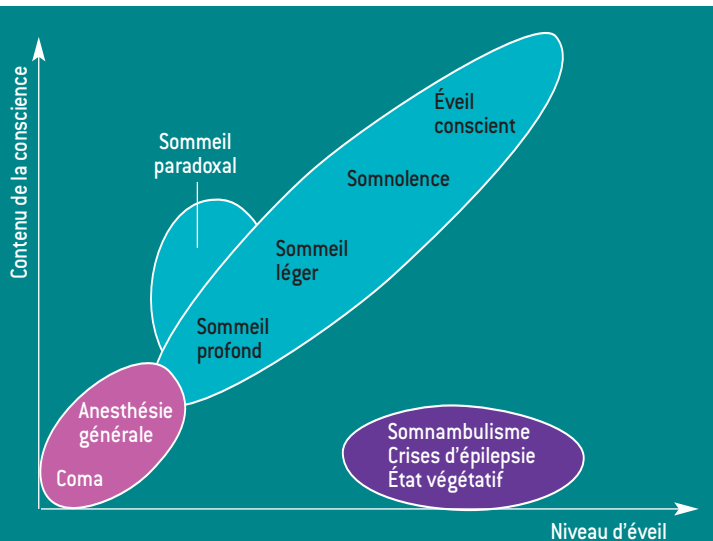
Quant à un patient en état de conscience minimale, il fait preuve de comportements qui ne sont pas uniquement réflexes, mais il est incapable de communiquer. Il peut, par exemple, suivre du regard, sourire à une personne familière (et pas à d'autres personnes) ou répondre parfois à

une commande simple. Les pronostics de récupération des patients en état de conscience minimale sont meilleurs que ceux des personnes en état végétatif. Pourtant, les médecins réanimateurs ont souvent des difficultés à évaluer l'état de conscience de tels patients.

Dans quelle mesure les médecins peuvent-ils être certains que les patients en état végétatif n'ont aucune perception consciente et sont complètement insensibles ? Une grimace en réponse à la douleur n'indique-t-elle pas une trace de perception consciente ? Qui plus est, on sait que près de un patient en état végétatif sur trois est effectivement conscient – du moins a-t-il une conscience minimale. Quand ils n'ont pas une expérience suffisante, les médecins ne savent pas toujours repérer les signes de perception consciente chez des patients dont la vigilance fluctue et qui présentent des déficits de la perception, de l'attention et de la motricité. C'est dans ce cadre que les études d'imagerie cérébrale fonctionnelle sont d'un grand secours : elles mesurent l'activité neuronale au repos et pendant des stimulations externes. Elles révèlent comment l'éveil et la perception consciente peuvent être dissociés dans l'état végétatif, mettant en

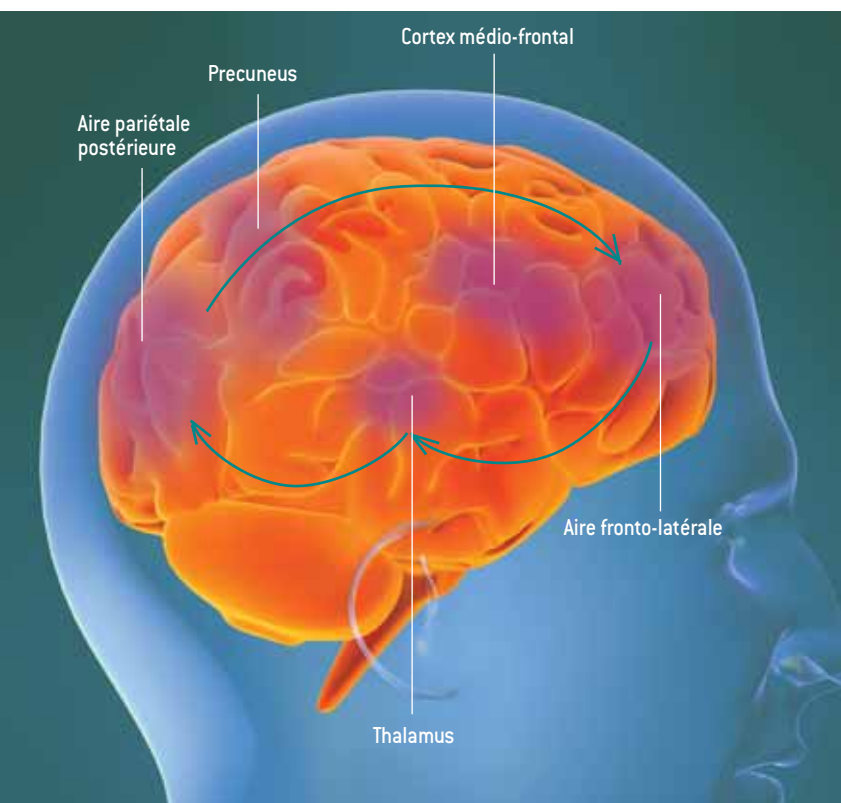
1. La perception consciente reposerait sur la connexion de vastes réseaux de neurones. Selon l'état de conscience, ces réseaux, notamment ceux du cortex primaire, qui traite les signaux venant de l'extérieur, et du réseau cortical fronto-pariétal, qui coordonne tous ces signaux, sont mal connectés, voire déconnectés chez les patients en état végétatif.





