

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

au stade où son cerveau est piégé par l'intuition perceptive «longueur égale nombre», l'enfant gravit laborieusement, vers l'âge de sept ou huit ans, la marche qui le fait accéder au stade supérieur, où il prend conscience du principe du nombre, par abstraction réfléchissante (conscience réflexive). L'intuition perceptive, qui caractérise la pensée de l'enfant de deux à sept ans, toujours selon Piaget, correspond ici à une forme de conscience phénoménale: la perception de la longueur des rangées de jetons.

Le psychologue français Jacques Mehler, du CNRS, a remis en cause la chronologie de ce développement. Il a démontré que des enfants réussissent le test de Piaget dès deux ou trois ans quand on remplace les jetons par des bonbons! On leur demande de choisir une rangée de bonbons, ils optent pour celle qui contient le plus de bonbons, au détriment de l'autre, plus longue. La situation étant émotionnellement plus forte (puisqu'il s'agit de manger le plus grand nombre de bonbons), l'enfant fait preuve, beaucoup plus tôt que prévu, d'une conscience réflexive du nombre. L'émotion et la gourmandise rendent le jeune enfant «mathématicien» et lui font sauter la marche – ou le stade perceptif. La conscience réflexive du nombre est encore plus précoce que cet âge, comme le montrent les expériences menées par la psychologue américaine Karen Wynn, de l'Université Yale. Elle commence avant même l'apparition du langage.

Surprise chez le bébé et l'enfant

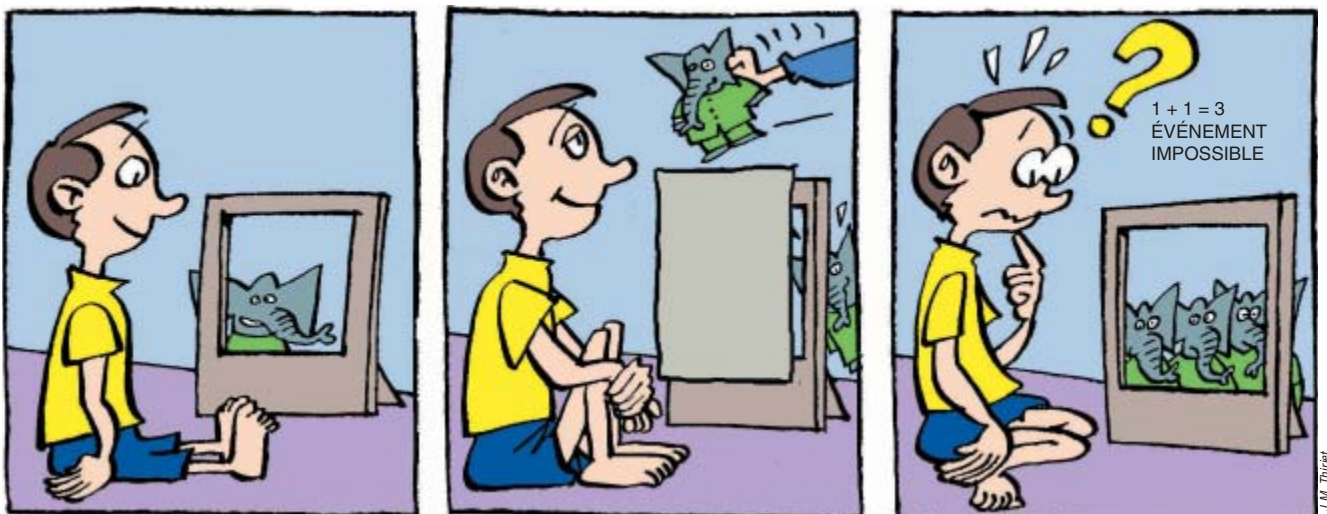
K. Wynn a montré que les bébés sont capables, dès l'âge de quatre à cinq mois, de détecter la transgression ou la conservation du nombre. Elle a mené l'expérience suivante. On présente à des bébés des peluches de Mickey dans un théâtre de marionnettes. Une peluche entre en scène, danse, puis on la cache derrière un rideau. Une autre peluche apparaît, que l'on place derrière le même rideau. On soulève le rideau, qui révèle le nombre de Mickey attendu (événement possible), ou non, si l'on rajoute ou si l'on retire subrepticement une peluche derrière le rideau. Le bébé est confronté à des événements numériques possibles (par exemple, 1 Mickey + 1 Mickey = 2 Mickey) ou impossibles (par exemple $1 + 1 = 1$ ou $1 + 1 = 3$), c'est-à-dire magiques. On

enregistre les temps de fixation visuelle: le bébé regarde plus longtemps un objet qui est nouveau pour lui, ou une scène qui lui semble anormale. Dans cette expérience, qui s'affranchit du piège perceptif de la longueur introduit par Piaget, les bébés fixent plus longtemps les événements numériques impossibles, marquant ainsi leur surprise. Ils ont bel et bien une forme de conscience du nombre.

Nous avons reproduit cette expérience chez l'enfant de deux à trois ans, en utilisant un dispositif similaire, avec des Babar à la place des Mickey. Nous n'enregistrons pas les temps de fixation visuelle: dans notre cas, les jeunes enfants verbalisent leur éventuelle surprise, en énonçant «ça va», ou «ça ne va pas». Nous avons confirmé la capacité de l'enfant de cet âge à prendre conscience du nombre, alors qu'il échoue encore au test de Piaget pour les mêmes nombres (entre 1 et 3) et les mêmes objets (des Babar), et ce jusqu'à sept à huit ans. Comment expliquer cet apparent paradoxe?

Nous présentons en fait des tours de magie au bébé ou au jeune enfant, et nous observons ses réactions de surprise – dites «réactions aux événements impossibles ou inattendus» – qu'elles soient, selon l'âge, exprimées par le regard ou par le langage. Cette technique expérimentale, très simple, est beaucoup plus sensible que ne l'était celle de Piaget pour évaluer la conscience réflexive du jeune enfant. Si vous et moi assistons à un spectacle de magie et que, satisfaits, nous applaudissons à l'issue de ce spectacle, c'est que nous sommes conscients que certaines règles ont été transgressées (par exemple, le magicien qui fait apparaître et disparaître une colombe dans un chapeau transgresse la permanence de l'objet). Cela suppose qu'avant le spectacle, notre cerveau était doté de ces principes: la permanence de l'objet, le nombre, etc.

