
DÉVELOPPEMENT COGNITIF ET CERVEAU : APPRENDRE L'INHIBITION

Olivier HOUDÉ

Se développer, c'est non seulement construire et activer des stratégies cognitives nouvelles, comme le pensait Jean Piaget, mais c'est aussi apprendre à inhiber des stratégies qui entrent en compétition dans le cerveau. Il faut mettre au point à l'école une "pédagogie de l'inhibition" au sens positif du terme. Le défaut d'inhibition peut expliquer des difficultés d'apprentissage (erreurs, biais de raisonnement, etc.) et d'adaptation tant cognitive que sociale.

Le modèle de l'escalier

Selon la célèbre "théorie des stades" du psychologue suisse Jean Piaget (1896-1980) qui a profondément marqué la psychologie, le monde de l'éducation et le grand public au xx^e siècle, le développement cognitif de l'enfant et de l'adolescent était linéaire et cumulatif, car systématiquement lié, stade après stade, à l'idée d'acquisition et de progrès (Piaget & Inhelder, 1966). C'est ce que l'on peut appeler "le modèle de l'escalier", chaque marche correspondant à un grand progrès, à un stade bien défini ou mode unique de pensée: de l'intelligence sensori-motrice du bébé (0-2 ans), fondée sur ses sens et ses actions, à l'intelligence conceptuelle (nombre, catégorisation, raisonnement), d'abord concrète chez l'enfant (vers 7 ans), puis abstraite chez l'adolescent (vers 12/14 ans) et l'adulte.

La nouvelle psychologie de l'enfant

Ce "modèle de l'escalier" est aujourd'hui remis en cause (Houdé, 2004, 2009). D'une part, il existe déjà chez les bébés des capacités cognitives assez complexes, c'est-à-dire des protoconnaissances physiques, mathématiques, logiques et psychologiques ignorées par Piaget et non réductibles à un fonctionnement strictement sensori-moteur (la "première marche de l'escalier"). D'autre part, la suite du développement de l'intelligence jusqu'à l'adolescence et l'âge adulte compris (la "dernière marche") est jalonnée d'erreurs, de biais perceptifs, de décalages inattendus, incluant des retours en arrière ou "régressions", non prédits par la théorie piagétienne. Ainsi, plutôt que de suivre une ligne ou un plan qui mène "sans

accroc” du sensori-moteur à l’abstrait (les stades de Piaget), l’intelligence avance de façon beaucoup plus biscornue et non linéaire.

Cette nouvelle image de l’ontogenèse cognitive est cohérente avec les conceptions actuelles – non linéaires elles aussi – de la construction des connaissances dans l’histoire des sciences. Ainsi, pour Michel Serres, le temps de la science, à travers les siècles, fait apparaître des points d’arrêt, des ruptures, des puits, des cheminées d’accélération foudroyante, des déchirures, des lacunes (Serres, 1992). Cet historien des sciences propose la métaphore d’un temps qui se plie et qui se tord, tel un mouchoir chiffonné au fond d’une poche, dont les rapports relèvent de la topologie, science des voisinages et des déchirures, et non de la “géométrie métrique”, science des distances bien définies et stables (qui seraient ici représentées par les stades de Piaget).

