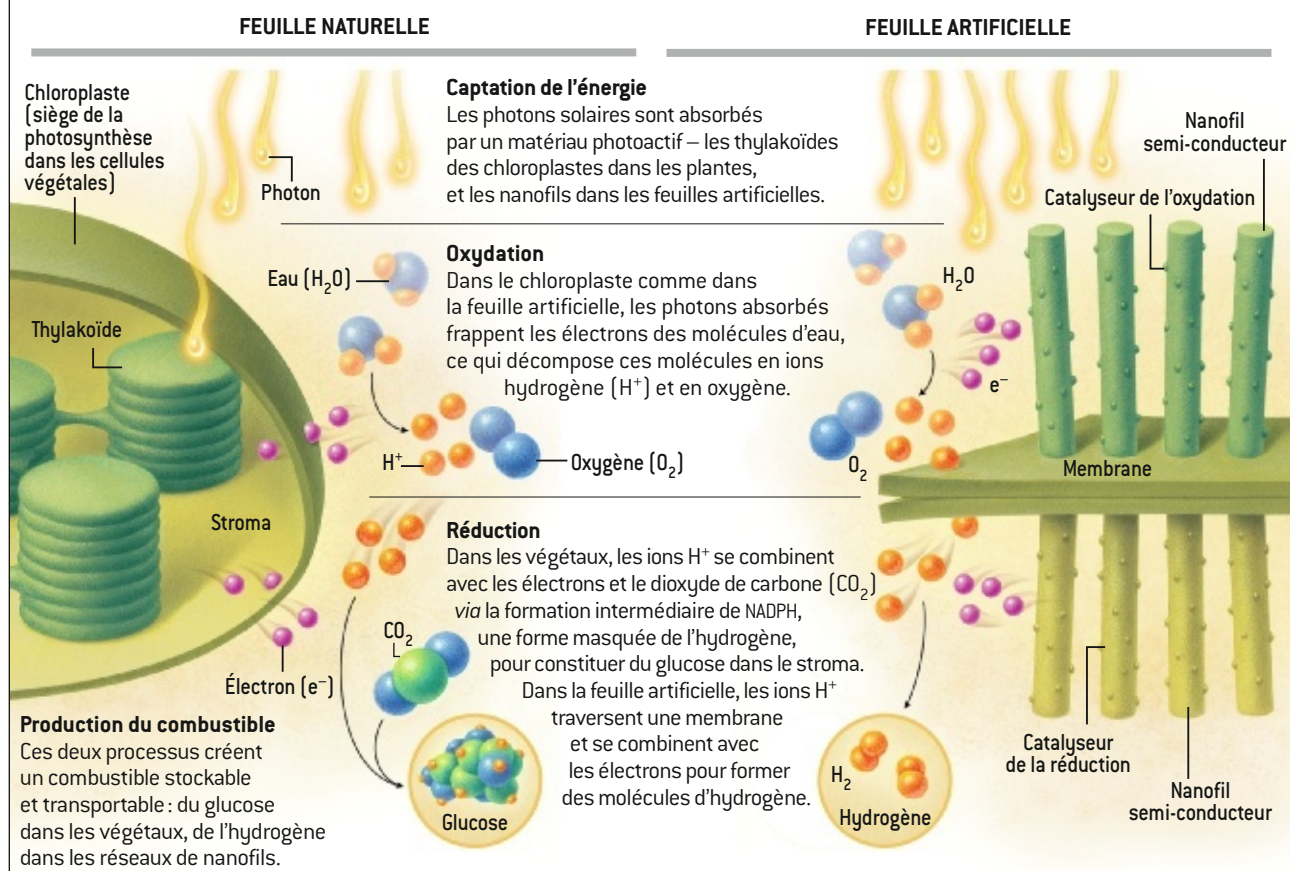


DES NANOFILS POUR IMITER LA PHOTOSYNTHÈSE NATURELLE

Les végétaux utilisent l'énergie solaire pour transformer le dioxyde de carbone et l'eau en glucose – un combustible chimique qu'ils consomment ou stockent (à gauche). Des chercheurs imaginent des feuilles artificielles qui captent la lumière

solaire pour décomposer les molécules d'eau en hydrogène et oxygène. L'équipe de Nathan Lewis, à l'Institut de technologie de Californie, a conçu une feuille couverte de nanofils en silicium qui pourrait produire de l'hydrogène (à droite).



trouver un meilleur catalyseur pour produire l'hydrogène –, le MIT l'a présenté comme un grand bond vers la photosynthèse artificielle. D. Nocera a même prédit qu'il serait bientôt utilisé dans les voitures à hydrogène. Ce n'est pas l'avis de certains experts, qui pensent que ce type de recherche demandera encore plusieurs décennies. D'autres sont plus optimistes : le Département américain de l'énergie et la Société *Polaris Venture Partners* financent les travaux en cours de D. Nocera dans la Société *Sun Catalytix*, à Cambridge, dans le Massachusetts.

Pendant ce temps, au Caltech, N. Lewis travaille sur la première étape de tout dispositif à combustible solaire : la captation des photons du Soleil et leur transformation en électricité. L'idée était de construire un système bien meilleur marché que les piles solaires à silicium cristallin actuellement utilisées. Il a conçu et fabriqué un capteur constitué de nanofils de sili-

cium enchâssés dans un film plastique transparent – une membrane échangeuse de protons – qui, à grande échelle, pourrait être « roulé et déroulé comme une moquette » (voir l'encadré ci-dessus). Ses nanofils transforment la lumière en énergie électrique avec un rendement de sept pour cent. C'est peu comparé aux 20 pour cent atteints par les piles solaires commercialisées. Mais si la production en quantité de ce matériau devient suffisamment bon marché, un rendement inférieur serait acceptable.

Quel combustible pour demain ?

Les chercheurs débattent aussi sur le choix du combustible à fabriquer : et si l'hydrogène n'était pas le meilleur ? Pour les équipes travaillant sur des organismes biologiques qui produisent des biocombustibles liquides, ces derniers sont plus faciles

à stocker et à transporter que l'hydrogène. Mais ce gaz s'adapte à divers usages : il peut être utilisé dans des voitures à piles à combustible, brûlé dans des centrales pour produire de l'électricité, et même servir à produire de l'essence synthétique. La clef du problème reste cependant de fabriquer un combustible chimique à fort rendement énergétique, avec le minimum d'émission de carbone.