La magie et la surprise qu'elle suscite sont, dès lors, un puissant instrument pour le psychologue qui veut évaluer la naissance de la conscience réflexive chez l'enfant. D'autant plus puissant que, couplé à la vidéo et à l'informatique, il permet d'étudier les réactions visuelles aux événements impossibles, et de tester la conscience de principes comme le nombre, avant même l'apparition du langage. Dès 1896, le psychologue français Théodule Ribot (1839-1916) écrivait: «Le premier moment du sentiment intellectuel est celui de la surprise.



1. LA CONSCIENCE DU NOMBRE est présente chez le très jeune enfant. On le place devant un théâtre de marionnettes, où l'on fait apparaître un Babar; puis on le cache derrière un écran. Sous les yeux de l'enfant, on place un autre Babar derrière cet écran. Quand

on enlève le panneau, l'enfant ne montre aucune surprise s'il découvre bien deux Babar (événement possible). En revanche, s'il découvre trois peluches (on a placé un Babar derrière l'écran à l'insu de l'enfant), il est surpris (événement impossible).

Elle se produit de bonne heure chez l'enfant.» Ribot entendait par sentiment intellectuel l'état émotionnel ou le sentiment de soi qui accompagne l'activité cognitive, état qui correspond à la conscience réflexive.

Ce premier sentiment intellectuel du bébé à propos du nombre est-il déjà une forme de conscience réflexive ou est-il encore limité à une simple conscience perceptive, phénoménale? En paraphrasant J.-P. Changeux, cité plus haut, on peut penser que l'espace de travail neuronal conscient existe déjà dans le cerveau du bébé, qu'une conscience attentive et réflexive y opère et lui permet de détecter visuellement la transgression ou la conservation du nombre. Certains grands singes réussissent aussi le test de K. Wynn. Comme pour la conscience de soi, il semble qu'on soit ici en présence d'un indicateur de la naissance de la conscience du nombre au cours de l'évolution, origine des formes ultérieures de conscience réflexive qui conduiront, notamment par les apprentissages scolaires, à la pensée mathématique.

Inhibition chez l'enfant

Compte tenu de ce qui vient d'être dit, tout porte à croire que ce qui pose réellement problème à l'enfant d'école maternelle dans le test des jetons de Piaget, ce n'est pas d'avoir ou non conscience du nombre, mais c'est d'être incapable d'inhiber la stratégie perceptive «longueur égale nombre», suractivée par le matériel de l'expérience, mais inadéquate ici. D'habitude, cette stratégie fonctionne bien. Par exemple, sur les rayons des supermarchés, la longueur des rangées et le nombre des produits varient en général ensemble. De même, à l'école ou à la maison, quand on apprend les additions avec des objets, plus on ajoute d'objets ($1 + 1 + 1 + 1 + \dots$), et plus c'est long; quand on soustrait, c'est l'inverse.

Ainsi, notre cerveau, et particulièrement celui de l'enfant, détecte que la longueur et le nombre varient ensemble; il a, bien ancrée en lui, l'expérience perceptive, phénoménale, de cette covariation. C'est un exemple de ce que le philosophe et psychologue Maurice Merleau-Ponty (1908-1961) a nommé «le monde perçu par l'enfant», désignant ainsi une forme de conscience enfantine, similaire à la conscience phénoménale, dont il considèrerait que Piaget sous-estimait le caractère positif.

En résumé, le test des jetons n'évalue sans doute pas ce que Piaget croyait. Il n'évalue pas la conscience réflexive du nombre en tant que telle, déjà maîtrisée par l'enfant plus jeune, voire par le bébé, mais l'inhibition d'une forme de conscience phénoménale acquise, «longueur égale nombre», qui, dans ce cas précis, conduit à l'erreur. Nous l'avons démontré en mettant au point une adaptation informatisée du test

des jetons de Piaget. Dans cette expérience, nous faisons passer le test de Piaget à des enfants de huit ans. Les enfants de cet âge réussissent le test (ils inhibent la stratégie «longueur égale nombre»). Nous leur présentons sur un écran deux rangées de jetons qui ont des longueurs différentes, et ils doivent indiquer, en appuyant sur un bouton, si elles comportent le même nombre de jetons ou non. Nous mesurons leur temps de réaction, c'est-à-dire le temps qu'ils mettent à réaliser que les deux rangées ont le même nombre de jetons. Puis, aussitôt après, nous leur présentons un test où la longueur et le nombre covarient, c'est-à-dire où la rangée la plus longue contient en effet plus de jetons. Ils doivent activer la stratégie «longueur égale nombre» qu'ils viennent d'inhiber. Nous mesurons aussi leur temps de réaction. Dans ce cas, l'enfant met plus de temps pour répondre que dans une situation contrôle où il n'a pas à résoudre le test de type Piaget d'abord. On nomme ce décalage de temps «l'amorçage négatif», qui correspond au temps supplémentaire nécessaire à l'enfant pour débloquer la stratégie «longueur égale nombre» quand elle devient pertinente au second test.

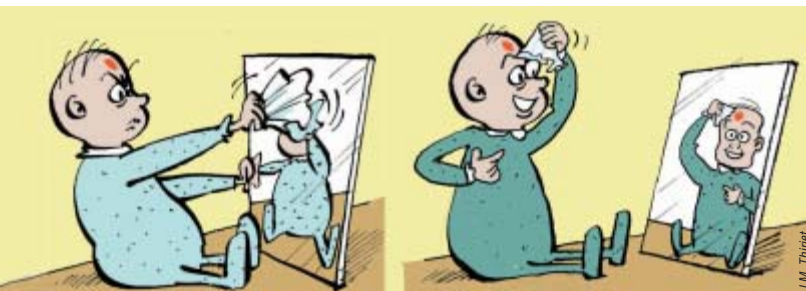
Ainsi, nous confirmons que «se développer, c'est inhiber» et non pas seulement «activer, coordonner et abstraire», comme le pensait Piaget. Cette thèse s'applique ici à la question de la conscience chez l'enfant: «Je suis conscient du choix de stratégies et du risque d'erreur (au sens réflexif du terme), donc j'inhibe certaines stratégies.» Comme l'a écrit le physiologiste Alain Berthoz, du Collège de France, «le cerveau est un cheval fougueux que l'inhibition dirige, tel le cavalier avec ses rênes». En voici un autre exemple à propos du raisonnement logique chez l'adolescent.

