

qu'il accumule les expériences perceptuelles. Comme nous l'avons indiqué, l'activité synchrone de plusieurs neurones tend à renforcer leurs connexions synaptiques, c'est-à-dire à augmenter la facilité avec laquelle ils échangent des informations. Chez un petit chaton, les neurones du cortex visuel présentent dès la naissance des schémas d'organisation préférentiels : certaines connexions sont naturellement plus fortes que d'autres, elles forment un schéma préétabli, prêt à recevoir l'impact des stimulus extérieurs. Certains neurones ont ainsi une tendance plus affirmée à se synchroniser, et forment en quelque sorte des «images mentales précurseurs». Sur le terrain de ces circuits innés, l'organisation plus fine des assemblées peut avoir lieu ; à un instant donné, des sous-groupes de neurones émettent spontanément des décharges synchrones, et la présentation d'un stimulus chez le jeune animal fixe en quelque sorte les neurones déchargeant à ce moment-là, engendrant la consolidation des synapses existantes, consolidation qui facilite la synchronisation des neurones concernés.

Un fonctionnement en parallèle

Ainsi, l'auto-organisation semble être la règle dans les schémas de connexion «horizontaux» du cortex. Dès lors, si la synchronisation neuronale est un mécanisme horizontal se déroulant à l'intérieur même du cortex, l'activation d'une image consciente résulterait des décharges synchrones de centaines ou de milliers de neurones occupant parfois des positions éloignées dans les couches superficielles du cerveau. Certaines aires, les aires associatives, ont peut-être la propriété de synchroniser l'activité de plusieurs assemblées distinctes, réunissant ainsi les divers attributs d'un même objet, comme la vision d'un stylo rouge réunit les caractéristiques de la forme et de la couleur du stylo. Comment les assemblées se créent-elles chez l'individu en relation étroite avec l'objet qu'elles représentent? Peuvent-elles être activées en l'absence de leur objet?

Chacun peut penser à une scène de film ou à un quelconque objet de la vie quotidienne, à un visage, sans qu'aucun ne soit présent. La faculté de représentation abstraite est une des caractéristiques de la conscience : fait-elle également appel à des décharges synchrones de populations de neurones? Cette question est plus difficile à aborder que les précédentes, car l'analyse des images mentales «remémorées» ne peut être pratiquée que chez l'homme, chez qui on ne peut, bien évidemment, pas utiliser d'électrodes. Il faut recourir à des techniques d'imagerie cérébrale transcrânienne. À l'unité INSERM U280 de Lyon, Catherine Tallon-Baudry, puis Francisco Varela, à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, ont utilisé la technique dite d'électroencéphalographie pour visualiser les aires du cerveau de personnes se remémorant des objets aperçus peu de temps auparavant. Diverses aires visuelles, distantes de plusieurs centimètres, synchronisent leurs oscillations au moment où l'image mentale est «visualisée». Ainsi, la synchronisation sous-tendrait, non seulement la perception, mais aussi la représentation interne des objets. Une telle propriété de répétition silencieuse des images conscientes en l'absence du stimulus qui leur a donné naissance serait le support du pouvoir d'abstraction. D'autres expériences ont également montré que la synchronisation des neurones intervient dès qu'on se concentre.

Ces observations réalisées sur l'être humain confirment le rôle que joue le cortex dans la genèse des images conscientes, en synchronisant ses neurones. Bien sûr, l'observation par électroencéphalographie et magnétoencéphalographie met en lumière des zones d'activité dont le volume peut contenir des milliers de représentations distinctes, sous-réseaux de neurones tellement enchevêtrés qu'il faudrait pouvoir introduire de très fines électrodes dans le cerveau pour savoir quelle assemblée précise est active dans telle ou telle tâche cognitive. C'est donc en poursuivant les études d'imagerie cérébrale chez l'homme et de mesure des courants électriques de neurones individuels chez l'animal, que l'on verra peut-être se dessiner un parallèle précis entre états de conscience et assemblées de neurones.

Confrontation intérieure

La conscience semble réunir deux types d'opérations. La construction d'images mentales, c'est-à-dire de représentations internes des objets extérieurs, et l'activation de ces représentations, même en l'absence du stimulus qui leur a donné naissance. Grâce à ces deux aspects, le cerveau réalise une confrontation des représentations internes avec les signaux bruts représentés par les stimulus. Cette confrontation pourrait être un moteur de la prise de décision. Les situations réelles, confrontées aux images mentales déjà construites de situations antérieures plus ou moins comparables, donnent lieu à un traitement complexe. Certaines structures cérébrales joueraient le rôle de «modérateur» et feraient correspondre plus ou moins étroitement l'image réelle et l'image cérébrale. De telles aires sont apparues à un stade relativement récent de l'évolution des mammifères. Apparues au cours de l'évolution dans la lignée des primates, elles auraient contribué à l'augmentation de la surface du cortex qui confère au cerveau humain son aspect replié caractéristique. Bien qu'éloignées des aires de perception primaires, elles joueraient le rôle d'un miroir, renvoyant aux aires primaires de la perception les images qu'elles ont conservées du passé. Ces interactions d'une aire à l'autre, autorisées par la synchronisation des neurones, auraient lieu soit par l'intermédiaire de zones plus profondes du cerveau, tel le thalamus, soit par le truchement de connexions internes au cortex. Peut-être est-ce dans ce jeu de miroirs que se noue la conscience.

Wolf SINGER dirige l'Institut Max-Planck de recherche sur le cerveau, à Francfort.

P. ROELFSEMA *et al.*, *Visuomotor integration is associated with zero time-lag synchronization among cortical areas*, in *Nature*, vol. 385, pp. 157-161, janvier 1997.