La photosynthèse prouve que la lumière solaire peut être transformée en combustible avec seulement quelques éléments courants. L'humanité réussira-t-elle à imiter ce processus ? La réponse n'est pas claire. Quoi qu'il en soit, la société – y compris les responsables politiques, les organismes de financement gouvernementaux et même les scientifiques – n'a pas encore saisi l'ampleur du problème de l'énergie et la nécessité de trouver des solutions innovantes. Toutes les pistes prometteuses sont à explorer...

Neurosciences

Les crises de la conscience

En observant comment la conscience est altérée lors de certaines crises d'épilepsie, les neuroscientifiques comprennent mieux son fonctionnement normal et découvrent des réseaux cérébraux impliqués.

Don Tucker
et Mark Holmes

Chaque seconde, notre cerveau reçoit des informations du monde qui nous entoure et nous en prenons conscience : nous savons ce que nous faisons et ce que nous avons fait. L'éveil est nécessaire à la conscience qui est un concept à multiples facettes présentant deux composantes majeures : la conscience de l'environnement et la conscience de soi. En outre, certains scientifiques proposent que pour être consciente, une expérience nécessite une diffusion globale de l'information dans le cerveau (de vastes réseaux de neurones y participent). Comment avons-nous conscience des phénomènes externes et internes à notre organisme, voire de notre existence ? Quels sont les supports neuronaux de la conscience ?

Si l'étude de la conscience est complexe et difficile à mettre en œuvre (voir l'encadré page 46), les neuroscientifiques cherchent quels événements neuronaux sont à la fois nécessaires et suffisants pour une expérience consciente. Pour ce faire, ils observent ce qui se passe dans le cerveau dans des situations conscientes et les comparent à des situations non conscientes, ou



ils étudient certaines lésions cérébrales pour déterminer leurs conséquences et en déduire la fonction des régions lésées.

Ainsi, c'est en examinant les « pertes » de conscience dont sont parfois victimes les personnes souffrant d'épilepsie que nous pouvons en partie comprendre le fonctionnement normal de la conscience. Nous avons en effet établi un lien entre deux types de crises d'épilepsie et la conscience, car ces crises ont pour conséquence une perte de la mémoire du présent et du contrôle volontaire des intentions.

Nous verrons que certains patients ayant des crises dites du lobe temporal perdent la mémoire du présent. Or cette dernière permet à l'homme d'utiliser le passé immédiat et d'anticiper le futur proche. Elle assure une continuité de la perception de soi et du monde qui nous entoure, c'est-à-dire de la conscience : chez ces patients, la composante temporelle de la conscience disparaît momentanément. Dans d'autres cas, pendant les crises nommées absences, le contrôle volontaire des intentions est perturbé. Le sujet n'a alors plus conscience de ce qu'il fait pendant quelques secondes, mais après la crise, il reprend son activité là où il l'avait arrêtée. Cette composante de la conscience est liée à l'intentionnalité, à savoir le fait d'agir volontairement dans un but précis.

Un débat classique en neurosciences est de savoir si les fonctions psychologiques, telles que la mémoire spatiale et le raisonnement, sont localisées dans des régions spécifiques du cerveau ou si elles naissent de l'activité globale du cerveau. Grâce aux techniques de neuro-imagerie telles que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) ou l'électroencéphalographie dite à haute densité (dEEG pour *dense-array electroencephalography*), il est désormais admis que de nombreuses tâches cognitives sont localisées dans des régions spécifiques du cerveau. En revanche, la conscience nécessite une diffusion globale de l'information dans de vastes réseaux de neurones. Dans ces conditions, existe-t-il malgré tout des régions spécifiques ?

Pour comprendre comment des fonctions psychologiques naissent de réseaux neuronaux, nous devons nous appuyer sur les modèles développés en intelligence artificielle. Ces derniers illustrent des principes de représentation répartie de l'information, proches d'une activité cérébrale d'ensemble. Un principe fondamental, nommé connexionnisme, sti-

pule que l'information est représentée dans les connexions entre neurones, et non dans les neurones. Un réseau serait formé d'unités simples – des groupes de neurones – interconnectées. De fait, les théoriciens en neuropsychologie ont créé de nouveaux concepts pour lier les caractéristiques complexes de l'esprit humain aux propriétés physiques et électriques des réseaux cérébraux.

La conscience émerge de vastes réseaux

Par exemple, Giulio Tononi, à l'Université du Wisconsin, et Christoph Koch, à l'Institut de technologie de Californie, ont développé une théorie selon laquelle la conscience émergerait de vastes réseaux englobant les deux hémisphères cérébraux. Un nombre considérable de connexions neuronales seraient alors actives en même temps, et G. Tononi et Ch. Koch énoncent que la conscience naîtrait de cette activité globale des connexions.

Qu'apportent les crises d'épilepsie à l'étude de la conscience ? Ces phénomènes pathologiques résultent d'une activité électrique anormale de certaines régions cérébrales qui perturbent le fonctionnement d'autres parties du cerveau ; ils mettent donc en évidence l'étendue des réseaux neuronaux. La façon dont les crises d'épilepsie se transmettent à certains réseaux et pas à d'autres indiquerait comment des ensembles dynamiques de neurones peuvent être formés dans des réseaux anatomiques différents. Ce qui permettrait de repérer certaines composantes fonctionnelles de la conscience. Mais voyons d'abord l'anatomie de ces réseaux neuronaux.

Chez l'homme, les opérations mentales résultent de l'organisation du cerveau des vertébrés, où les structures récentes sont empilées sur des structures plus primitives. Le cortex cérébral dépend du circuit principal du télencéphale sous-cortical, qui inclut notamment le système limbique, un ensemble de structures impliquées entre autres dans le traitement des émotions. Ces systèmes télencéphaliques reposent à leur tour sur le thalamus et l'hypothalamus dans le diencéphale, qui se trouve au sommet du tronc cérébral (voir l'encadré page 43). Les fonctions du diencéphale sont soutenues par les structures du tronc cérébral, qui régulent des aptitudes primitives et autonomes, mais essentielles, telles que la respiration, les battements du cœur et l'éveil.