De l'enfant à l'adulte

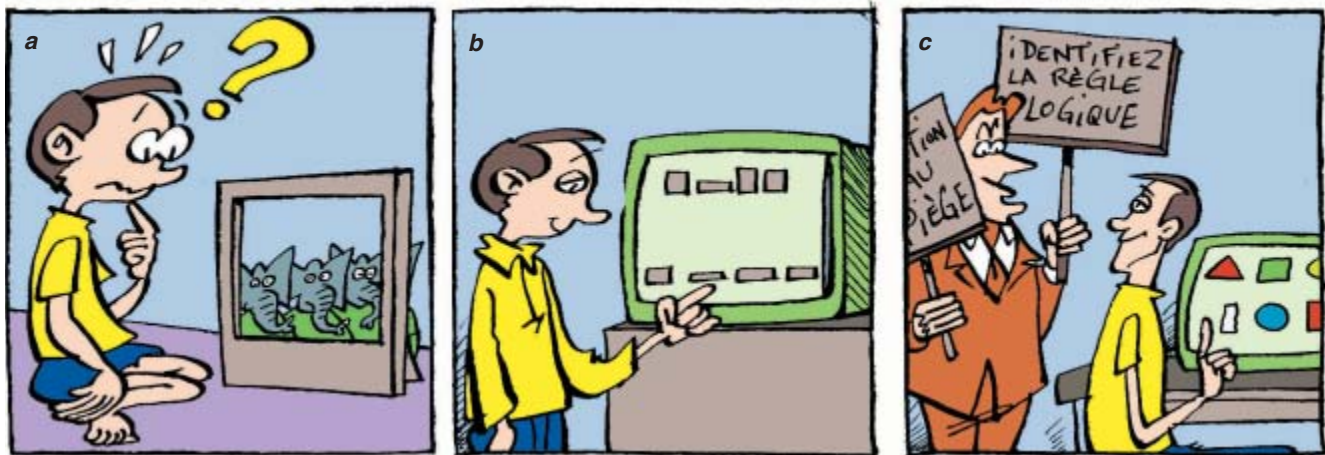
Selon Piaget, la forme de conscience réflexive la plus élaborée se met en place à l'adolescence, vers 14-15 ans. Il s'agit de la pensée logique ou formelle, dite «hypothético-déductive», qui s'exprime notamment par le raisonnement conditionnel de type «si..., alors...». Le pouvoir de la conscience réflexive se trouve, dès lors, notablement augmenté. L'adolescent imagine et manipule des objets ou des concepts presque à l'infini. Les adolescents et les adultes sont des êtres logiques, selon la théorie de Piaget.

Cependant, la conscience phénoménale n'en reste pas moins présente. Contrairement aux prédictions de la théorie de Piaget, Jonathan Evans, de l'Université de Plymouth, en Grande-Bretagne, et d'autres psychologues, ont démontré que les adolescents et les adultes font systématiquement des erreurs de déduction nommées «les biais de raisonnement». Avec Nathalie Tzourio-Mazoyer et Bernard Mazoyer, du Groupe d'imagerie neurofonctionnelle (universités de Caen et Paris 5, CNRS et CEA), nous avons étudié à l'aide de techniques d'imagerie cérébrale fonctionnelle ce qui se passe dans le cerveau des individus, d'abord quand ils font une erreur perceptive dans un test de logique et, ensuite, quand ils donnent une réponse correcte après avoir appris à inhiber le biais perceptif. Les résultats ont montré une très nette reconfiguration des réseaux cérébraux, de la partie postérieure du cerveau (perception) à la partie préfrontale (logique, abstraction, réflexion). Il ne suffit donc pas d'avoir atteint, à l'adolescence, le stade logique défini par Piaget pour être totalement «préfrontal».

Comme le pensait Piaget, la logique est la forme optimale de l'adaptation biologique, construite par la conscience



2. DANS LE TEST DE LA TACHE, on place l'enfant devant un miroir. S'il efface la tache que l'on a marquée à son insu sur son front (vers l'âge de 18 mois), c'est qu'il se reconnaît et qu'il a acquis une forme de conscience de soi.



3. LE DÉVELOPPEMENT de la conscience réflexive n'est pas linéaire. La conscience du nombre, une forme de conscience réflexive, apparaît, chez le bébé (a). Pourtant, l'enfant de moins de sept ans se trompe

dans le test de Piaget et croit que la rangée la plus longue contient plus de jetons (b). L'adulte, malgré sa conscience réflexive, commet encore des erreurs de logique, induites par des biais perceptifs (c).

réflexive. On constate toutefois que dans le cerveau, y compris chez l'adulte, la conscience phénoménale peut, à tout moment, reprendre le devant de la scène (activation de la partie postérieure du cerveau) et induire en erreur. Par ailleurs, l'inhibition, déclenchée ici par un apprentissage expérimental, se révèle la clé de l'accès à la conscience réflexive (partie préfrontale du cerveau).

La mélodie consciente du cerveau

Selon J.-P. Changeux, dans son livre *L'Homme de vérité*, ce résultat est une démonstration par l'imagerie cérébrale de l'existence d'une «mélodie consciente» du cerveau. Il souligne que toute théorie sérieuse de la conscience devrait se donner pour tâche d'expliquer l'orchestration de ce flux cohérent d'objets mentaux qui donne accès à la validation rationnelle d'une proposition (la logique).