Steven Laureys

2. La conscience a deux principales composantes : le niveau de vigilance – l'éveil –, et le contenu de la conscience – la perception et les pensées. Dans les états physiologiques normaux (*en turquoise*), la perception consciente diminue en même temps que l'état de vigilance. Les patients qui se trouvent dans un coma pathologique ou sous anesthésie générale sont inconscients parce qu'ils ne peuvent pas être réveillés (*en rose*). Les états de conscience dissociés (*en violet*), tels que l'état végétatif [les patients ont l'air éveillés, mais ne présentent aucun comportement intentionnel], certaines crises d'épilepsie et le somnambulisme, correspondent à des états de vigilance (éveil) avérés, accompagnés d'une absence d'interaction volontaire avec l'environnement.



Shutterstock/Sebastian Kaufkizzi

3. Un vaste réseau d'aires cérébrales dysfonctionne chez les personnes en état végétatif. Il met en jeu des aires normalement connectées et qui ne le sont pas chez ces patients : les aires fronto-latérales et pariétales postérieures, le cortex médio-frontal et le precuneus. Normalement, ces aires sont connectées entre elles, mais aussi avec le thalamus.

évidence les relations entre perception consciente et fonctionnement cérébral global ou local, perception consciente et changements de connexion des réseaux de neurones ou encore entre activation du cortex primaire et du cortex associatif (le cortex primaire traite les signaux entrants et le cortex associatif intègre l'ensemble des signaux traités, y ajoutant le sens, les émotions, la perception consciente).

Au-delà de son importance clinique et éthique, l'étude de l'état végétatif représente un moyen sous-estimé d'étudier la conscience humaine. Contrairement à d'autres états inconscients, tels que l'anesthésie générale et le sommeil profond, où l'absence de vigilance ne peut être séparée de l'absence de perception consciente, l'état végétatif permet d'identifier les corrélats neuronaux de l'absence de perception, ou (a)perception, consciente.

La perception consciente disparaît-elle lorsque l'activité corticale devient inférieure à un seuil critique ? Les études de tomographie par émission de positons qui s'appuient sur des modulations de la vigilance – et, par conséquent, de la perception consciente – avaient montré que l'administration de substances anesthésiantes réduit le métabolisme cérébral global de moitié. Pierre Maquet, à l'Université de Liège, a montré une diminution similaire de l'activité métabolique au cours du sommeil profond, tandis qu'au cours du sommeil paradoxal (où surviennent les rêves) le métabolisme revient aux valeurs normales de l'éveil.

Comment fonctionne le cerveau au cours de l'état végétatif ? Quels mécanismes expliqueraient un éveil sans perception consciente ? Il y a quelques années, le groupe de Fred Plum, à New York, avait rapporté qu'au cours de l'état végétatif également, l'activité métabolique globale diminue de moitié. Cependant, nous avons montré que chez certains patients, qui ont récupéré par la suite, le métabolisme global du glucose est proche de la normale. Inversement, certains sujets en bonne santé, volontaires pour subir le même type d'examen, présentent des valeurs du métabolisme cérébral global comparables à celles observées chez certains patients en état végétatif, et Nicholas Schiff, de l'Université de New York, a rapporté que le métabolisme cortical de certains patients en état végétatif est proche de la normale. Ainsi, il n'existe pas de relation absolue entre l'activité métabolique cérébrale globale et la présence ou l'absence de perception consciente. Il semble que l'activité de certaines zones cérébrales soit plus importante que d'autres pour l'émergence de la conscience. Ces régions de la perception consciente sont-elles identifiables ?