L'ESSENTIEL

- ✓ Les neuroscientifiques cherchent les régions cérébrales sous-tendant la conscience ; pour ce faire, ils étudient certaines crises d'épilepsie qui s'accompagnent d'une altération de la conscience.
- ✓ Les crises du lobe temporal s'étendent dans les réseaux cortico-limbiques et engendrent une perte de la mémoire du présent.
- ✓ Les absences concernent les circuits fronto-thalamiques et perturbent le contrôle volontaire des intentions.
- ✓ Ces deux capacités seraient des composantes de la conscience.

© Shutterstock/Sebastian Kaufkizi

CERTAINES CRISES D'ÉPILEPSIE, dues à l'activation brutale et anormale d'un grand nombre de cellules nerveuses (ou « orage cérébral »), engendrent des « pertes » de conscience. On peut estimer le moment où apparaissent les crises, et localiser l'activité associée dans des régions spécifiques du cerveau. Ces données permettent aux scientifiques d'identifier certains réseaux cérébraux nécessaires à la conscience.

DIFFÉRENTES CRISES D'ÉPILEPSIE

Les crises d'épilepsie résultent d'une activité électrique anormale de certaines régions cérébrales qui perturbent le fonctionnement d'autres parties du cerveau. Les crises dites du lobe temporal peuvent provenir de l'hippocampe ou du cortex temporal latéral (*à gauche, en rouge*). Ces crises sont souvent suivies d'une perte de conscience ou d'un état « rêveur ». Les attaques durent une ou deux minutes, mais la désorientation peut se prolonger plusieurs heures et une perte de mémoire peut apparaître. Les absences, quant à elles, concernent davantage les enfants et proviennent du lobe frontal (*à droite en rouge*) ; elles peuvent apparaître des dizaines de fois par jour, et commencent et se terminent brusquement. Une fois la crise terminée, le sujet retrouve son activité normale.



CRISE DU LOBE TEMPORAL

- Associée à une confusion ou à une perte totale de la conscience ;
- Les automatismes sont fréquents : claquement de la langue, mastication, clignement des yeux, mouvements des bras et des jambes ou attitudes stéréotypées, mouvements des doigts inhabituels ;
- Le patient peut parler ;
- Le patient peut s'écrouler s'il est debout quand la crise survient ;
- La durée typique est de deux minutes ;
- Une perte de mémoire plus ou moins longue peut suivre la crise.

ABSENCE

- Perte de conscience ;
- Souvent associée à de petits mouvements du visage ou des battements de paupières ;
- Toute activité volontaire cesse, mais il n'y a pas de perte du tonus musculaire ;
- Pas de mouvement inhabituel ;
- La durée typique de chaque absence est inférieure à dix secondes ;
- Touche surtout les enfants (les deux tiers sont des filles), à un âge compris entre deux et dix ans avec un pic vers cinq à six ans.

Stephanie Freese

Certaines personnes souffrant d'épilepsie présentent des crises dites tonico-cloniques ou convulsions. C'est la forme la plus grave d'une crise d'épilepsie. Elle peut s'étendre à toute l'organisation du cerveau (télencéphale, diencéphale et mésencéphale), et a montré que les réseaux neuronaux les plus récents sont imbriqués dans des réseaux plus primitifs.

Toutefois, certaines crises concernent uniquement le diencéphale et le télencéphale. Celles qui ne s'étendent pas sont dites partielles. Si elles perturbent la conscience, ce sont des crises partielles complexes. Ces crises concernent notamment les réseaux limbiques des hémisphères cérébraux, centrés sur le lobe temporal médian (sur la face interne de chaque hémisphère à la hauteur des tempes) ; c'est pourquoi lorsque l'épilepsie implique des crises partielles, elle est souvent désignée sous le nom d'épilepsie du lobe temporal. C'est la forme d'épilepsie la plus courante chez les adultes.

Pour comprendre pourquoi les réseaux limbiques ont tendance à engendrer des crises d'épilepsie, des chercheurs ont déclenché des crises chez l'animal en stimulant électriquement certaines régions corticales. Ils ont montré que la réactivité des réseaux limbiques dans l'épilepsie traduit une forte excitabilité électrophysiologique, voire fonctionnelle, des aires concernées.

En effet, les réseaux limbiques sont très réactifs aux événements se déroulant n'importe où dans l'hémisphère cérébral, car ils occupent une position centrale... et ont un rôle central. Deepak Pandya et ses collègues, de l'Université de Boston aux États-Unis, ont étudié la connectivité du cortex cérébral des primates. Ils ont montré que la densité des connexions entre les aires corticales (par exemple, la connexion entre des aires primaires auditives et visuelles) augmente près du système limbique.

Le cerveau limbique

Les structures limbiques constituent les réseaux d'intégration essentiels des hémisphères cérébraux, que ce soit pour l'intégration sensorielle dans le cerveau postérieur ou pour l'organisation motrice dans le cerveau antérieur. Cette architecture expliquerait pourquoi les crises d'épilepsie ont tendance à impliquer les structures limbiques : ces dernières se trouvent au cœur de la connectivité du cortex.

La signification fonctionnelle de cette architecture est illustrée par le rôle de l'interaction cortico-limbique dans la formation des souvenirs. La mémorisation résulte de l'interaction des réseaux néocorticaux (la couche la plus externe des hémisphères cérébraux), par exemple ceux qui

contrôlent les fonctions sensorielles ou motrices, avec les réseaux limbiques, au centre du cerveau. Des preuves provenant d'études cliniques sur l'homme et d'expériences sur l'animal ont montré que si les connexions entre le néocortex – par exemple le cortex auditif – et le cortex limbique (le cortex cingulaire et le cortex orbitofrontal) sont interrompues, les souvenirs concernés – par exemple la mémoire des sons – ne sont pas formés. Des souvenirs antérieurs peuvent être rappelés (selon la gravité de la lésion cérébrale), mais de nouveaux souvenirs ne peuvent être créés.