Dans notre expérience de la correction des erreurs de raisonnement, nous avons aussi observé l'implication du cortex préfrontal ventromédian droit. D'après le neurologue Antonio Damasio, de l'Université de l'Iowa, aux États-Unis, cette région du cerveau joue un rôle dans les rapports entre émotion et raisonnement. Selon lui, la conscience réflexive est définie comme l'émotion liée au «sentiment même de soi» à travers l'activité cognitive – le sentiment intellectuel de Ribot. Il est intéressant de souligner qu'avant l'apprentissage de l'inhibition du biais perceptif, les sujets de notre expérience n'étaient pas conscients qu'ils commettaient une erreur de logique (ils pensaient tous répondre correctement!), alors qu'après, ils l'étaient: ils avaient accédé au sentiment de soi comme en témoigne l'implication du cortex préfrontal ventromédian droit.

Ce phénomène de prise de conscience réflexive de ses erreurs, dont on observe ici une trace cérébrale, est une question centrale pour la psychologie du développement, de l'enfant à l'adulte, et pour la pédagogie. Les enfants d'école maternelle qui, dans le test des jetons de Piaget, se trompent en disant qu'il y a plus de jetons là où c'est plus long, croient évidemment répondre juste; or on sait aujourd'hui qu'ils ont, dès cet âge, les capacités numériques nécessaires pour ne pas se tromper (ils en font la preuve s'il s'agit de bonbons). L'école apprend surtout «à activer» et sans doute pas assez explicitement et systématiquement «à inhiber», c'est-à-dire à mettre l'enfant dans des situations contrôlées d'introspec-

tion où il est susceptible de se dire: «Je suis conscient du choix des stratégies possibles et du risque d'erreur, donc j'inhibe.» Ce type de situation correspond à ce que le psychologue américain John Flavell, de l'Université de Stanford, a nommé des «expériences métacognitives», c'est-à-dire des expériences cognitives et affectives conscientes qui portent sur les processus de résolution d'un problème particulier. Prendre conscience de ses erreurs, c'est prendre conscience de soi.

Ces propos nous renvoient au point de départ de l'article, la conscience de soi, dont on a vu qu'elle pouvait concerner la naissance de l'image de soi dans le miroir chez l'enfant, mais aussi, de façon plus subtile, la conscience réflexive des opérations cognitives, tels le dénombrement, le raisonnement, etc. On doit à Piaget d'avoir mis l'accent sur cette forme de conscience – d'abstraction réfléchissante – chez l'enfant. Il imaginait que la conscience chez l'enfant était, d'abord, seulement perceptive, puis qu'elle devenait peu à peu réflexive. Le développement de la conscience réflexive est beaucoup moins linéaire qu'il le pensait. D'une part, il existe déjà chez le bébé et le jeune enfant des formes élémentaires de conscience réflexive attestées par des réactions précoces de surprise ignorées par Piaget. D'autre part, la suite du développement de la conscience, de l'enfant à l'adulte, est jalonnée de cas où des formes de conscience réflexive, déjà établies, se trouvent «court-circuitées» par des expériences de conscience phénoménale induisant des erreurs perceptives. Dans ces «cas de conscience», l'inhibition cognitive, ignorée par Piaget et insuffisamment développée à l'école, est la clé de voûte de la plasticité neuronale et de l'adaptation fonctionnelle.

Olivier HOUDÉ est professeur de psychologie cognitive à l'Université Paris 5 (Sorbonne). Il est responsable de l'équipe Développement et fonctionnement cognitifs dans le Groupe d'imagerie neurofonctionnelle, UMR 6095, CNRS, CEA, Universités de Caen et Paris 5.

O. HOUDÉ et É. GUICHART, *Negative priming effect after inhibition of number/length interference in a Piaget-like task*, in *Developmental Science*, vol. 4, pp. 71-74, 2001.

O. HOUDÉ et al., *La correction des erreurs de raisonnement*, in *Pour la Science*, n° 297, 2002.

O. HOUDÉ, *Consciousness and unconsciousness of logical reasoning errors in the human brain*, in *Behavioral and Brain Sciences*, à paraître.

La conscience animale

PIERRE BUSER

Les grands singes, notamment les chimpanzés, ont des comportements que l'on peut qualifier d'«intelligents». Ont-ils pour autant une conscience? Une conscience de soi? Des autres? Du monde qui les entoure? Ces questions âprement débattues ont aujourd'hui quelques ébauches de réponse.

En toute rigueur, le problème de la conscience animale n'a pas de solution et l'on pourrait tout simplement l'ignorer, sous prétexte que les processus mentaux se soustraient de toute façon à notre connaissance. Peut-on aller, aujourd'hui, au-delà de cette assertion catégorique? En 1913, le psychologue américain John Watson, lassé des spéculations philosophiques de ses collègues, fonde le béhaviorisme, par lequel il tente d'éliminer toute subjectivité dans l'analyse du comportement, allant, par là même, à l'encontre d'anciennes pratiques. Cette doctrine s'étant imposée, la conscience (humaine et *a fortiori* animale) ne fut plus considérée que comme un épiphénomène, indéfinissable et indésirable, qu'il était désormais de bon ton d'ignorer. Puis vinrent des neurobiologistes qui, au contraire, commencèrent à explorer, au moyen de capteurs, l'animal en état de veille et se mirent dès lors à élargir leur horizon (alors que les explorations neurophysiologiques courantes sur le cerveau étaient surtout effectuées sur l'animal anesthésié, pour lui éviter toute souffrance).

Ils n'osèrent certes pas, d'abord, parler de conscience – par prudence sans doute – ou l'ont délibérément ignorée. Puis lentement d'abord et soudainement ensuite, les questions sur la conscience ont ressurgi dans des domaines aussi éloignés que la neuroscience fonctionnelle ou la philosophie de l'esprit. Cet intérêt nouveau pour la conscience a eu tendance à s'étendre à l'animal. La tentation devint grande, pour l'expérimentateur persuadé que la conscience est une réalité chez l'homme, d'en chercher des indices chez l'animal. Aujourd'hui, les études se multiplient sur des animaux éveillés, quasiment libres de leurs mouvements, porteurs de multiples capteurs (protégés de toute expérience douloureuse), la plupart du temps impliqués dans des tâches de discrimination sensorielle, d'apprentissage moteur, de mémorisation...