L'état végétatif : un syndrome de déconnexion

On a tenté d'identifier les régions qui présentent des dysfonctionnements métaboliques entre l'état de conscience de repos chez un sujet sain et l'état de conscience chez une personne en état végétatif. Ces études ont mis en évidence un dysfonctionnement non pas dans une région cérébrale particulière, mais dans un vaste réseau fronto-pariétal qui inclut les cortex associatifs multimodaux : les aires fronto-latérales dans les deux hémisphères, les aires pariéto-temporales et pariétales postérieures, le cortex

médio-frontal, le cortex cingulaire postérieur et le précuneus, aires connues pour être particulièrement actives dans des conditions de repos sans stimulation (voir la figure 3). Les techniques d'analyse disponibles aujourd'hui permettent également d'évaluer les changements liés à la perception consciente lors de l'intégration fonctionnelle, c'est-à-dire qu'elles permettent de mesurer des différences de connectivité cérébrale fonctionnelle entre patients végétatifs et contrôles sains. On évalue ainsi l'efficacité de ces connexions qui garantissent qu'un signal sera correctement traité, c'est-à-dire intégré dans un ensemble de signaux se traduisant par une réaction consciente.

La perception consciente ne semble pas dépendre uniquement de l'activité du réseau fronto-pariétal; elle repose aussi sur la connectivité fonctionnelle (l'efficacité des connexions entre neurones) à l'intérieur de ce réseau et avec le thalamus. En effet, dans l'état végétatif, nous avons pu identifier des déconnexions à distance entre les aires du cortex fronto-latéral et centro-postérieur, et entre le thalamus et le cortex centro-postérieur. De plus, quand le patient récupère, c'est-à-dire qu'il sort de son état végétatif, on observe une restauration fonctionnelle du réseau fronto-pariétal et d'une partie des connexions cortico-corticales et cortico-thalamiques.

De récentes études d'imagerie ont permis d'évaluer le fonctionnement cérébral au repos et l'efficacité des connexions entre aires cérébrales, mais ont aussi révélé les régions cérébrales qui restent activées chez les patients végétatifs quand on leur applique une stimulation externe. Des travaux utilisant des stimulations électriques appliquées sur la main (que des sujets contrôles rapportent comme douloureuses) ont révélé une forte activation du tronc cérébral, du thalamus et du cortex somato-sensoriel primaire chez chacun des 15 patients en état végétatif étudiés. Les aires associées au traitement de la douleur (c'est-à-dire le cortex somato-sensoriel secondaire, le cortex insulaire, le cortex pariétal postérieur et surtout le cortex cingulaire antérieur) n'étaient pas activées. De plus, le cortex somato-sensoriel primaire, qui était activé, était isolé et dissocié du réseau fronto-pariétal, dont on pense, depuis diverses études, notamment celles de Stanislas Dehaene, à Orsay, qu'il est nécessaire à la perception consciente.

On connaît aujourd'hui d'autres exemples qui indiquent que la perception consciente est liée à l'efficacité des connexions cérébrales; c'est notamment le cas des crises d'épilepsie et du somnambulisme. Durant certaines crises d'épilepsie, les patients ont des absences, des épisodes qui durent entre cinq et dix secondes et sont caractérisés par la fixité du regard, et l'absence de réponse, souvent accompagnés par des clignements des yeux et des claquements des lèvres. Des études d'imagerie fonctionnelle (IRMf) ont révélé des désactivations étendues des cortex associatifs fronto-pariétaux pendant ces absences. Dans d'autres types d'épilepsie, dites temporelles, des crises sont susceptibles de perturber la conscience: elles sont alors classées comme partielles complexes, tandis que si elles se déroulent sans trouble de la conscience elles sont dites partielles simples.

