

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 ? ■

Les gélules robots

Paolo Dario et Arianna Menciassi

Un voyage dans le corps humain n'est plus du domaine de la science-fiction. De minuscules « robots » pourraient bientôt aider au diagnostic, effectuer des interventions chirurgicales et administrer des médicaments.

En 1966, quand le film *Le voyage fantastique* est sorti sur les écrans, il n'était que pure science-fiction ; des médecins miniaturisés voyageaient dans les vaisseaux sanguins d'un patient pour réparer son cerveau. Mais 20 ans après, des ingénieurs commençaient déjà à fabriquer des prototypes de la taille d'une gélule qui pouvaient se déplacer dans le tube digestif d'un patient. Et c'est en 2000 que des personnes ont avalé pour la première fois des caméras en forme de gélules. Depuis, les médecins utilisent souvent ces capsules qui prennent des images de l'intérieur du corps humain, tels les replis de l'intestin grêle, ces régions étant difficiles à voir sans intervention chirurgicale.

Aujourd'hui, ce film reste en grande partie du domaine de la science-fiction : on ne sait pas encore fabriquer des gélules caméras se déplaçant à leur guise, atteignant une tumeur pour faire une biopsie, surveillant l'inflammation dans l'intestin grêle, ou administrant des médicaments pour traiter un ulcère. Toutefois, ces dernières années, les progrès ont été considérables : les chercheurs ont transformé une gélule caméra en un véritable robot miniature. Des prototypes complexes, actuellement testés chez l'animal, sont équipés de pattes, d'hélices,

d'objectifs photographiques et de systèmes de déplacement sans fil. Bientôt, ces robots devraient être prêts pour être évalués lors d'essais cliniques. En attendant, ils permettent de tester les limites de la robotique miniaturisée.

La première gélule caméra sans fil, M2A, présentée par la Société israélienne *Given Imaging*, et les modèles ultérieurs ont établi l'intérêt d'un examen du tube digestif avec un dispositif sans fil. Les capsules vidéo-endoscopiques sont aujourd'hui utilisées en routine en médecine. Mais l'absence totale de contrôle externe engendre un nombre élevé de faux négatifs : les caméras peuvent omettre des régions de l'organisme où il y a un problème, ce qui est inacceptable pour un outil de diagnostic. Cette nouvelle façon d'observer l'intérieur de l'organisme a deux objectifs : la confirmation d'une maladie et l'exploration minutieuse d'un organe ou d'un tissu soupçonné d'être anormal ; un médecin doit donc pouvoir arrêter la caméra et la manœuvrer pour observer la région qui l'intéresse.

La transformation d'une capsule passive en un dispositif actif fiable pour un examen gastro-intestinal nécessite d'ajouter des appendices, qui guideraient la gélule dans l'organisme ou manipuleraient les tissus. Afin que l'on puisse pilo-

ter ces bras mobiles, les données doivent être transmises au chirurgien qui doit recevoir en temps réel les images et envoyer les instructions adéquates. En effet, ces capsules seraient de minuscules robots capables de réagir vite à des ordres. Tous ces composants doivent rester actifs environ 12 heures (temps de déplacement d'un objet dans le tube digestif) et ont donc besoin d'énergie. Et l'ensemble doit entrer dans une gélule de deux centimètres cubes, qu'un patient peut facilement avaler.

Contrôler et déplacer la gélule sans fil

En 2000, quand la gélule M2A faisait ses débuts, l'*Intelligent Microsystem Center* (IMC) de Séoul, en Corée du Sud, lançait un projet sur dix ans pour développer une nouvelle génération d'endoscopes en capsules. Ces gélules robots devraient disposer de capteurs et d'une source de lumière pour fournir des images. Elles auraient des outils permettant la délivrance de médicaments et la réalisation de biopsies. Et elles pourraient se déplacer, en étant contrôlées sans fil par un médecin. D'autres sociétés et groupes de recherche se sont lancés dans ce domaine. Par exemple, 18 équipes



L'ESSENTIEL

✓ Les gélules caméras permettent de voir l'intérieur du tube digestif, mais leur utilisation et leur précision restent limitées.

✓ Aujourd'hui, on développe des gélules robots actives : elles disposent de « bras », d'outils chirurgicaux, et peuvent être contrôlées sans fil. Leurs déplacements dans l'organisme sont précis.

✓ La miniaturisation de composants robotiques pour accomplir différentes tâches dans le corps humain reste un défi technique.

européennes ont formé un consortium avec l'IMC : les scientifiques mettent au point des capsules robots pour la détection et le traitement de tumeurs.

Notre équipe, à l'École supérieure Sant'Anna de Pise, en Italie, sous la direction médicale de Marc Schurr à Tübingen en Allemagne, est responsable de la coordination scientifique et technique de ce projet. Il se nomme VECTOR (*Versatile Endoscopic Capsule for gastrointestinal TumOr Recognition and therapy*), le projet visant à créer une capsule endoscopique polyvalente pour l'identification et le traitement des tumeurs gastro-intestinales.

Ces groupes universitaires et industriels ont proposé diverses solutions au problème principal, à savoir le contrôle du déplacement des gélules dans l'organisme. La plupart des solutions reposent sur une ou deux approches fondamentales. La première impose de diriger le mouvement de la capsule avec des « actionneurs » embarqués, c'est-à-dire des parties mobiles telles que des pales, des pattes ou autres dispositifs de propulsion intégrés dans la coque et capables de se déployer quand la gélule est dans le tube digestif. Les actionneurs, contrôlés par des moteurs miniatures, permettent le plus souvent de diriger la capsule, mais, dans certains cas, les bras articulés peuvent aussi écarter les tissus autour de la capsule ; l'examen ou le passage dans une section rétrécie de l'intestin sont alors facilités.

Beaucoup d'énergie

Les moteurs et les transmissions, tels les engrenages, sont grands comparés au volume d'une gélule ; l'ajout d'autres parties essentielles – le capteur pour fournir des images ou un outil de biopsie – pose problème. De plus, pour distendre un tissu, une capsule doit exercer une force importante, correspondant à 10 à 20 fois son poids. Cet effort suppose que les moteurs aient des couples élevés, et donc une puissance importante (environ un demi-watt). Cette consommation d'énergie est contraignante (pour les batteries), ce qui limite la durée de fonctionnement des robots.

Comment économiser l'énergie des batteries ? Il ne faudrait utiliser les actionneurs que pour la propulsion et trouver d'autres façons de distendre les tissus. Par exemple, l'absorption d'un demi-litre d'eau juste avant d'avaler une gélule contrôlée par une hélice distend l'estomac

Frank Hülsmeyer