

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.

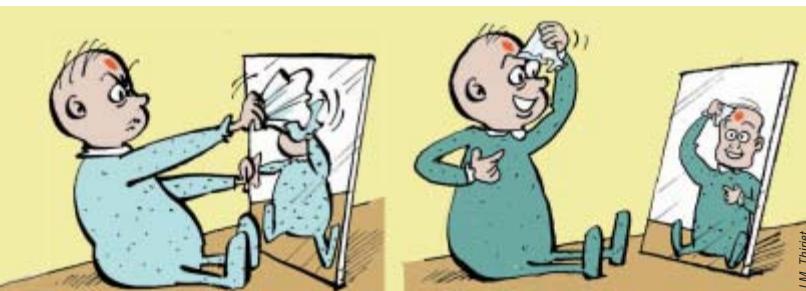
Ainsi, nous confirmons que «se développer, c'est inhiber» et non pas seulement «activer, coordonner et abstraire», comme le pensait Piaget. Cette thèse s'applique ici à la question de la conscience chez l'enfant: «Je suis conscient du choix de stratégies et du risque d'erreur (au sens réflexif du terme),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