W. SINGER, *Neuronal Synchrony : A Versatile Code for the Definition of Relations*, in *Neuron*, vol. 25, pp. 49-65, septembre 1999.

K. ENGEL et W. SINGER, *Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness*, in *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 5, pp. 16-25, janvier 2001.

F. VARELA *et al.*, *The brainweb: phase synchronization and large-scale integration*, in *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 2, pp. 229-39, avril 2001.

C. TALLON-BAUDRY *et al.*, *Oscillatory synchrony between human extrastriate areas during visual short-term memory maintenance*, in *Journal of Neuroscience*, vol. 21, R.C. 177, octobre 2001.

Les cheminement de la conscience chez l'enfant

OLIVIER HOUDÉ

À l'école, l'enfant apprend surtout à activer des compétences et pas assez à inhiber certains automatismes, c'est-à-dire à se mettre dans des situations d'introspection où, conscient des différentes stratégies, il opère un choix adapté.

La conscience est un trait biologique du cerveau humain et de certains cerveaux animaux. Elle figure parmi les mystères les plus profonds dont la science, notamment la psychologie cognitive, cherche la clé. L'une des façons d'élucider ce mystère est d'aborder la question de la conscience par les mécanismes de son ontogenèse, c'est-à-dire par l'étude expérimentale de sa naissance chez le bébé et de son développement de l'enfant à l'adulte.

Cette question a été classiquement envisagée à propos de la conscience de soi. Le psychologue américain Gordon Gallup a mis au point, dans les années 1960, le «test de la tache» : on observe les réactions de l'enfant placé devant un miroir après que son front a été marqué, à son insu, d'une tache de couleur rouge. L'enfant réussit ce test, c'est-à-dire qu'il porte la main immédiatement sur son front à l'endroit de la tache, vers l'âge de un an et demi seulement. Ce comportement indique qu'il a bien compris que c'est lui qui apparaît dans le miroir ; l'enfant plus jeune essaye d'effacer la tache directement sur le miroir. Chez les autres animaux, seuls les grands singes (chimpanzés, gorilles, orangs-outans) réussissent ce test. On est donc ici en présence d'un indicateur de la naissance de la conscience de soi au cours de l'évolution.

Le rapport à l'image de soi n'est qu'une façon d'aborder la question de la conscience. D'autres psychologues, tel Jean Piaget (1896-1980), de l'Université de Genève, se sont intéressés à une forme plus subtile de conscience que l'enfant développe à propos de ses propres actions et de ses opérations mentales : dénombrer, classer, raisonner, etc. Il a nommé cette forme de conscience «l'abstraction réfléchissante», d'abord au sens du miroir, mais, cette fois, du miroir interne, mental, qui reflète dans l'esprit de l'enfant les actions qu'il réalise et les opérations qu'il imagine ; ensuite au sens du passage à un stade supérieur de réflexion, de raisonnement.

Les philosophes qualifient ce type de conscience d'introspective ou de réflexive, par opposition à la conscience phénoménale qui, elle, traite directement des phénomènes perceptifs (par exemple, on a conscience qu'une balle est ronde, que le ciel est bleu, etc.). Selon Piaget, l'enfant prend peu à peu conscience des propriétés logiques et mathématiques de ses actions (réelles) et des opérations (imaginées). Il passe d'une conscience seulement perceptive à la conscience réflexive, de plus en plus évoluée. D'après ses travaux d'exploration du cerveau, le neurobiologiste Jean-Pierre

Changeux, du Collège de France, a décrit l'existence d'un «espace de travail neuronal conscient» dans le cerveau de l'enfant et de l'adulte, où opère cette conscience réflexive, qui comprend les actions d'organiser et de planifier, de raisonner, de résoudre des problèmes à l'aide d'un effort d'introspection et qui requiert une certaine attention.

Objet, nombre, catégorisation et raisonnement

Dans le développement cognitif de l'enfant, la conscience réflexive s'applique d'abord à l'objet, plus précisément, à la permanence de l'objet. Il est évident pour vous et moi qu'un objet continue d'exister lorsqu'il échappe à notre perception immédiate. En revanche, pour le jeune bébé qui n'est pas encore doté d'une conscience réflexive de l'objet, que celui-ci soit physique (une balle) ou humain, l'objet n'existe plus quand il disparaît de sa vue.

Le bébé atteint la première étape de conscience réflexive lorsqu'il considère l'objet, unité de base du réel, construit dans sa permanence. Il commence alors à décomposer le monde en objets permanents, et il devient capable de traiter plusieurs objets soit quantitativement (il acquiert la notion de nombre, fondement de l'édifice mathématique), soit qualitativement (il entame la catégorisation, base des taxonomies). Lorsque ces traitements ne portent plus seulement sur des objets concrets – comme c'est souvent le cas chez l'enfant – mais aussi sur des idées, des hypothèses, l'enfant ou l'adolescent accède aux étapes ultimes de la conscience réflexive, celles du raisonnement formel, logique. L'objet, le nombre, la catégorisation et le raisonnement sont les piliers du développement cognitif de l'enfant ; notre conscience réflexive d'adulte se façonne progressivement à travers ces éléments. En voici deux exemples, l'un concernant le nombre chez le bébé et chez l'enfant, l'autre le raisonnement chez l'adolescent et chez le jeune adulte.

Selon Piaget, la conscience réflexive du nombre n'apparaît que vers sept ou huit ans. À cet âge, l'enfant parvient à réussir son test des jetons, dit de conservation du nombre. Ce test a fait le tour du monde : on place l'enfant devant deux rangées de jetons qui contiennent le même nombre de pions, mais qui ont une longueur différente (on écarte les jetons de l'une des rangées). La plupart des enfants d'école maternelle se trompent et considèrent qu'il y a plus de jetons là où c'est plus long ! Selon Piaget, après être longtemps resté