Prenons un exemple cher à Piaget et qui fait, aujourd’hui encore, l’objet de beaucoup de recherches : le nombre. Selon Piaget et son “modèle de l’escalier”, il faut attendre l’âge de sept ans environ, c’est-à-dire l’entrée à l’école élémentaire, l’âge de raison, pour que l’enfant atteigne le stade (la “marche”) qui correspond à la notion de nombre. Pour le prouver, Piaget plaçait l’enfant face à deux rangées de jetons en nombre égal, mais de longueurs différentes selon l’écartement des jetons. Dans cette situation, le jeune enfant considère, jusqu’à sept ans, qu’il y a plus de jetons là où c’est plus long. Cette réponse verbale est une erreur d’intuition perceptive (longueur égale nombre) qui révèle, selon Piaget, que l’enfant d’école maternelle n’a pas encore acquis la notion de nombre. Mais, après Piaget, Jacques Mehler et Tom Bever ont montré que les enfants réussissent dès deux ans la tâche si, par exemple, on remplace les jetons par des nombres inégaux de bonbons (Mehler & Bever, 1967 ; voir aussi la “tâche magique” de Gelman, 1972). Ils optent en effet pour la rangée qui contient le plus de bonbons, au détriment de l’autre, plus longue. L’émotion et la gourmandise, puisqu’il s’agit alors de manger le plus grand nombre de bonbons, rendent ainsi le jeune enfant “mathématicien” et lui font en quelque sorte sauter la marche ou le stade d’intuition perceptive de Piaget ! C’est, du point de vue cognitif, une “cheminée d’accélération foudroyante” pour reprendre l’expression de Michel Serres. La recherche sur les capacités numériques précoces est allée plus loin encore en découvrant la naissance du nombre chez le bébé avant le langage, c’est-à-dire avant l’âge de deux ans (Wynn, 1992, 1998).

Quand inhiber c’est progresser

Ce qui pose réellement problème à l’enfant dans une tâche comme celle de Piaget (les deux rangées de jetons), ce n’est pas le nombre en tant que tel puisqu’il l’utilise bien plus tôt, mais c’est d’apprendre à inhiber la stratégie perceptive inadéquate (le biais) “longueur égale nombre”, stratégie qui très souvent fonctionne bien et que même les adultes appliquent. Ainsi, se développer c’est non

seulement construire et activer des stratégies cognitives nouvelles, comme le pensait Piaget, mais *c'est aussi apprendre à inhiber des stratégies qui entrent en compétition dans le cerveau* (Houdé, 2004, 2009). Et cela ne va pas de soi! On pense ici aux obstacles épistémologiques de l'esprit et à la "philosophie du non" décrits jadis par Gaston Bachelard (1884-1962) pour l'histoire des sciences. Il en ressort que le développement de l'enfant n'est pas toujours linéaire, comme l'avaient sans doute déjà pressenti, dans leur pratique, beaucoup d'éducateurs, professeurs des écoles ou parents. Pour une même notion, un même concept à apprendre, des échecs tardifs par défaut d'inhibition peuvent succéder à des réussites bien plus précoces, d'où les décalages inattendus.

Durant les années 1990-2000, deux psychologues néopiagéticiens, Robbie Case et Kurt Fischer, ont ainsi simulé sur ordinateur les courbes du développement de l'enfant en termes de systèmes dynamiques non linéaires, c'est-à-dire de courbes d'apprentissage moins régulières, incluant des turbulences, des explosions, des effondrements (Case, 1998; Fischer & Yan, 2002; voir également Siegler, 2000).

Complémentairement, des expériences d'imagerie cérébrale réalisées sur le raisonnement logique ont permis de découvrir ce qui se passe dans le cerveau de jeunes adultes *avant* et *après* l'apprentissage de l'inhibition d'une stratégie perceptive inadéquate, c'est-à-dire avant et après la correction d'une erreur de raisonnement (Houdé et al., 2000). On observe une très nette reconfiguration des réseaux cérébraux, de la partie postérieure du cerveau (partie perceptive) à sa partie antérieure, dite "préfrontale". Le cortex préfrontal est celui du contrôle cognitif et, en particulier, de l'inhibition. Dans sa théorie du développement de l'enfant, Piaget affirmait qu'à partir de l'adolescence (12/14 ans: le stade des opérations formelles), on ne devait plus faire d'erreur de logique. C'est le stade le plus élaboré de l'intelligence conceptuelle et abstraite, la dernière "marche de l'escalier"! Or ce n'est pas le cas: il s'y observe plutôt des déchirures et des lacunes (pour reprendre à nouveau les expressions de Serres). Spontanément, le cerveau des adolescents et des adultes continue à faire, comme celui des enfants plus jeunes, des erreurs perceptives systématiques dans certaines tâches de logique, pourtant assez simples. On découvre à nouveau ici combien, jusqu'à ce dernier stade, le développement de l'intelligence dans le cerveau humain est biscornu et le rôle adaptatif que doit y jouer l'inhibition.