C'est bien évidemment à propos de ces recherches sur l'animal éveillé et actif que l'extrapolation est devenue tentante : était-il pertinent ou non de prendre en compte la conscience du sujet? Ce dernier n'a plus beaucoup de points communs avec l'animal anesthésié et il est si souvent devenu apprivoisé et familier qu'il collabore avec une surprenante expression de plaisir et d'attention à l'étude dont il est l'objet. À partir de quel niveau phylogénique, c'est-à-dire de l'évolution des espèces, peut-on risquer une extrapolation? Comment faire le pont entre les différentes recherches comportementales? Comment

obtenir que soit introduite cette fonction mentale si discutée? Le débat s'élargit quand on envisage qu'il existe plusieurs niveaux dans l'appréhension consciente.

Une conscience à deux niveaux

On pose que la nature fondamentale de «l'expérience consciente» est d'être une opération intégrative vécue, c'est-à-dire qui fait partie d'une activité mentale, parfois beaucoup plus large et plus complexe, que ne l'exige l'opération proprement dite. Cette définition admise, on délimite une «classe primaire de vécu conscient». Cette conscience primaire peut être vue comme la perception (*l'aperception*, ont dit les philosophes) d'une classe d'événements cérébraux internes, avec deux caractéristiques : être le fruit du fonctionnement de systèmes de réseaux neuronaux intracérébraux, et ne pas nécessairement être la réaction instantanée à une sollicitation externe. Cette définition appelle l'expérimentateur à être à l'affût de tous les événements nerveux qui ne surviendraient que lorsque l'individu est éveillé et présumé conscient, et à filtrer parmi les phénomènes isolés par l'investigation instrumentale (signaux électriques, signaux neurochimiques, signaux d'imagerie, par exemple), ceux qui pourraient être reliés à un certain état de conscience.

Il ne s'agit en quelque sorte que d'un pari : reconnaître qu'il existe chez l'animal, ceci à partir d'un certain niveau d'organisation phylogénique (globalement, une partie au moins des mammifères), une classe d'opérations mentales qui constitueraient l'expérience consciente primaire. Le psychologue canadien Donald Hebb a introduit plusieurs critères d'un comportement conscient : un degré croissant d'autonomie vis-à-vis des stimulus et des situations extérieures, rendant de moins en moins prévisibles ses initiatives comportementales et impliquant de plus en plus d'opérations entrant dans le cadre des processus de «mise en attente» (l'animal stocke des informations dont il se servira plus tard) ; le fait que l'animal s'intéresse à un nombre croissant d'objets ; l'existence d'actes intentionnels, qui évoquent non seulement un comportement intelligent pour créer des outils, mais impliquent également une attitude d'anticipation. Les deux premiers critères relèvent sans doute de la conscience primaire, alors que le dernier pourrait bien se rapporter déjà à un niveau supérieur de conscience, la «conscience

d'être conscient» ou conscience réflexive, réservée à l'homme et, peut-être, à certains primates.

La conscience réflexive est une opération de prise en compte de ses propres sensations, pensées, réflexions, émotions, volontés, désirs, croyances, avec chez l'humain, la parole. Cette perception interne au second degré entraîne, chez l'adulte tout au moins, des jugements sur son propre état et des raisonnements en cascade. Elle est probablement peu développée chez l'enfant, et évolue avec l'âge et l'exercice du jugement, selon des étapes auxquelles le psychologue suisse Jean Piaget a consacré de nombreuses études.

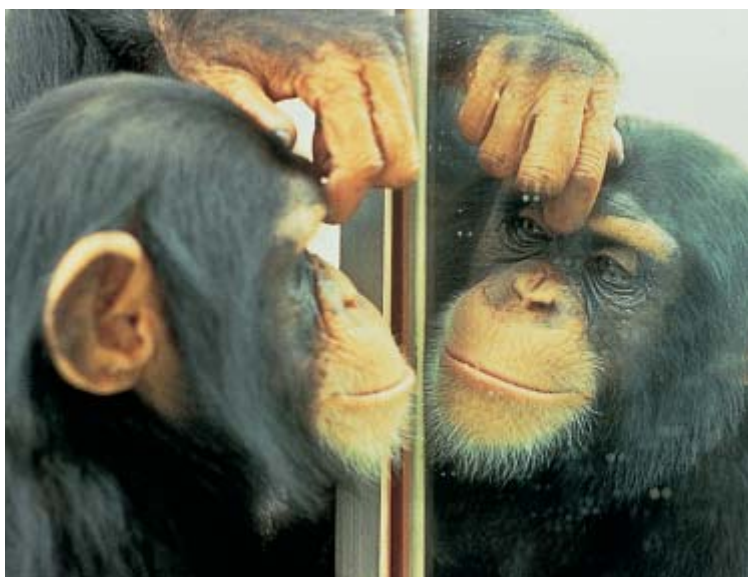
Concluons en proposant que la conscience primaire serait l'opération d'appréhension des faits qui s'imposent à l'être et à sa connaissance, et lui dicte des actions adaptées ; elle serait présente chez l'animal à partir d'un certain niveau phylogénique que l'avenir saura sans doute préciser (pourquoi ne pas faire l'hypothèse de degrés évolutifs dans le mental animal?). La conscience réflexive serait celle des ensembles d'événements cérébraux qui peuvent impliquer un retour sur soi, en confrontant l'expérience vécue à l'analyse de cette expérience. L'existence de cette conscience réflexive, qui fait l'essentiel de notre propre activité mentale, suscite deux remarques : d'une part, l'homme,

capable du degré de conscience le plus élevé, se trouve peut-être parfois dans des situations où sa conscience opère à un niveau inférieur (rejoignant alors, si l'on peut dire, une certaine conscience animale) ; d'autre part, un examen quelque peu détaillé s'impose de nos plus proches voisins dans l'évolution, les primates non humains, pour déceler éventuellement une esquisse de conscience réflexive, ceci dans une perspective phylogénique sur la conscience. Autrement dit, on peut se demander si la dualité des consciences coïncide ou non avec la coupure entre l'animal, aussi haut placé soit-il dans la phylogénèse, et l'homme. Entre le mental de l'homme et celui de l'animal le plus évolué, la discontinuité est-elle totale, ou pourrait-on saisir un signe, fût-il même très ténu, de continuité de l'un à l'autre?