En conséquence, les souvenirs ne sont pas localisés en un endroit précis, mais sont répartis dans de multiples réseaux, comprenant le cortex limbique, le cortex associatif (des régions du cortex impliquées dans des opérations complexes de traitement de l'information) et le cortex primaire (par exemple le cortex auditif). En outre, pour former un souvenir, un mécanisme physiologique, nommé consolidation, est nécessaire pour que la perception d'un événement engendre des réactions dans le cortex limbique. Ces réactions sont alors renvoyées (on ignore comment) pour stimuler la trace mnésique, qui est répartie dans les réseaux cortico-limbiques.

Les réseaux limbiques sont aussi impliqués dans la motivation. Leur rôle dans la consolidation mnésique serait de faire en sorte que les expériences motivantes soient retenues en mémoire. Mais cette excitabilité des circuits limbiques qui les fait « résonner » avec des expériences significatives les rendrait également plus sensibles aux crises d'épilepsie.

Nous l'avons déjà mentionné, l'épilepsie chez l'homme implique souvent les réseaux temporo-limbiques. Certains chercheurs pensent même que les crises d'épilepsie répétées progresseraient toujours vers la région temporale, quelle que soit leur origine dans le cortex. Chez l'animal, on a stimulé électriquement et de façon répétée une région du néocortex ; la première stimulation ne provoquait qu'une décharge locale, mais les stimulations ultérieures amplifiaient la réponse, qui conduisait à des décharges diffuses, semblables à celles d'une crise d'épilepsie. Et quel que soit le lieu de départ de cette amplification, ces décharges avaient tendance à se propager vers le système limbique.

Il y a quelques années, l'équipe de Jerri Janowski, de l'Université des sciences et

de la santé de l'Oregon, à Portland, aux États-Unis, a découvert une association entre cette amplification électrique et l'apprentissage. Elle a montré chez l'animal que les crises pouvaient être conditionnées ou apprises *via* une association avec un stimulus sensoriel, tel un son. La « résonance » limbique impliquée dans le déclenchement d'une crise d'épilepsie semble similaire, voire identique, à celle participant à la consolidation d'un souvenir.

La mémoire du présent

Si les crises du lobe temporal perturbent les réseaux de la mémoire, qu'arrive-t-il à la mémoire d'une personne après une crise ? Le sujet présente une amnésie rétrograde : la perte de la mémoire touche les minutes ou même les heures qui ont précédé la crise. À cause de cette perte de la mémoire récente, la personne est désorientée et incapable d'agir de façon cohérente. Elle ignore où elle se trouve et ce qui s'est passé. C'est ainsi que l'on a identifié un facteur clé de la conscience, la cohérence temporelle.

Étant donné le rôle des réseaux temporo-limbiques dans la mémoire, on peut s'attendre à ce que les crises qui affectent le plus ces circuits provoquent une perte importante de la mémoire récente. Dan Drane, de l'Université de Washington, et ses collègues ont montré que c'est effectivement le cas : les crises du lobe temporal modifient la mémoire récente de façon plus importante que les autres types de crises.

Nous pensons que ce trouble de la mémoire récente accompagnant les crises du lobe temporal fournit un indice neurophysiologique d'un aspect important de la conscience : la mémoire du présent. Sans la continuité de cette mémoire et la capacité associée d'anticiper le futur immédiat, la dimension temporelle de la conscience se dissout. Imaginez que vous ne vous souveniez pas de ce qui s'est passé il y a une seconde. Êtes-vous encore conscient ? Certes, vous êtes conscient de cette seconde précise, et vous pourriez soutenir que la conscience immédiate est préservée. Toutefois, une certaine portée « historique » de la prise de conscience est nécessaire, et sans elle, la « temporalité » de la conscience disparaît.

Admettant que les réseaux limbiques de la mémoire sont nécessaires pour que le lobe frontal puisse planifier les actions futures, le neuroscientifique suédois David

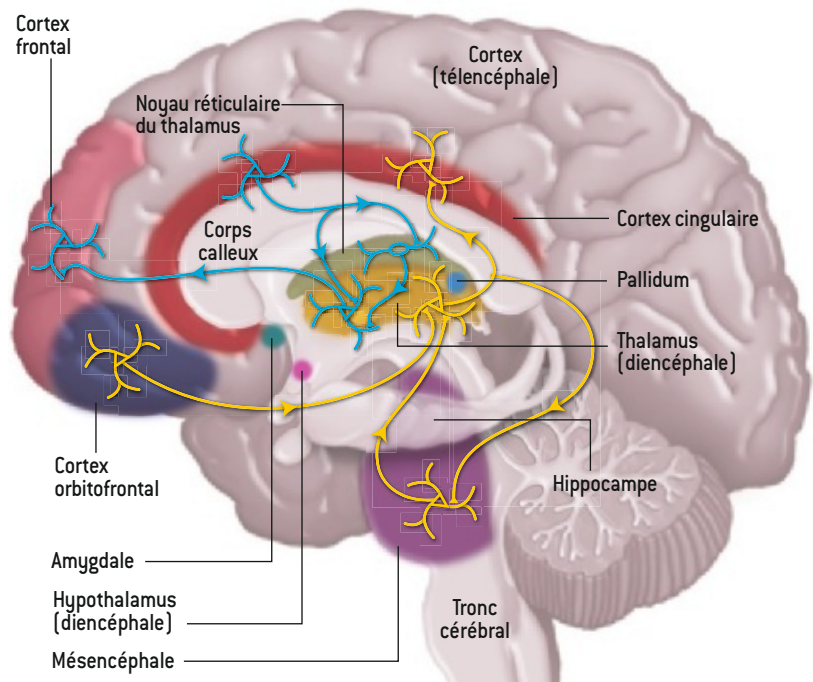
Ingvar décrivait cette planification comme « la mémoire du futur ». De même, constatant que les hémisphères cérébraux s'articulent autour des réseaux limbiques, le biologiste américain Gerard Edelman a décrit la conscience comme « le présent remémoré ». Et en considérant que la conscience requiert à la fois le contexte de la mémoire récente et la projection d'événements dans le futur, nous suggérons que la mémoire du présent est une composante essentielle de la conscience.