Comme l'écrit Christian Morel dans son livre *Les décisions absurdes: Sociologie des erreurs radicales et persistantes*, "Chez des pilotes, des équipages, des ingénieurs, des managers, disposant d'une compétence de type scientifique et la pratiquant, des processus de raisonnement quasi enfantins semblent parfois surgir ou resurgir, comme s'ils étaient restés en embuscade dans les esprits, prêts à bondir dès la suspension de l'inhibition qui les bride habituellement" (Morel, 2002, p. 144). L'adulte, comme l'enfant, peut apprendre à inhiber les stratégies inadéquates de trois façons:

soit par l'expérience propre à partir de ses échecs (démenti des prévisions, constat d'erreur), soit par imitation ou encore par des instructions venant d'autrui. Il faudrait développer à l'école une "pédagogie de l'inhibition" (au sens positif du terme) et du contrôle cognitif en général. Certains psychologues contemporains, comme Adele Diamond, testent déjà des programmes expérimentaux de ce type dès l'école maternelle (Diamond et al., 2007). L'équipe de Michael Posner a démontré, dans le même esprit, l'impact direct d'exercices de contrôle attentionnel sur le cerveau de jeunes enfants (4-6 ans) dans des régions sous forte influence génétique comme le cortex préfrontal et le cortex cingulaire antérieur qui lui est connexe (Rueda et al., 2005). Gènes et éducation sont ici conjugués.

Le calendrier du développement cérébral

Grâce à l'imagerie cérébrale, on peut aujourd'hui commencer à réellement explorer la biologie du développement cognitif (Casey et al., 2005) en intégrant – du point de vue comportemental – les découvertes post-piagésiennes de la nouvelle psychologie de l'enfant.

Depuis la fin des années 1990, des chercheurs utilisent l'Imagerie par résonance magnétique *anatomique* (IRMA) pour construire des cartes tridimensionnelles des structures cérébrales en développement. On sait qu'avec le développement neurocognitif de l'enfant et les apprentissages spécifiques s'opère une multiplication puis un élagage des connexions (synapses) entre neurones, d'où une diminution de la matière grise du cerveau (courbe en U inversée). Cet élagage correspond, selon Jean-Pierre Changeux, à une stabilisation sélective des synapses par un mécanisme de "darwinisme neuronal" (Changeux, 1983, 2002). Les premiers résultats d'IRMA indiquent que cette maturation est loin d'être uniforme. Elle s'effectue par vagues successives selon les zones du cerveau: d'abord les régions associées aux fonctions sensorielles et motrices de base et, ensuite, jusqu'à la fin de l'adolescence, les régions – tel le cortex préfrontal – associées au contrôle cognitif supérieur, notamment l'inhibition. Depuis peu, on utilise aussi l'Imagerie par résonance magnétique *fonctionnelle* (IRMF) pour mesurer les activités cérébrales pendant que l'enfant ou l'adolescent réalise une tâche cognitive particulière, en comparant ce qui se passe aux différents stades du développement. Il devient donc possible de visualiser la dynamique cérébrale qui correspond à l'activation/inhibition des stratégies cognitives aux différents âges (ce que l'on appelle la "macrogenèse", c'est-à-dire l'ontogenèse) ou au cours d'un apprentissage à un âge particulier (la "microgenèse"). C'est ce que nous venons de réaliser en IRMF chez des enfants de cinq à dix ans qui se trompaient ou réussissaient, selon leur stade de développement, dans la tâche de conservation du nombre de Piaget (Houdé et al., 2009).