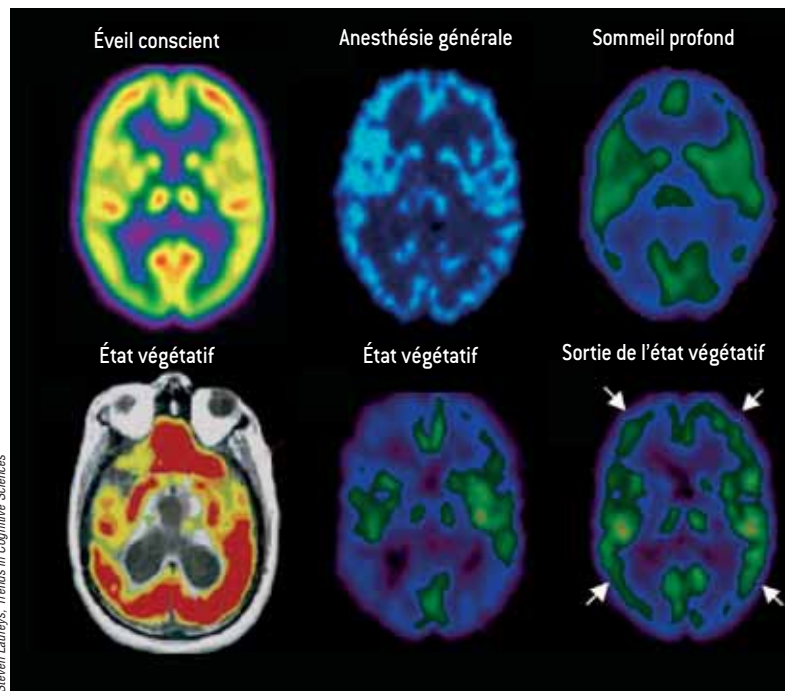
Les patients qui ont des crises partielles complexes ne répondent plus pendant plusieurs minutes; en revanche, ils sont susceptibles d'exécuter des automatismes oraux et manuels, tels que saisir un objet ou pédaler. La comparai-

son des images cérébrales SPECT obtenues durant une crise partielle complexe a révélé une désactivation bilatérale marquée du cortex d'association fronto-pariétal (la méthode SPECT, ou scintigraphie cérébrale ou encore tomographie à émission monophotonique, est bien adaptée à l'étude de l'épilepsie). Au contraire, lors des crises partielles simples, au cours desquelles la conscience est épargnée, on ne constate pas ces changements.

Le somnambulisme est un autre exemple d'incapacité temporaire de répondre malgré la présence de comportements automatiques, par exemple la marche. Chez le seul patient étudié jusqu'à présent – par Claudio Bassetti, à Zurich –, d'importantes aires du cortex d'association fronto-pariétal restaient désactivées pendant les épisodes de somnambulisme (voir la figure 5).

Une perception résiduelle ?

Nous l'avons évoqué, le cortex somato-sensoriel est activé par la douleur chez les patients en état végétatif. De surcroît, une stimulation auditive active, chez ces patients, le cortex auditif primaire, mais pas les aires associatives où le traitement est plus élaboré, et dont il est déconnecté. L'activation du cortex primaire chez les patients éveillés sans perception consciente confirme que l'activité neurale du cortex primaire est nécessaire mais non suffisante pour qu'il y ait perception consciente. Ainsi, les patients en état végétatif présentent encore une activation cérébrale, mais



4. L'activité cérébrale, notamment celle du cortex fronto-pariétal, a été mesurée par tomographie par émission de positons. Elle diffère selon l'état: éveil conscient, anesthésie générale, sommeil profond. Dans l'état végétatif, l'activité cérébrale globale (en bas à gauche) peut exceptionnellement être quasi normale, alors que les personnes en état végétatif ne présentent pas nécessairement une augmentation de l'activité cérébrale globale lorsqu'elles redeviennent conscientes. Ici, la seule différence observée est l'augmentation de l'activité des aires fronto-pariétales (flèches).

cette dernière semble limitée aux aires sous-corticales et aux aires corticales primaires de bas niveau, non connectée au réseau fronto-pariétal nécessaire à la perception consciente. Et l'on revient à la question qui nous préoccupe ici : l'imagerie cérébrale fonctionnelle peut-elle permettre de distinguer l'état végétatif de l'état de conscience minimale ?

Il reste extrêmement difficile de distinguer, en les observant, les patients végétatifs des patients ayant une conscience minimale parce qu'ils sont les uns et les autres incapables de communiquer. Dans ces conditions, l'imagerie fonctionnelle peut nous permettre de distinguer objectivement les activations caractéristiques de ces patients, résultant de stimulations externes. Chez des patients en état de conscience minimale, nous avons utilisé des stimulus auditifs complexes, et montré, pour la première fois, qu'un réseau très étendu est activé, contrairement à ce que l'on observe chez les patients végétatifs. N. Schiff a confirmé ces résultats par IRM fonctionnelle chez deux patients en état de conscience minimale, mettant en évidence une activation des aires auditives impliquées dans le traitement du langage grâce à l'utilisation d'histoires personnalisées. Il a ainsi observé une activation cérébrale spécifique, déclenchée par le récit d'événements autobiographiques racontés par la mère, par exemple. En revanche, une succession de mots dénuée de sens n'active pas ces aires.