Comme le montrent divers troubles de la conscience – les crises du lobe temporal, mais aussi les délires et les démences –, la perte de la mémoire du présent détruit le contrôle conscient de la cogni-

tion. Quand la mémoire récente « rétrécit », l'anticipation consciente du futur aussi. La mémoire du présent nous permet de nous repérer par rapport aux personnes, aux lieux et au temps. Nous projetons sans cesse les événements récents dans le futur proche, maintenant ainsi la continuité de notre mémoire.

Une analyse des effets des crises du lobe temporal fournit un nouvel aperçu de l'activité neuropsychologique qui coordonne la conscience dans le temps. Mais cet aperçu peut être précisé si l'on compare les crises du lobe temporal avec un autre trouble de la conscience – les absences – provoqué par un type de crises qui ne détériore pas la mémoire du présent.

CONSCIENCE ET RÉSEAUX CÉRÉBRAUX



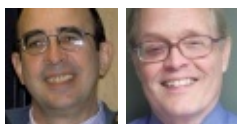
Les différentes divisions cérébrales (le mésencéphale, le diencephale et le télencéphale) apparaissent au cours du développement dans un ordre qui suit les principales étapes du développement neuronal des vertébrés. Une coupe du cerveau humain adulte montre le cortex et le tronc cérébral, le thalamus et l'hypothalamus étant situés au centre. Le cortex dépend du circuit principal du télencéphale sous-cortical, qui inclut les circuits limbiques (les cortex cingulaire et orbitofron-

tal, l'amygdale, l'hippocampe) et ceux des ganglions de la base (le striatum et le pallidum entre autres). Et ces systèmes télencéphaliques sont liés à leur tour au thalamus et à l'hypothalamus dans le diencephale. Les réseaux cortico-limbiques regroupent des structures diverses d'origine télencéphalique, diencephalique et mésencéphalique qui sont interconnectées (*neurones jaunes*). On y distingue des structures sous-corticales (l'hypothalamus, des noyaux du thalamus, le mésent-

céphale) et le cortex limbique incluant le cortex orbitofrontal et le cortex cingulaire. En outre, un circuit nerveux complexe relie le cortex frontal et le thalamus (*neurones bleus*). Les projections thalamiques vers le cortex sont régulées par le noyau réticulaire du thalamus, lui-même contrôlé par le cortex frontal. L'existence de ce circuit fronto-thalamique s'est révélée importante pour interpréter l'activité de certaines crises épileptiques, où la conscience est altérée.

© Raphaël Quinquet

LES AUTEURS



Don TUCKER est professeur de psychologie et directeur associé du Centre de neuro-informatique à l'Université de l'Oregon, aux États-Unis.

Mark HOLMES, professeur de neurologie à l'Université de Washington, dirige le Laboratoire de neurophysiologie électroencéphalographique et clinique au Centre médical Harborview de Seattle.

Article publié avec l'aimable autorisation de *American Scientist*

Bien qu'elles puissent se poursuivre à l'âge adulte, les crises d'absence touchent surtout les enfants. La conscience est momentanément perturbée : l'individu est « inerte », sans intention, et incapable d'effectuer la moindre action. Cependant, contrairement à la perte de conscience que l'on observe lors d'un évanouissement ou d'une commotion cérébrale par exemple, la personne ne s'effondre pas, semble être alerte et n'est pas désorientée. Durant la crise, le cerveau émet d'importantes décharges, dites à pointe-onde, d'après le motif qu'elles prennent sur l'électroencéphalogramme (voir l'encadré page ci-contre). Toutefois, juste après cette crise en général brève, la personne peut poursuivre son activité antérieure ou reprendre sa conversation là où elle s'était arrêtée (elle n'est pas désorientée dans le temps).

L'absence épileptique est donc une perturbation spécifique de la conscience qui n'engendre pas une altération de la mémoire. Or les absences impliquent des circuits neuronaux du thalamus et du lobe frontal. Ces derniers seraient essentiels au contrôle volontaire et intentionnel de la pensée et de l'action.

Plusieurs données suggèrent que des décharges anormales provenant du thalamus apparaissent durant les crises à pointe-onde chez les animaux et lors des absences épileptiques. Le thalamus est une sorte de passerelle vers le cortex cérébral, reliant les réseaux dédiés à diverses fonctions mentales. Excepté le sens de l'odorat, toutes les voies sensorielles et motrices entrent ou sortent du cortex *via* des relais thalamiques, et le thalamus est capable de bloquer la transmission dans ces relais.

Une structure particulière du thalamus, le noyau réticulaire du thalamus, est une couche cellulaire qui entoure la plus grande partie du thalamus, telle une coquille. Ce réseau inhibe les relais thalamo-corticaux. Mais les systèmes d'autorégulation du cerveau sont complexes : le noyau réticulaire thalamique est lui-même sous contrôle cortical, à partir de réseaux spécifiques du cortex orbitofrontal.

L'existence d'un réseau de contrôle du lobe frontal régulant les mécanismes thalamiques s'est révélée importante pour interpréter l'activité des absences épileptiques. En observant par électroencéphalographie à haute densité les décharges pathologiques lors des absences, nous avons découvert que, même si l'on pensait que ces décharges couvraient de vas-

tes régions, les « pointes » étaient localisées : elles sont cantonnées aux réseaux orbitofrontaux qui régulent le thalamus. Elles traduisent donc une anomalie de l'activité physiologique des lobes frontaux, qui se propage en cascade le long des circuits fronto-thalamiques.

La décharge corticale affecterait le noyau réticulaire thalamique et le thalamus, et perturberait le contrôle thalamique du cortex lui-même. Cette boucle de rétroaction aboutirait à une décharge à pointe-onde. Comme les patients ne contrôlent plus leurs actes ou leurs pensées pendant une telle crise, quel est le lien entre cette « anatomie » des absences et les mécanismes de l'attention – le fait de concentrer ses ressources mentales sur un objet, un fait ou un individu – ou ceux de l'intention – le fait d'agir volontairement dans un but précis ?