Une conscience réflexive chez l'animal

Les débats sont d'autant plus passionnés que les termes ne sont pas toujours très bien définis. Si la conscience réflexive est assimilée à la représentation mentale, à la perception de soi agissant, à l'abstraction et à la conceptualisation, l'interrogation subsiste : les animaux ont-ils réellement cette faculté? Bonne question, mais réponses nuancées : s'il est plus que probable que les animaux ont des représentations mentales (les progrès de l'imagerie sont aujourd'hui presque en mesure de le démontrer), cela ne signifie pas pour autant qu'ils aient connaissance de leur connaissance. Autrement dit, la représentation mentale pourrait être la preuve d'une conscience primaire, mais non nécessairement celle d'une conscience réflexive plus complexe.

Doit-on confondre intelligence et conscience? On est tenté, lorsqu'on discute de la «conscience animale», de se borner à dresser un bilan de ce que l'on sait de l'intelligence animale et d'extrapoler. Toutefois, inventorier les conduites



1. UN CHIMPANZÉ face à un miroir adopte des attitudes et fait des mimiques qui semblent témoigner d'une conscience de soi. On doit conduire les études sur la conscience animale très rigoureusement pour éviter les risques de confusion : on ne doit pas prendre, par exemple, des comportements d'imitation ou des mimiques pour des «preuves» d'une conscience de soi, sans les avoir évalués avec précision.

Dorina Bierschwald

dites intelligentes ne suffit pas, car les exemples abondent, dans le règne animal, de tels comportements qui ne correspondent probablement souvent qu'à une conduite génétiquement codée (ou acquise dans la phase juvénile au contact de la mère ou du groupe par influence, non des gènes, mais de l'environnement).

Ce qui anime le présent débat est de rechercher derrière certains comportements des démarches qui pourraient être l'amorce d'opérations «supérieures», signes d'une conscience réflexive, avec, au-delà des seules représentations mentales, des anticipations, des transferts, des abstractions, des généralisations, et surtout des intentions prêtées à l'autre. Ces dernières peuvent jouer sur les rapports sociaux, sous forme de manipulations d'informations, de tromperies, de jeux de «moi je sais que tu sais», «moi je veux te faire croire que», autant d'attitudes qui font partie de cet inventaire un peu hétéroclite des opérations cognitives. Ces démarches présentent-elles un risque d'interprétation anthropomorphique? Oui, bien sûr, mais pourquoi ne pas dépasser une certaine frilosité et ne pas rejeter une fois pour toutes les pruden- ces prônées par le béhaviorisme?

Au dossier de l'intelligence animale, on cite d'abord inévitablement l'utilisation d'outils, objets destinés à des fins les plus diverses. Les discussions sont allées bon train quant aux mécanismes de ces apprentissages, soit que l'animal ait fortuitement découvert l'outil par essais et erreurs, soit qu'il ait imité ses congénères, soit enfin qu'il ait eu une intuition, une représentation mentale lui permettant d'imaginer l'outil. L'outil prouve peut-être une certaine intelligence, mais que dire de l'opération intuitive qui lui a peut-être donné naissance? Cette idée d'un apprentissage spontané (sans essais ni erreurs, et sans imitation) n'est pas récente car, en 1925, le psychologue allemand Wolfgang Köhler avait déjà constaté que certains singes n'étaient parvenus à la solution d'un problème qu'après une période de non-réponse et de repos. Cette observation d'une com-

préhension soudaine (après une période de non-réponse), qui n'a guère de rapport avec l'apprentissage classique par essais et erreurs, est peut-être à mettre au compte d'une de ces opérations «supérieures» que nous recherchons, pour illustrer un début de conscience réflexive. La question se pose notamment pour les animaux qui recherchent un outil dans un endroit, se dirigent ensuite vers un autre endroit pour y utiliser leur outil : ces étapes nécessitent plusieurs opérations abstraites.

Communication et intentionnalité

Un autre volet de l'intelligence animale est celui de la communication, où peut jouer par excellence la faculté d'abstraction et de manipulation de l'information, soit à l'intérieur de l'espèce, soit dans ses relations avec l'homme. Ici le bilan des opérations «supérieures» est bien meilleur. C'est ainsi que Sarah, une femelle chimpanzé, entraînée par deux psychologues américains, D. Premack et G. Woodruff, sait résoudre des problèmes qui lui sont posés, mais également des problèmes qu'elle voit posés à l'interlocuteur humain présent à côté d'elle : on lui présente des films de 30 secondes montrant un acteur humain aux prises avec diverses classes de problèmes, par exemple saisir une banane ne se trouvant pas à sa portée, sortir d'une cage où il est enfermé... Puis on donne à l'animal une série de photographies dont l'une représente une solution à la situation-problème. Sarah sait sélectionner la représentation de la solution. Ce test de compréhension montre à quel point les chimpanzés sont capables d'utiliser ce qui est probablement une représentation mentale de la situation pour en déduire des solutions.

Troisième constatation à mettre au compte d'une démarche mentale complexe, l'intentionnalité dans les échanges entre individus. Le chimpanzé est-il non seulement constructeur d'outils, mais aussi psychologue? A-t-il des intentions et surtout prête-t-il des intentions et des états mentaux aux autres? A-t-il une «théorie de l'esprit?», se sont interrogés D. Premack et G. Woodruff. Ainsi, les chimpanzés distinguent l'opérateur humain «qui sait» où se trouve de la nourriture que l'on a cachée de celui qui ne peut pas savoir, parce qu'il n'était pas présent lors de la mise en place de la nourriture, comme les animaux l'ont bien noté. Les chimpanzés comprennent que l'homme qui a assisté à un événement en possède une compréhension différente de celle de l'homme qui n'a rien vu. Ils seraient capables d'attribuer certains états mentaux aux opérateurs humains et de savoir ce qu'ils savent et ne savent pas.