Conclusion à propos des erreurs et de la pédagogie

En psychologie du développement cognitif (depuis Piaget) ou à l'école, l'erreur dans une tâche est souvent considérée comme l'indicateur d'un Niveau (ou stade) N-1 de fonctionnement et sa disparition marque le passage (+1) au niveau N. Classiquement, on conclut qu'en N-1 la notion testée par la tâche n'est pas encore maîtrisée, d'où l'erreur observée, alors qu'elle l'est en N. Cette conception coïncide avec l'idée que l'on se fait en général du développement cognitif et du progrès des connaissances comme "la montée d'un escalier": N+1+1+1, etc. Mais ce modèle se heurte à un problème délicat: celui des "faux négatifs". Il s'agit de la tendance des psychologues ou des professeurs des écoles à conclure erronément que les enfants – dans certains cas, les adultes – en échec dans une tâche sont incompetents (N-1) par rapport à la notion testée. C'est, bien entendu, un cas de figure possible. Toutefois, *ce qui fait défaut* à l'enfant ou à l'adulte peut aussi ne pas être la notion elle-même, mais l'incapacité d'inhiber une autre notion ou stratégie déclenchée par un élément trompeur de la situation et qui, subrepticement, entre en compétition dans le cerveau. Ce n'est pas du tout pareil! L'apprentissage doit alors porter sur l'inhibition de la notion concurrente et interférente: c'est un apprentissage dit "exécutif". Il s'agit d'une autre vision de l'erreur, du développement cognitif et de la pédagogie. L'inhibition dans sa forme positive permet au cerveau des élèves de résister aux habitudes ou automatismes, aux tentations, distractions ou interférences, et de s'adapter aux situations complexes par la flexibilité (inhibition/activation de stratégies cognitives en compétition). Le défaut d'inhibition peut expliquer des difficultés d'apprentissage (erreurs, biais de raisonnement, etc.) et d'adaptation tant cognitive que sociale.

Olivier HOUDÉ

*Professeur à l'université Paris Descartes
Membre Senior de l'Institut Universitaire de France
Chaire de "Sciences des apprentissages"*

Références

- Case, R. Conceptual development in the child and in the field. *In*: E Scholnick, S. Gelman. *Conceptual Representation*, Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1998 : 23-51.
- Casey B, Tottenham N, Liston C, Durston S. Imaging the developing brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 2005, 9: 104-110.
- Changeux JP. *L'Homme neuronal*, Paris, Fayard, 1983.
- Changeux JP. *L'Homme de vérité*, Paris, Odile Jacob, 2002.

- Diamond A, Barnett W, Thomas J, Munro S. Preschool program improves cognitive control. *Science*, 2007, 318: 1387-1388.
- Fischer K, Yan Z. The development of dynamic skill theory. In: D Lewkowicz, R Lickliter. *Conceptions of Development*, New York, Psychology Press, 2002 : 279-312.
- Gelman R. Logical capacity of very young children. *Child Development*, 1972, 43: 75-90.
- Houdé O. *La psychologie de l'enfant*, Paris, PUF, "Que sais-je?", 2004.
- Houdé O. Piaget, quarante ans après. In: M. Fournier, R. Lécuyer. *L'intelligence de l'enfant*. Auxerre, Sciences Humaines Éditions, 2009: 43-51.
- Houdé O., et al. (2009). fMRI study of Piagetian cognitive stages in human development: A neo-Piagetian approach. *15th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain*. San Francisco (USA), June 18-23.
- Houdé O, Zago L, Mellet E, Moutier S, Pineau A, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N. Shifting from the perceptual brain to the logical brain: The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2000, 12: 721-728.
- Mehler J, Bever T. Cognitive capacity of very young children. *Science*, 1967, 158: 141-142.
- Morel C. *Les décisions absurdes*, Paris, Gallimard, 2002.
- Piaget J, Inhelder B. *La psychologie de l'enfant*, Paris, PUF, "Que sais-je?", 1966.
- Rueda M, Rothbart M, McCandliss B, Saccomanno L, Posner M. *Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention*. PNAS USA, 2005, 102: 14931-14936.
- Serres M. *Éclaircissements*, Paris, François Bourin, 1992.
- Siegler R. *Intelligence et développement de l'enfant*, Bruxelles, De Boeck, 2000.
- Wynn K. Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 1992, 358: 749-750.
- Wynn K. Psychological foundations of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 1998, 2: 296-303.