De l'attention à l'intention

Récemment, Basilis Zikopoulos et Helen Barbas, de l'Université de Boston, ont trouvé comment le lobe frontal contrôle les mécanismes thalamo-corticaux de l'attention ; ils ont montré que des voies provenant de réseaux frontaux sur la surface latérale atteignent les régions du noyau réticulaire qui contrôlent les noyaux sensoriels du thalamus. Ces circuits interviennent dans l'attention en permettant au thalamus de mettre en avant certaines données sensorielles tandis que d'autres restent en arrière-plan.

Cependant, les absences épileptiques n'engageraient pas ces réseaux frontaux latéraux qui régulent l'attention. En fait, nous avons découvert que les pointes de ces décharges concernent les pôles frontaux médians ; B. Zikopoulos et H. Barbas ont montré que ces réseaux sont connectés au noyau réticulaire thalamique, qui se projette sur les noyaux antérieurs du thalamus, nommés le thalamus limbique. Ce circuit fronto-thalamique, qui ne contrôle pas l'attention, participerait aux mécanismes de l'intention (ou de la motivation), qui reflètent les objectifs d'un individu.

Ainsi, nous pensons que la perte de conscience lors des absences traduit une altération d'un circuit fronto-thalamique essentiel au contrôle volontaire de l'intention. Ce n'est pas l'attention sélective pour un événement particulier qui est alors perturbée. Les absences épileptiques modifient une composante spécifique de la conscience,

✓ BIBLIOGRAPHIE

Dans le dédale des mémoires, *L'Essentiel Cerveau & Psycho*, n° 6, mai-juillet 2011.

S. Kouider, *Neurobiological theories of consciousness*, *Encyclopedia of Consciousness*, Elsevier, vol. 2, pp. 87-100, 2009.

G. Tononi et C. Koch, *The neural correlates of consciousness : an update*, *Annals of the New York Academy of Science*, vol. 1124, pp. 239-261, 2008.

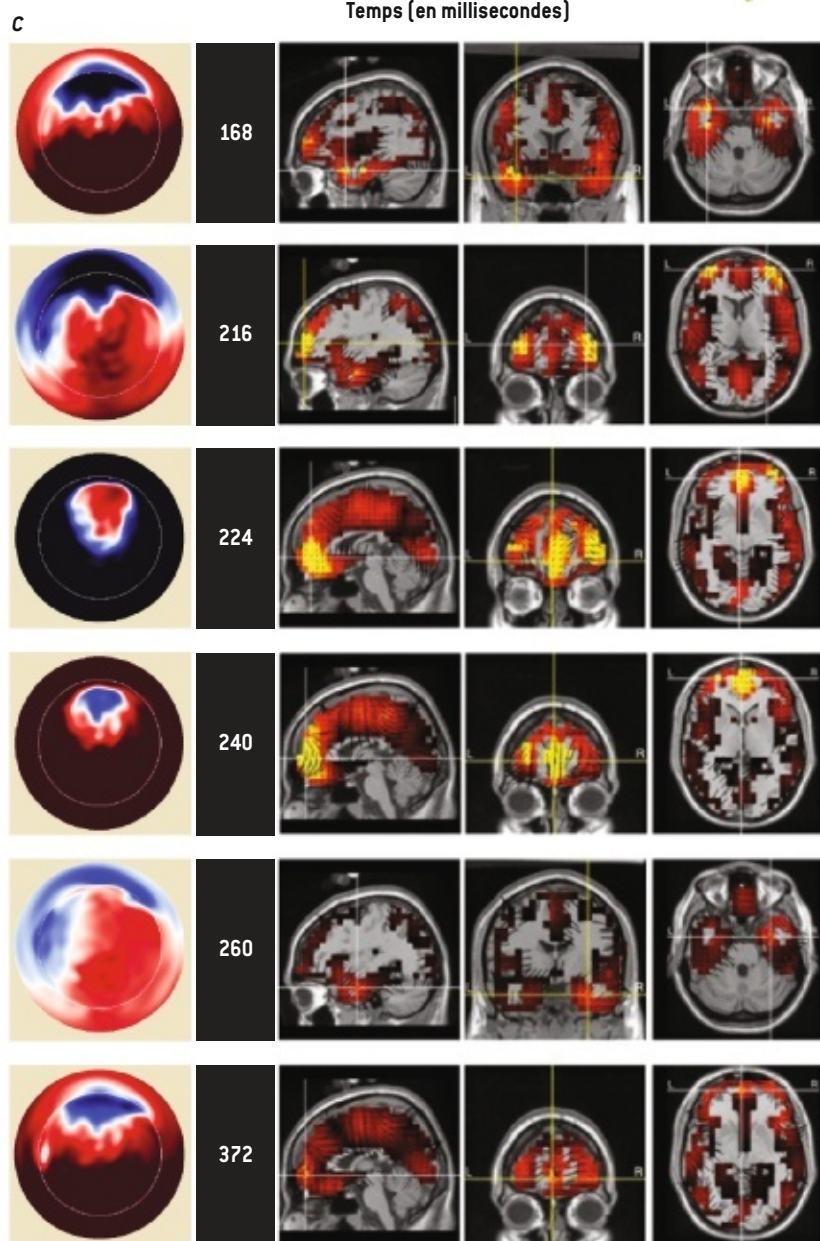
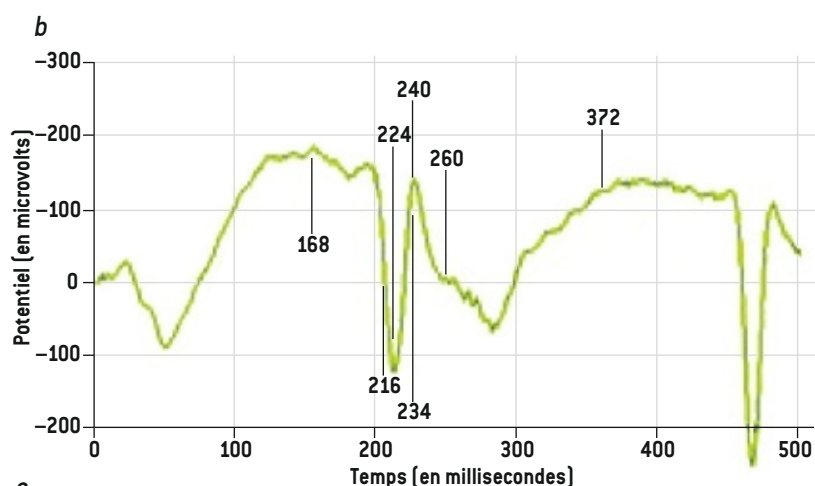
D. M. Tucker *et al.*, *Discharges in ventromedial frontal cortex during absence spells*, *Epilepsy and Behaviour*, vol. 11, pp. 546-557, 2007.