Ainsi, l'usage croissant de l'imagerie cérébrale fonctionnelle nous permettra de décrire de façon plus fiable l'état clinique des patients ayant subi des lésions cérébrales graves et survivant en état végétatif ou en état de conscience

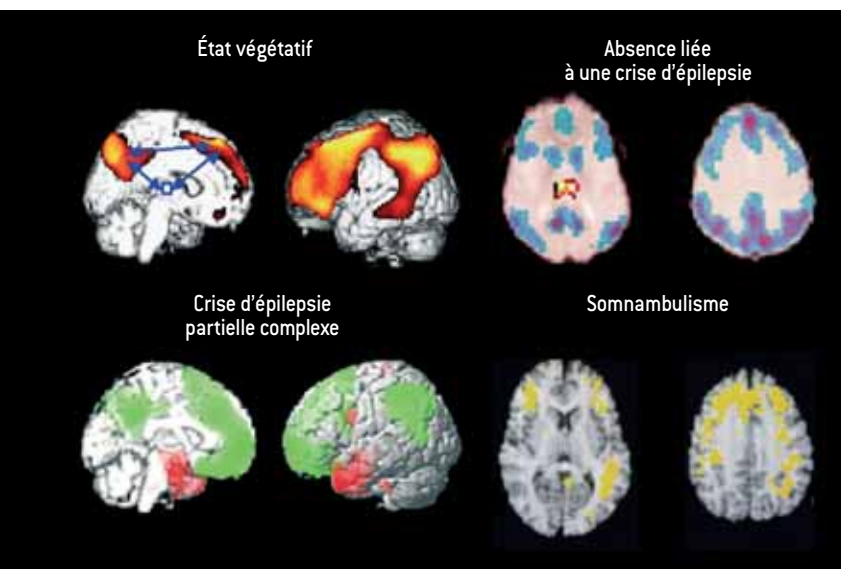
minimale. Parce que le diagnostic est plus précis, nous pourrions mieux adapter les traitements à chacun de ces patients – que ce soit pour l'administration d'analgésiques ou l'accès à des programmes de neuro-réhabilitation ; nous devrions mieux prévoir l'évolution vraisemblable du patient et disposer de tous les éléments pour les éventuelles décisions concernant la fin de vie.

Aujourd'hui, nous comprenons encore mal comment on passe d'un état végétatif ou de conscience minimale à un état de conscience normale. Très peu d'équipes se sont intéressées à la récupération des survivants de coma restés longtemps plongés dans des états de conscience gravement altérés. N. Schiff a récemment rapporté le cas extraordinaire de Terry Wallis, resté en état de conscience minimale pendant 19 ans et qui en est sorti il y a quelques semaines : aujourd'hui, il parle à nouveau. Les examens réalisés par IRM de diffusion ont révélé une myélinisation renforcée dans le cortex postérieur médial, comprenant le precuneus (la myéline recouvre les axones, c'est-à-dire les longs prolongements neuronaux, et est indispensable à une transmission efficace des signaux cérébraux). Le métabolisme du glucose détecté par tomographie par émission de positons était supérieur dans ces zones : la récupération clinique a été soutenue par une « repousse » des axones. Presque 20 ans après le début du coma, des mécanismes de réparation d'un traumatisme cérébral grave ont opéré. De telles récupérations sont extrêmement rares, beaucoup plus dans la réalité qu'à Hollywood. Pedro Almodóvar avait imaginé un scénario comparable dans son film *Parle avec elle*.

