

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 considérerait 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.

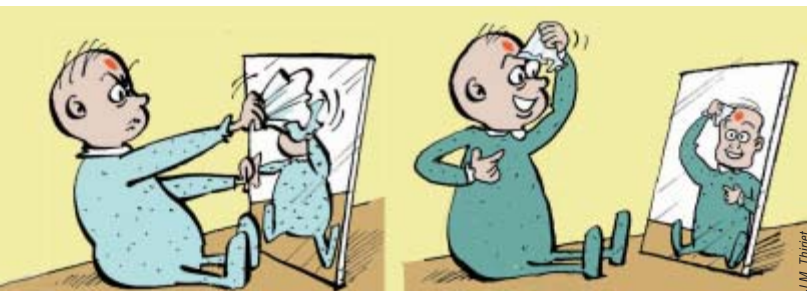
Ainsi, nous confirmons que «se développer, c'est inhiber» et non pas seulement «activer, coordonner et abstraire», comme le pensait Piaget. Cette thèse s'applique ici à la question de la conscience chez l'enfant: «Je suis conscient du choix de stratégies et du risque d'erreur (au sens réflexif du terme), 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

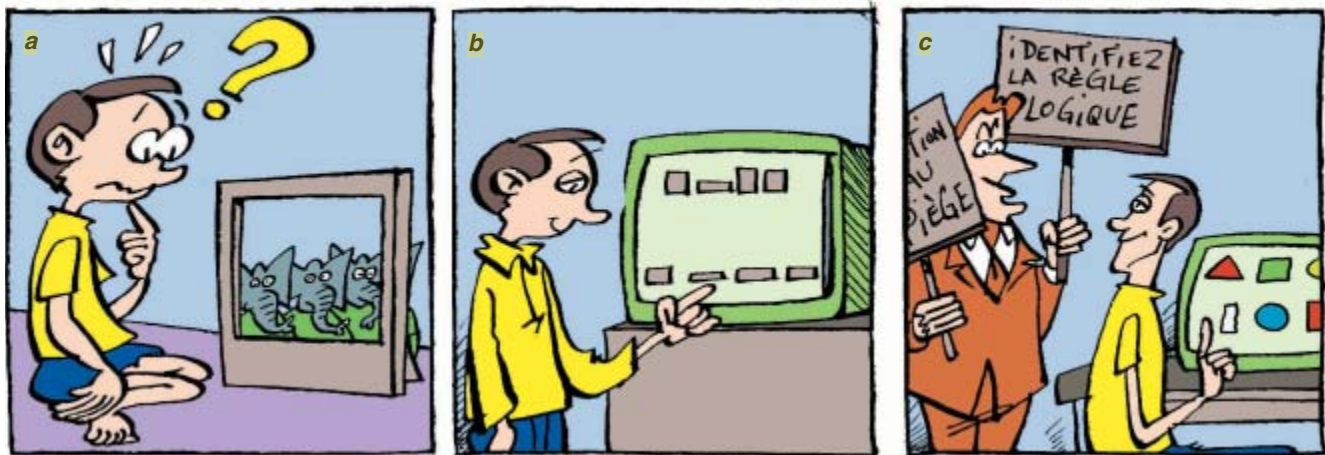
Selon Piaget, la forme de conscience réflexive la plus élaborée se met en place à l'adolescence, vers 14-15 ans. Il s'agit de la pensée logique ou formelle, dite «hypothético-déductive», qui s'exprime notamment par le raisonnement conditionnel de type «si..., alors...». Le pouvoir de la conscience réflexive 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.