M. D. Holmes *et al.*, *Are « generalized » seizures truly generalized ? Evidence of localized mesial frontal and frontopolar discharges in absence*, *Epilepsia*, vol. 45, pp. 1568-1579, 2004.

L'électroencéphalographie (EEG) à haute densité permet l'enregistrement de l'activité cérébrale en tout point de la surface du crâne au moyen de centaines d'électrodes (256 dans le dispositif présenté en a). Ces points fournissent un enregistrement précis des signaux électriques émis par le cerveau et permettent d'obtenir une bonne estimation de l'origine de ces signaux dans le cerveau, avec une résolution temporelle de l'ordre de la milliseconde. Ainsi, on peut localiser et étudier une crise d'épilepsie, par exemple les absences ou crises d'épilepsie dite à pointe-onde.

L'activité électrique associée à chaque phase d'une crise d'épilepsie à pointe-onde (b) est enregistrée par électroencéphalographie à haute densité. Une carte colorée de la surface du crâne est ensuite reconstruite : le rouge est un potentiel électrique positif, le bleu est négatif (c, à gauche). Comme la résolution spatiale de cette technique est assez faible (car les signaux sont recueillis sur le crâne), les sources des signaux sont « reconstruites » et l'on peut coupler la technique avec des images d'imagerie par résonance magnétique pour chaque intervalle de temps : on localise de cette façon l'activité cérébrale (c, à droite).

Ainsi, les absences épileptiques concernent les pôles frontaux (en jaune, intervalle 216 par exemple) et médians (intervalle 224 par exemple) du cerveau ; ces réseaux sont connectés au noyau réticulaire thalamique qui se projette sur les noyaux antérieurs du thalamus (intervalle 224 par exemple). Ce circuit fronto-thalamique participe aux mécanismes de l'intention (ou de la motivation), qui reflètent les objectifs d'un individu.



L'étude de la conscience : difficultés et progrès

La conscience est un domaine scientifique à part entière. Les chercheurs estiment qu'en étudiant les mécanismes neurophysiologiques et les structures cérébrales, ils comprendront comment et pourquoi on est conscient. Toutefois, il s'agit d'un domaine scientifique assez jeune qui a débuté il y a moins de 20 ans ; née de l'interaction de philosophes, psychologues et neuroscientifiques, l'étude de la conscience n'en est qu'à ses balbutiements, mais a déjà permis des progrès notables dans la caractérisation des liens entre cerveau et pensée.

Alors que parler de conscience était surtout réservé aux discussions métaphysiques, voire ésotériques, faire de celle-ci une science « sérieuse » n'a pas été facile. En effet, une approche neurobiologique de la conscience se doit de résoudre un problème difficile, celui de comprendre la relation entre états subjectifs et structures neuronales. Même s'ils adhèrent à cette approche rigoureuse, les chercheurs parlent encore de mécanismes neuronaux faisant « surgir » la conscience, d'« émergence » de la conscience ou encore du cerveau qui « crée » la conscience.

C'est un peu comme si la conscience s'apparentait à un esprit immatériel qui émergerait par magie du cerveau. Comme le remarquait le biologiste et philosophe britannique Thomas Huxley, il y a plus d'un siècle, considérer qu'un état de conscience puisse avoir lieu simplement en « excitant » des neurones est aussi dérangeant qu'accepter qu'un Djinn puisse surgir d'une lampe merveilleuse dans l'histoire d'Aladin. S'abstraire du dualisme de Descartes, où corps et esprit étaient dissociés, constitue encore l'un des défis majeurs en neurosciences cognitives.

Les neuroscientifiques ont cependant trouvé un moyen de lever cette difficulté intrinsèque à l'étude de la conscience. Sous l'impulsion de Francis Crick, codécouvreur de l'ADN, et de son étudiant Christoph Koch, une nouvelle approche dite des « corrélats neuronaux de la conscience » est apparue dans les années 1990. Celle-ci offre l'avantage de relier – ou corréler – les états subjectifs et les états mentaux, sans avoir à les fusionner ni même à établir de rapport de causalité. En conséquence, il s'agit de déterminer quelle est la différence

entre les processus neuronaux qui « corréler » et ceux qui « ne corréler pas » avec la conscience. On cherche donc les mécanismes ou événements neuronaux qui sont nécessaires et suffisants pour une expérience consciente. Pour ce faire, les scientifiques observent ce qui se passe dans le cerveau dans des situations dites conscientes, et les comparent à des situations dites non conscientes (lorsqu'il y a une perte de conscience par exemple).

Cette approche présente aussi l'avantage de s'abstraire d'une autre difficulté : l'absence de définition concrète de la conscience. En effet, nous ignorons comment et pourquoi nous sommes conscients. Cependant, nous savons « quand » la conscience est présente. Dès lors, en considérant la conscience comme une variable et en comparant des situations où elle est permise à celles, dites non conscientes, où elle disparaît, il est possible d'étudier à la fois sa spécificité fonctionnelle et ses caractéristiques neuronales. Les progrès techniques en imagerie par résonance magnétique et en électrophysiologie ont contribué à cette démarche, permettant aux scientifiques de vi-

sualiser directement le cerveau ou l'activité des neurones impliqués dans une tâche cognitive.

Aujourd'hui, ces travaux ont montré que, dans le cerveau, l'implication des régions sous-corticales et des régions corticales sensorielles (par exemple le cortex visuel) n'est pas suffisante pour qu'il y ait une expérience consciente de l'environnement. En revanche, la perception consciente mettrait surtout en jeu les régions frontales du cerveau et leurs interactions avec le cortex sensoriel, via une synchronisation des décharges neuronales (l'activité électrique de neurones est la même, en même temps). Il y a encore débat sur le fait de savoir si l'activation du cortex préfrontal est nécessaire et suffisante à l'établissement d'une expérience consciente ; mais aujourd'hui, on admet que la conscience dépend de l'activité simultanée de vastes réseaux de neurones ; elle reposerait sur une dynamique globale des connexions neuronales à longue distance dans le cerveau.