Remyélinisation et repousse neuronale

Très peu d'études de neuro-imagerie ont pu être réalisées sur des patients qui avaient récupéré d'un état végétatif. Dans notre centre, sur 60 personnes suivies et ayant subi un examen par tomographie par émission de positons, sept ont récupéré et ont subi un nouvel examen. Nous avons ainsi identifié des aires cérébrales où le métabolisme était notablement réduit durant l'état végétatif, mais où il était redevenu quasi normal après la récupération. C'est le precuneus qui subit les changements métaboliques les plus marqués ainsi qu'un vaste réseau d'aires associatives du cortex fronto-pariétal. Les différents résultats ont confirmé l'importance des structures postérieures médiales dans la conscience de soi et lors de nos interactions avec l'environnement. Le cortex pariétal médial (c'est-à-dire le precuneus) semble être la région qui distingue le mieux un patient en état végétatif et un patient en état de conscience minimale.

Il est intéressant de noter que cette région est parmi les plus actives durant l'état d'éveil conscient et parmi les moins actives durant les états de conscience altérés, tels le sommeil, le coma artificiel, déclenché par des substances pharmacologiques, la démence ou une amnésie post-anoxique (due à un manque d'oxygénation du cerveau). Nous pensons que cette aire associative postérieure médiale, hautement connectée, ferait partie du réseau de la conscience, chez l'homme. Les études qu'a faites N. Schiff sur T. Wallis révèlent les mécanismes cellulaires impliqués



Steven Laureys, Trends in Cognitive Sciences

5. L'état végétatif semble être caractérisé par un dysfonctionnement métabolique d'un large réseau cortical qui comprend les aires associatives préfrontales médiales et latérales ainsi que multimodales pariétales. Cela peut résulter soit d'une lésion corticale directe ou d'une déconnexion entre le cortex frontal et pariétal, ou entre ce cortex et le thalamus (les flèches bleues). Des études d'imagerie fonctionnelle récentes sur des patients ayant une crise d'épilepsie partielle complexe se traduisant par des actions « automatiques » non volontaires, ont montré une diminution du flux sanguin cérébral dans ce réseau fronto-pariétal (en vert, données SPECT, tomographie à émission mono-photonique). C'est également le cas lors d'une absence liée à une crise d'épilepsie (en bleu, IRM fonctionnelle) et le cas du somnambulisme (en jaune, données SPECT).

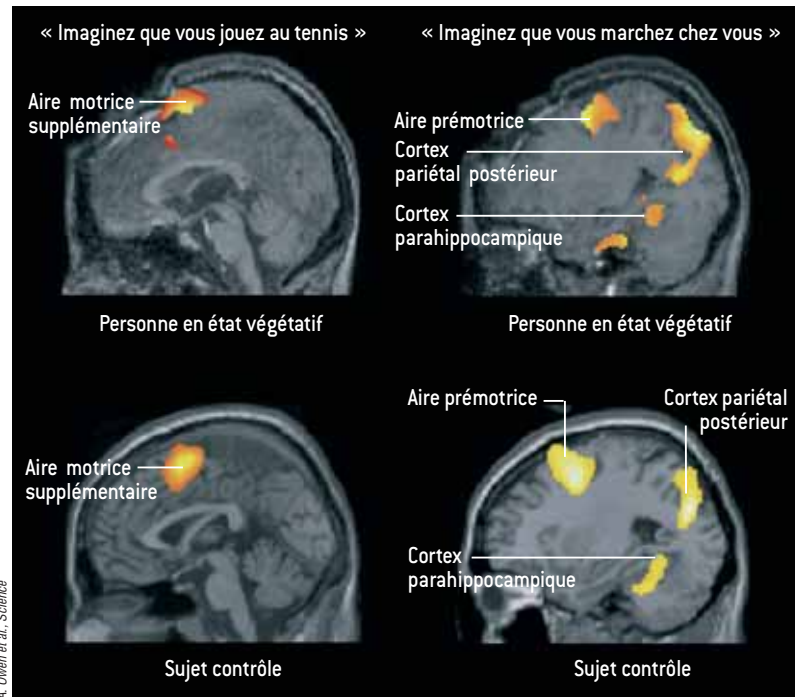
dans cette récupération. La quantification de la substance blanche indique une réorganisation des connexions à longue distance dans le cortex postérieur médial, assurée par une repousse des axones, voire à une neurogenèse, déjà mise en évidence dans le cortex associatif des primates.