Et le langage? Nous entrons ici sur un terrain contesté, très médiatique, décrié des linguistes, des anthropologues et de bon nombre de psychologues. Et pourtant, ces animaux savent apprendre un langage. Les expérimentateurs ont mis en évidence plusieurs types de communication : verbale de l'homme à l'animal ; par signes entre l'homme et l'animal ; communications entre singes en l'absence de l'homme, mais après un apprentissage auprès de l'homme ; communications entre animaux en milieu naturel. C'est principalement des expériences de communication entre l'homme et l'animal dont il sera question ici ; ces expériences ont été réalisées avec des chimpanzés (*Pan troglodytes*) et plus récemment des bonobos ou chimpanzés «pygmées» (*Pan paniscus*). Nous ne décrirons pas les nombreuses études de performances de chimpanzés, soumis à des tâches cognitives langagières plus ou moins complexes, mais nous ne retiendrons



Donna Bierschwale

2. LA RECONNAISSANCE DE SOI existe chez les chimpanzés : on peint sur leur visage une tache rouge et on les place face à un miroir. Ou bien, ils n'ont pas conscience que l'animal dans le miroir est eux-mêmes et ils explorent la tache sur le miroir comme ils le feraient sur un autre chimpanzé ; ou bien, ils ont conscience, d'une part, que le miroir leur renvoie leur image et, d'autre part, que cette tache est anormale, et ils essaient de l'enlever en frottant leur front. Cette expérience est considérée comme une preuve de la conscience de soi.

que celles illustrant notre propos. Bien entendu, un chimpanzé ne saura jamais parler, son larynx n'ayant pas la structure appropriée. En revanche, il peut apprendre à communiquer par signes avec les humains en utilisant, après un entraînement intensif, le langage américain des sourds-muets ; il apprend des mots certes, mais pas de règles syntaxiques, même élémentaires. De plus, D. Premack est parvenu à enseigner à Sarah des symboles en matière plastique qui représentent des objets, des noms propres, des qualificatifs, des actions, des classes d'objet (des fruits, des bonbons et des gâteaux), ceux qui permettent d'établir des classes de couleurs, de formes et de dimensions, ceux qui signifient «identique» ou «différent», «oui» ou «non», «est» et «n'est pas», «tout» et «aucun», «un» et «plusieurs», «si...», alors...». Petit à petit, l'animal est devenu capable d'établir des séquences de plus en plus longues de communication avec l'opérateur, de questions et de réponses de plus en plus complexes à partir d'abstractions consistant à désigner des objets à l'aide de symboles qui n'avaient avec ces objets aucune communauté de forme ou de caractéristique.

Nous citerons un autre exemple, celui de la primatologue américaine Sue Savage-Rumbaugh qui a, de son côté, adopté un système de «lexigrammes», symboles représentant chacun un mot, visualisés sur écran en appuyant sur les touches d'un clavier ou représentés sur un grand «livre» (voir la figure 3). Le singe apprenait à associer un lexigramme à l'objet correspondant, par exemple «pomme». On présentait ensuite à l'animal un certain aliment, et il devait répondre à la question «Qu'est ce que c'est?» (sans le consommer). C'est à partir d'un tel dressage, où intervenaient deux fonctions distinctes, sémantique (le sens) et pragmatique (l'action de consommer), que les animaux ont procédé à un transfert : ils ont utilisé ces symboles comme des étiquettes représentatives pour classer, dans l'une ou l'autre des deux catégories, d'autres objets qu'on leur présentait. Deux animaux dressés ont même réussi à établir un dialogue par symboles entre eux. Ainsi, les chimpanzés semblaient transmettre un signal de l'un vers l'autre en utilisant des symboles appris (se désigner des aliments) et spontanément demander des aliments spécifiques à l'autre en les désignant par ces symboles. Cette observation était, à l'époque, le premier exemple d'une communication symbolique entre primates non humains.

La dernière classe d'informations sur cette quête de l'intuition consciente chez le singe vient d'observations sur le comportement de l'animal devant un miroir : la plupart des singes (macaques, babouins) font comme s'ils avaient en face d'eux un ennemi. En revanche, les anthropoïdes (chimpanzé, orang-outang) utilisent vite le miroir pour examiner leur corps, et ils font des grimaces. Ainsi, lors de l'expérience «de la tache», on dépose, sous anesthésie, une touche de peinture inodore et non irritante au-dessus des sourcils de l'animal (déjà habitué au miroir). Après son réveil, celui-ci, placé devant le miroir, commence à explorer intensément cette tache sur son propre front, ce qui renforce l'idée qu'il s'agit d'une autoreconnaissance (et non de la reconnaissance d'un autre). Chez l'enfant, cette réaction dite spéculaire n'est évidente qu'après deux ans ; auparavant, et comme chez certaines autres espèces, l'animal marque de la perplexité ou même une réaction d'évitement, comme face à un ennemi potentiel. On est tenté de voir dans cette réaction un pas nouveau dans l'évolution phylogénique vers une conscience réflexive, vers la capacité pour l'individu



3. PAMBANISHA, une adolescente bonobo, apprend des symboles, nommés «lexigrammes» avec son «professeur». L'étude de la conscience animale exige que l'on distingue intelligence et conscience.

de devenir l'objet de sa propre attention sur des parties de son corps qu'il ne peut normalement pas voir.

Force est donc de conclure à la possibilité d'opérations mentales qui vont des processus associatifs complexes à des représentations sémantiques et symboliques. Ces aptitudes à l'abstraction, à la symbolisation, à la généralisation et au transfert, quelque limitées soient-elles, renforcent l'idée d'une évolution phylogénique des processus cognitifs, où les anthropoïdes représenteraient un chaînon remarquable dans la marche vers notre conscience réflexive.

Toutefois, la critique est aisée à propos de la seule observation de ces primates : les résultats sont assez modestes et limités, les systèmes sémantiques appris n'ont pas grand rapport, sans doute, avec les modalités, probablement beaucoup plus riches, de la communication intraspécifique dans la nature (gestes ou mimiques). Nous les connaissons encore très mal, car à chercher à répertorier, on risque d'interférer. Quels sont les systèmes porteurs d'intentionnalité? L'émetteur a-t-il conscience du contenu de son message? Connaît-il l'action qu'il aura sur le récepteur? Questions auxquelles nulle réponse définitive ne peut être donnée, mais qui cachent ce qui nous préoccupe : comment déceler le passage à l'action consciente manipulatrice de symboles et, le cas échéant, d'abstraction? Grâce à de nouvelles méthodes et à beaucoup de patience, peut-être découvrira-t-on des signes encore insoupçonnés d'une conscience réflexive chez ces espèces, mystérieuses charnières avec notre genre humain.