Sid Kouider,

Laboratoire de sciences cognitives et de psycholinguistique, École normale supérieure, Paris

l'intention, qui permet à différentes opérations mentales d'être regroupées en une expérience orientée vers un but.

Des fragments de conscience ?

Toutefois, lors des absences, la mémoire du présent reste intacte. Cela suggère un fractionnement de la conscience. Les crises du lobe temporal détériorent la mémoire du présent pendant longtemps, de sorte que même quand la conscience revient, elle est incomplète. Les absences perturbent la conscience en altérant la volonté d'agir, mais sans dégrader la continuité de la mémoire du présent ; la personne peut donc reprendre une conversation là où elle en était restée. En fractionnant la conscience, les absences soulignent bien la spécificité de ce qui est perdu (l'intention) et de ce qui est conservé (la mémoire du présent).

Les altérations de la conscience apparaissant lors des crises d'épilepsie peuvent

fournir des indices sur les mécanismes qui relient la conscience aux réseaux corticaux. La conscience du présent dans un contexte donné nécessite le fonctionnement de réseaux cortico-limbiques. D'ailleurs, quand un patient semble confus, les médecins et les psychologues utilisent un test clinique de compétence mentale qui évalue la conscience du présent. Le praticien teste la perception qu'a le sujet de lui-même (« Quel est votre nom ? »), du lieu (« Pouvez-vous me dire où vous vous trouvez ? ») et du temps (« Quel jour sommes-nous ? »). En effet, un délire peut obscurcir temporairement la conscience et une démence peut la désorganiser de façon permanente. À l'inverse, le contrôle volontaire de la conscience implique des circuits fronto-thalamiques, que ce soit pour les mécanismes de l'attention ou ceux de l'intention (seuls ces derniers étant altérés lors des absences).

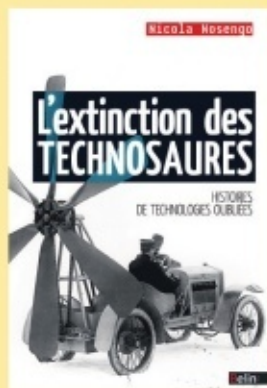
En conséquence, les réseaux cortico-limbiques et fronto-thalamiques seraient

tous deux nécessaires à la conscience. Or la plupart des gens considèrent la conscience comme une caractéristique indivisible et subjective. Cependant, l'altération de la conscience lors des absences épileptiques renforce l'hypothèse selon laquelle certains aspects de la volonté, dépendant de circuits fronto-thalamiques, peuvent être dissociés de la mémoire du présent.

D'un point de vue clinique, la compréhension des mécanismes neuronaux des crises d'épilepsies pourrait conduire à un meilleur diagnostic et à des thérapies mieux ciblées, qu'elles soient médicamenteuses ou chirurgicales. D'un point de vue scientifique, séparer les composantes neurophysiologiques de la conscience est nécessaire pour clarifier les fonctions des réseaux cérébraux à grande échelle. Et d'un point de vue philosophique, n'est-ce pas opportun de pouvoir disséquer la conscience en plusieurs composantes fonctionnelles, plutôt que d'admettre qu'elle est une caractéristique indivisible de l'esprit ? ■

La sélection **POUR LA SCIENCE**

Des livres scientifiques à la pointe de l'actualité



L'extinction des technosaures

Histoires de technologies oubliées

Nicolas Nosengo

Pourquoi le standard vidéo Betamax a-t-il été supplanté par le VHS ? Que serait devenu notre quotidien si Giovanni Caselli avait connu le succès au XIX^e siècle avec son « pantélégraphe », l'ancêtre du fax ? Ce livre conte l'histoire de toutes ces inventions mort-nées, ces « technosaures » que l'évolution n'a pas sélectionnés. Une passionnante réflexion sur le progrès technologique ...

978-2-7011-5353-7 • 256 p. • 19,50 €



L'histoire controversée du test ADN

Entre crimes, mystères et batailles légales

Alice Andreoli

Le test de l'ADN est la plus grande révolution dans l'investigation criminelle. Mais en quoi cela consiste ? Est-il vraiment infaillible ? Le présent ouvrage retrace l'histoire de la découverte et de la mise au point de ce test à travers des centaines de cas judiciaires, de grandes énigmes et légendes du passé qui ont pu enfin trouver une solution grâce à son apparition.

978-2-7011-5589-0 • 256 p. • 19,50 €



D. Jamet et F. Mottez

978-2-7011-5351-3 • 240 p. • 19,50 €



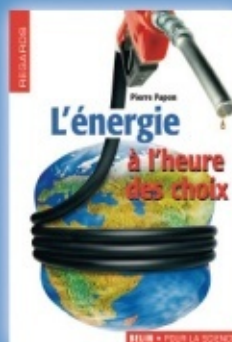
V. Tardieu

978-2-7011-4909-7 • 352 p. • 21,90 €



P. Feillet

978-2-7011-4950-9 • 192 p. • 18,50 €



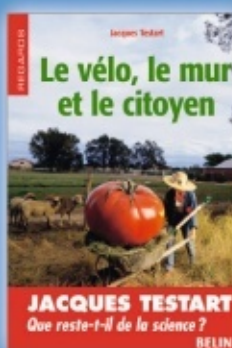
P. Papon

978-2-7011-4443-6 • 256 p. • 21,90 €



R. Rizzo

978-2-7011-4362-0 • 176 p. • 17,50 €



J. Testart

978-2-7011-4367-5 • 128 p. • 17,50 €



A. Nicolas

978-2-7011-4469-6 • 160 p. • 23,50 €



A. Nicolas

978-2-7011-3859-6 • 192 p. • 24,00 €

Feuilletez les premières pages de notre sélection de livres en exclusivité et commandez en ligne sur notre site

www.pourlascience.fr