Comme nous ne disposons pas d'« étalon de la conscience » objectif et validé, les résultats de l'imagerie cérébrale fonctionnelle doivent être utilisés avec prudence quand il s'agit d'établir si des patients ayant subi de graves lésions cérébrales ont ou non une perception consciente. En collaboration avec Mélanie Boly, de notre équipe, Adrian Owen, de l'Université de Cambridge, propose de remplacer les stimulations externes utilisées pour détecter la « volonté sans action » chez les patients incapables de communiquer leurs expériences, par des scanners: on demanderait à ces patients de réaliser une tâche d'imagerie mentale, par exemple s'imaginer jouer au tennis, se promener chez soi ou se chanter une chanson. Si l'on constatait qu'une zone spécifique (toujours la même) s'active systématiquement lors de cette tâche dont l'exécution exige une action volontaire ou une intentionnalité, on pourrait considérer que cette activation reflète sans ambiguïté une perception consciente. En revanche, des résultats négatifs à un tel test ne devraient pas être considérés comme des indicateurs de l'absence de perception consciente.

Imaginer une partie de tennis en état végétatif ?

En collaboration avec A. Owen, nous avons récemment étudié une patiente âgée de 23 ans en état végétatif depuis un accident de voiture. À notre grande surprise, nous avons constaté une imagerie mentale intacte chez cette patiente post-traumatique en état végétatif. Nous lui avons tout d'abord énoncé des phrases claires ou ambiguës, et observé une activation cérébrale proche de la normale en IRM fonctionnelle. Ces résultats indiquaient-ils que le traitement linguistique conscient était conservé ? Pas nécessairement. En effet, différentes études réalisées notamment durant une anesthésie générale ou le sommeil ont montré qu'un tel traitement se produit de façon automatique: on peut déduire de ces résultats qu'il est impossible de décider consciemment de ne pas comprendre des phrases prononcées dans sa langue maternelle. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé une autre démarche, et demandé à la patiente de réaliser une tâche d'imagerie mentale. Lorsque nous lui avons demandé d'imaginer qu'elle jouait au tennis, les aires cérébrales motrices se sont activées de la même façon que chez des sujets sains. Lorsque nous lui avons demandé d'imaginer qu'elle se promenait dans sa maison, nous avons à nouveau vu des activations spécifiques dans le réseau de la représentation spatiale (voir la figure 6). Ainsi, l'imagerie cérébrale fonctionnelle a révélé que la patiente, bien que cliniquement en état végétatif, comprenait la tâche et l'exécutait de manière répétée: cette expérience attestait sans ambiguïté que la perception consciente subsistait.

Que nous apprend cette étude ? Le diagnostic posé sur cette patiente était-il correct ? Cette patiente était bien dans un état végétatif, mais elle présentait une caractéris-



6. Chez une patiente en état végétatif à qui l'on a demandé d'imaginer qu'elle joue au tennis ou qu'elle se promène chez elle, les aires cérébrales qui s'activent sont les mêmes que chez des sujets témoins à qui l'on demande de réaliser la même tâche cognitive. Les aires motrices et les aires de la représentation spatiale demeurent actives même chez une personne en état végétatif.

tique clinique atypique: elle fixait brièvement du regard certaines personnes ou des objets. Quelques mois après l'expérience, elle était capable de les fixer de façon prolongée, et de suivre sa propre image dans un miroir. Ces signes indiquaient une transition vers un état de conscience minimale.

Pour préciser les zones floues qui séparent les états végétatifs des états de conscience minimale, nous devons multiplier les études de patients en état de conscience minimale ou en état végétatif. Ce faisant, nous espérons préciser comment l'activité cérébrale évolue de l'état végétatif à celui de conscience minimale et lors de la récupération de la conscience. Toutefois, même si nous parvenons ainsi à découvrir les corrélats neuronaux de la conscience, il nous restera à comprendre comment une telle activation coordonnée fait naître la conscience et si tous les passages de la conscience à l'inconscience (coma, sommeil, anesthésie, etc.) ou les passages inverses impliquent les mêmes mécanismes.

Steven LAUREYS est chercheur qualifié au FNRS (Fonds national de la recherche scientifique de Belgique) et travaille au Centre de recherche du cyclotron et dans le Département de neurologie du Centre hospitalo-universitaire Sart Tilman de l'Université de Liège.

The boundaries of consciousness: neurobiology and neuropathology, sous la direction de S. Laureys, Elsevier, 2005.

S. LAUREYS, *Death, unconsciousness and the brain*, in *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 11, pp. 899-909, 2005.

S. LAUREYS, *The neural correlate of (un)awareness: lessons from the vegetative state*, in *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 9, pp. 556-559, 2005.