Pierre BUSER, membre de l'Institut, est professeur émérite de neurosciences à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

D. HEBB, *The Organization of Behavior. A neuropsychological theory*, Wiley, New York, 1954.

D. PREMACK et G. WOODRUFF, *Does the chimpanzee have a theory of mind?* in *Behavioral and brain sciences*, 1, pp. 515-526 et 615-636, 1978.

S. SAVAGE-RUMBAUGH, *Ape languages : From conditioned response to symbol*, Columbia University Press, New York, 1986.

J. VAUCLAIR, *L'intelligence de l'animal*, Seuil, Paris, 1992.

Perception visuelle et conscience

MICHEL IMBERT

L'étude des performances visuelles de personnes atteintes de lésions cérébrales démontre que certaines caractéristiques d'un objet peuvent être présentes dans le cerveau sans que l'on ait conscience de voir l'objet.,

Les capacités visuelles humaines sont stupéfiantes. Il faut moins d'une demi-seconde pour reconnaître un visage familier perdu au milieu d'une foule, même si ce visage a changé, bronzé ou vieilli, porte des lunettes qu'on ne lui connaissait pas, s'est fait teindre les cheveux. Quand nous travaillons à notre bureau, nous pouvons saisir, sans la moindre hésitation et avec une précision étonnante, un objet posé quelque part sur la table, un crayon, une gomme, sans y prêter particulièrement attention, sans même le regarder, après l'avoir simplement repéré d'un coup d'œil distrait. Lorsque nous traversons une rue, nous n'avons guère besoin de faire de savants calculs pour adapter la longueur de nos pas de telle sorte que le dernier, élevé de la hauteur requise, permette de poser son pied sur le rebord du trottoir d'en face. On pourrait multiplier les exemples, admirer la précocité de ces capacités chez le tout petit bébé qui reconnaît sa maman, dès les premiers mois de sa vie, qui saisit des jouets en mouvement, évite les obstacles dès qu'il commence à se déplacer. On mesure le caractère exceptionnel de ces performances lorsque l'on s'efforce de développer des systèmes artificiels de vision, visant à les imiter. Il n'existe pas encore de robot visuel mobile susceptible de faire ce qu'un bébé de neuf mois fait sans peine, avec rapidité et assurance.

Dès lors il n'est pas étonnant que l'étude de la perception visuelle ait mobilisé des cohortes impressionnantes de chercheurs. Des observations et des expériences, relativement faciles à mettre en œuvre dans le domaine de la vision, ont permis d'aborder, en termes neurobiologiques, ce que signifie voir et ce que signifie avoir conscience de ce que l'on voit. C'est le terrain privilégié sur lequel les philosophes, les psychologues ou les biologistes puisent des exemples pour discuter leurs théories préférées de la «conscience», quelle que soit la conception précise qu'ils épousent concernant sa nature, ou les distinctions qu'ils sont obligés d'établir pour clarifier un concept aussi large, servant à décrire bien des phénomènes hétérogènes.

Ces dernières années, de très nombreuses données expérimentales ont été accumulées sur les processus visuels. Elles confirment l'idée selon laquelle le système visuel du singe macaque, modèle animal le plus utilisé, et celui de l'homme sont très proches, tant sur le plan général de leur architecture fonctionnelle que sur celui des performances visuelles qu'ils peuvent réaliser, en termes d'acuité, de vision des couleurs, de détection du mouvement, d'appréciation de la profondeur et de reconnaissance des formes. Cette ressemblance a rendu possibles des recherches difficiles à concevoir chez l'homme, même si, grâce

à des techniques récentes d'imagerie cérébrale puissantes et prometteuses, on examine un cerveau humain pendant qu'il traite les informations visuelles.

Sans entreprendre une description détaillée du système visuel des primates, résumons l'essentiel de ce qui nous semble indispensable pour aborder les rapports entre perception visuelle et conscience.

Le système visuel des primates

La voie visuelle primaire des primates part de la rétine, sur laquelle une image des objets extérieurs est formée par l'optique oculaire, pour atteindre, après un relais dans un noyau diencephalique nommé corps genouillé latéral, le cortex visuel primaire situé dans le lobe occipital (voir la figure 1). La moitié des fibres de chaque nerf optique croise le chiasma optique pour aller innervier l'hémisphère cérébral situé de l'autre côté : les fibres ayant pour origine la demi-rétine nasale (proche du nez) rejoignent ainsi les fibres issues de la demi-rétine temporale de l'autre œil, de sorte que le cortex visuel primaire de l'hémisphère droit, par exemple, reçoit les fibres dressant une carte visuelle de la moitié gauche du champ visuel et réciproquement. Cette particularité anatomique est importante, car elle permet de comprendre qu'une lésion limitée au cortex visuel primaire produise des lacunes que les neurologues appellent des scotomes, dans la perception de la moitié du champ visuel située du côté opposé à l'hémisphère lésé. Lorsque la lésion est étendue à la quasi-totalité du cortex visuel primaire de l'hémisphère droit, par exemple, le sujet est aveugle pour la moitié de l'espace situé sur sa gauche. Nous verrons qu'en dépit de cette cécité grave, le sujet est encore capable de réaliser certaines tâches «visuelles».

Le rôle de la rétine est de transmettre au cortex visuel primaire, non pas l'image oculaire point par point, telle qu'elle est enregistrée par les quelque 140 millions de cellules photoréceptrices, mais sa copie neurale «filtrée» et «compressée» par un premier traitement réalisé au niveau rétinien lui-même, afin qu'elle puisse être véhiculée par guère plus d'un million de fibres optiques. Pour ce faire, l'image oculaire est découpée en zones grossièrement circulaires, les champs récepteurs dont la taille varie en fonction de leur position sur la rétine et dont les informations visuelles, codées sous forme d'influx nerveux, sont projetées *via* les fibres du nerf optique sur le cortex visuel primaire en respectant la topographie rétinienne : le cortex visuel primaire, découpé en modules qui correspondent chacun à un champ récepteur, réalise ainsi une sorte de carte précise du demi-champ visuel situé du côté opposé (voir la figure 3).